



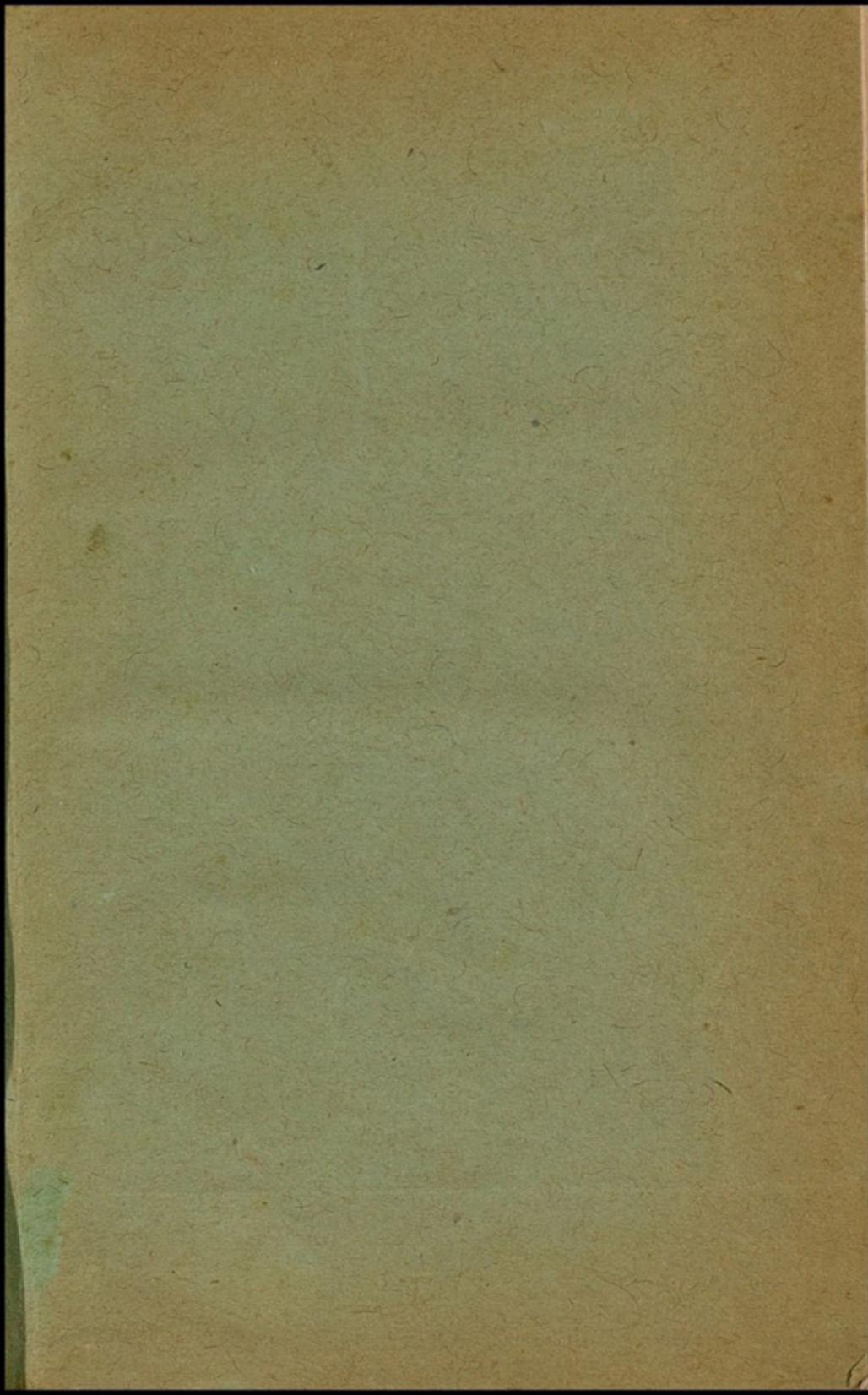
V. S. O.

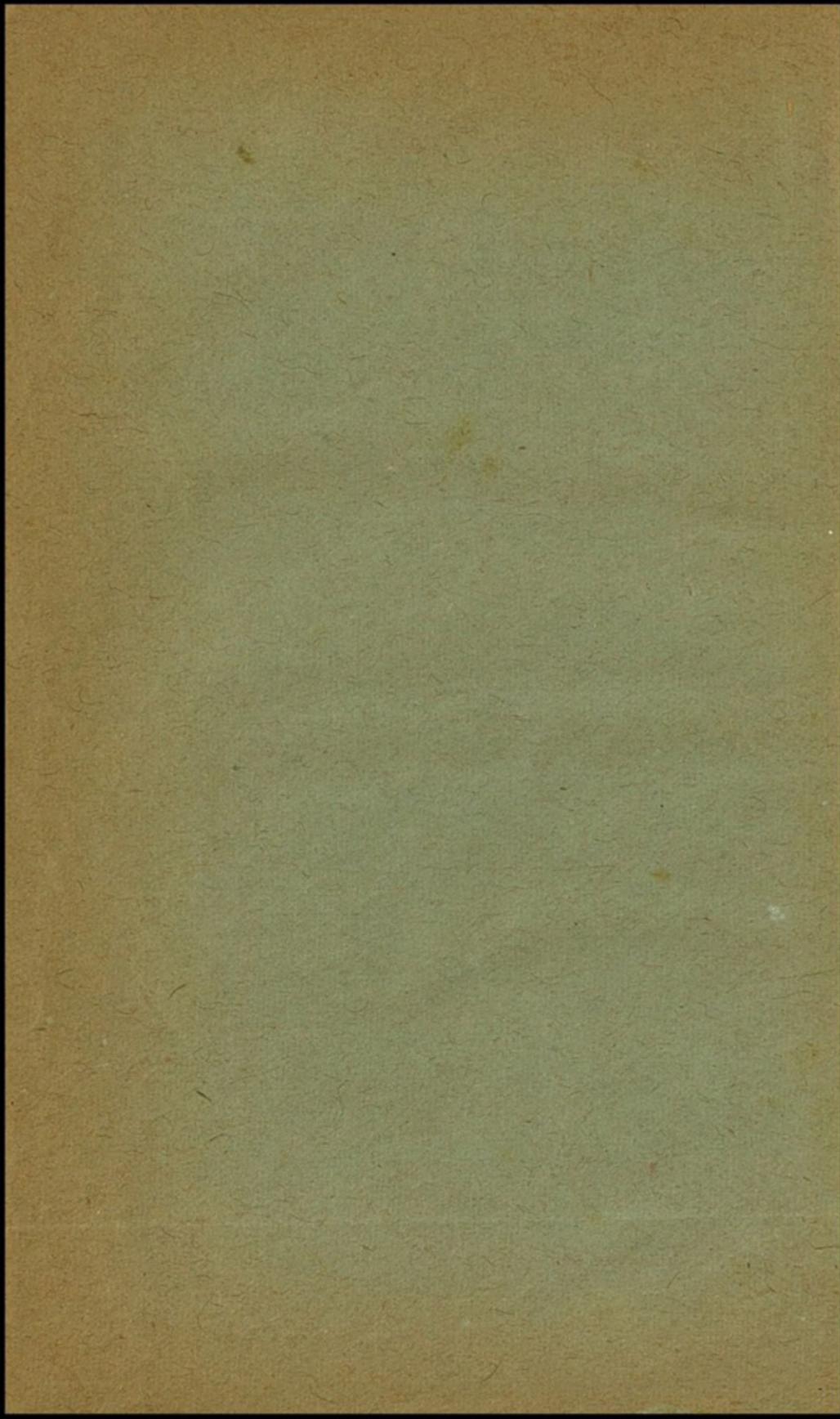
A. M.

INSTITUTO GUAYANÉS DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

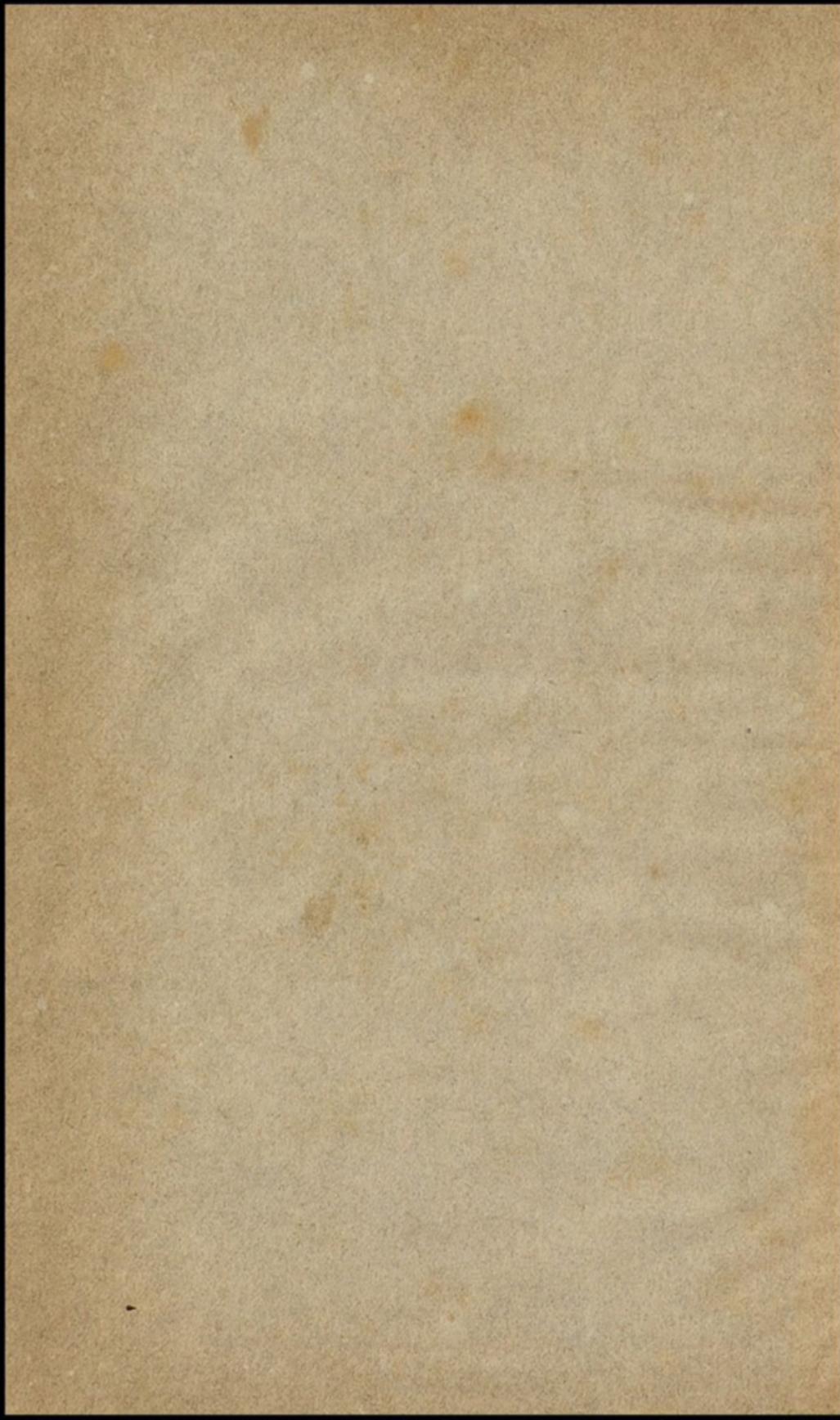
BOGOTÁ

J. JOSÉ CERDA





EL SOL



EL SOL.

FF 201

AMERICAN LIBRARY

EL SOL

POR

AMADEO GUILLEMIN

TRADUCCION DEL FRANCÉS

POR

J. P. DE LA R.

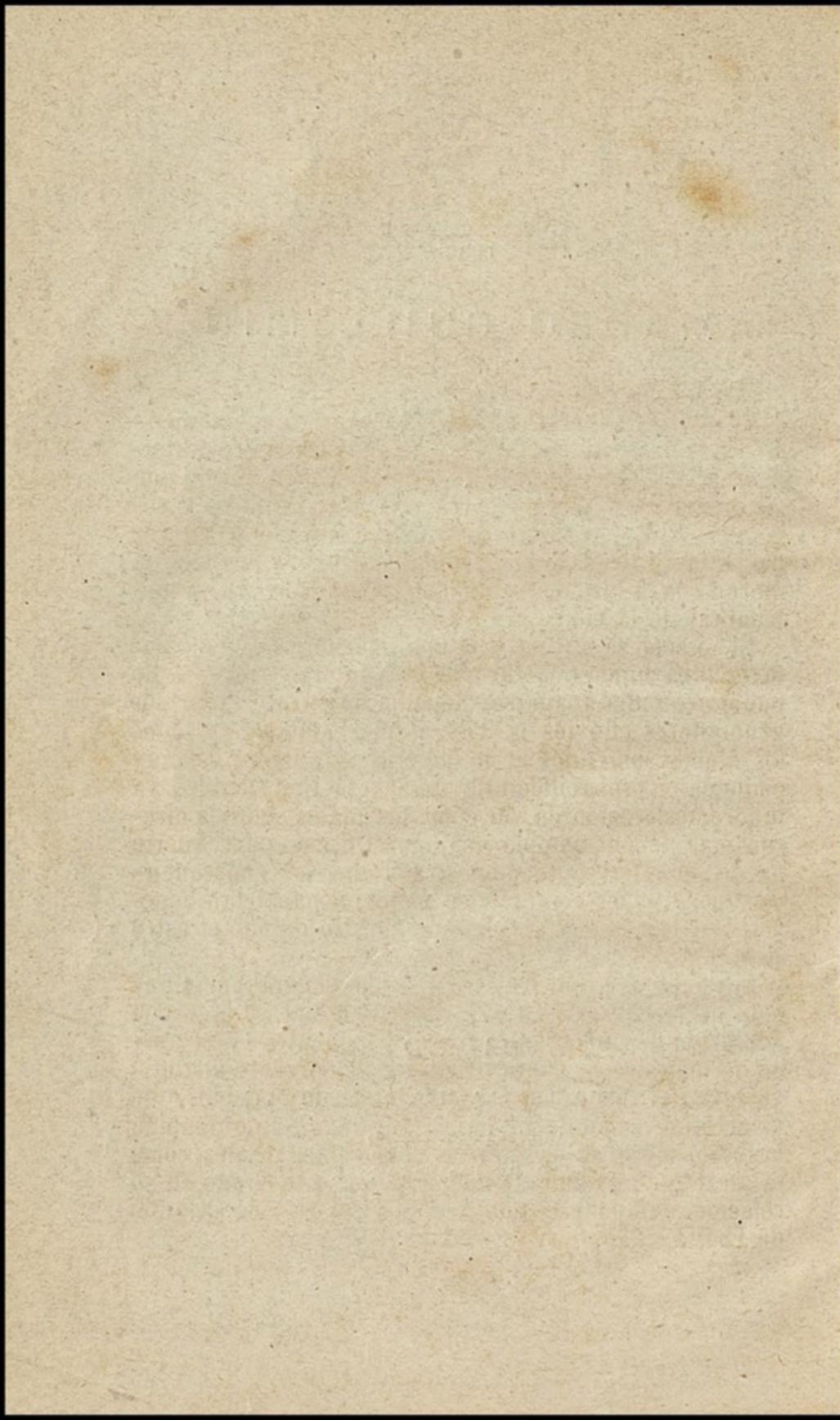


MADRID

IMPRENTA DE GASPAR, EDITORES.

(ANTES GASPAR Y ROIG)

calle del Príncipe, número 4.



EL SOL.

El Sol es la vida de la Tierra.

Es el origen comun, el inagotable tesoro que alimenta desde hace millones de siglos todas las energías terrestres, las potencias físicas y mecánicas lo mismo que las fuerzas de todos los seres vivientes animales y vegetales. El Sol es lo que hace de nuestro globo, en vez de un triste desierto cubierto de tinieblas y silencio, la morada de la luz, del calor, del movimiento, y, en una palabra, de la vida.

El corazon se oprime y la imaginación se espanta ante la idea hipotética de que esa antorcha del mundo pudiera un dia apagarse, dejando de envolver con sus generadores efluvios la Tierra que habitamos y todos los globos sometidos á su imperio; y aunque es muy pequeña la probabilidad de un suceso tan terrible, ya tendremos ocasion de ver cómo los anales celestes ofrecen mas de un ejemplo análogo. De cualquier suerte puede ser interesante demostrar todas las consecuencias para poder comprender mejor el papel tan benéfico que desempeña al frente de nuestro mundo el astro radiante.

Los pueblos primitivos en su sencilla ignorancia habian hecho del Sol el gran dios de la naturaleza, y la adoracion del fuego y de la luz se encuentra en el fondo de todas las teogonías. Este reconocimiento instintivo se nota aun, no solamente entre los pueblos que viven lejos del contacto de la civilizacion, sino tambien hasta en el centro de nuestras poblaciones rurales, como lo atestigua la siguiente anécdota que cita Arago en su relacion del eclipse total de Sol en el mes de julio de 1842.

«Un pobre niño de la aldea de Sieyes (Alpes bajos) guardaba su rebaño; é ignorando completamente el suceso que iba á tener lugar, notó con terror que se oscurecía el Sol gradualmente, sin que ninguna nube ni masa vaporosa pudiera justificar á su vista aquel fenómeno; y cuando la luz desapareció en fin por completo, el pobre niño, en el colmo del espanto, empezó á llorar y á pedir socorro. Todavía las lágrimas corrían por sus mejillas, cuando volvió á lanzar de nuevo el Sol su primer rayo, y consolado ya entonces ante su aspecto, cruzaba el niño las manos en el transporte de su alegría, exclamando:

—¡Oh, hermoso Sol!»

¿No se parece esta exclamacion á un eco lejano de la antigua idolatría? En la actualidad ha desaparecido entre las masas toda huella de ese género de supersticiones, pero aun queda la ignorancia, y la indiferencia ha reemplazado al entusiasmo. El agricultor labra y abona sus terrenos, confiándoles luego la semilla, contando con la lluvia y la primavera para que llegue á sazón la mies. ¿Se esfuerza acaso en estudiar la manera como operan los rayos de ese Sol que presta concurso á su trabajo? ¿Se le ha ocurrido alguna vez preguntar quien es ese obrero poderoso, sin el cual todos sus trabajos fueran inútiles y su terreno estéril; cómo se debe al mismo la sucesion alternada de la noche y el dia con sus duraciones respectivas periódicamente desiguales; por qué el verano y el invierno, la primavera y el otoño; cuales son las causas que producen esos fenómenos, que tanto interés encierran para él, los vientos y las lluvias, los tiempos serenos y las tempestades? El industrial que alimenta con carbon su máquina, trasformando el vapor en agua y luego en fuerza, que distribuye en sus grandes talleres, tampoco piensa en cual puede ser el principio originario de toda esa potencia.

Al Sol, pues, segun ya hemos dicho y lo probaremos, hay que atribuir todos los portentos, con los cuales el trabajo de la naturaleza y del hombre han enriquecido la Tierra. La ciencia se encuentra hoy en es-

tado de demostrar esa tesis, velada antes bajo formas simbólicas y desprendida hoy de todas las supersticiones que la ignorancia primitiva le habia agregado.

Tal es el motivo de habernos decidido á escribir este pequeño libro destinado á todas las clases, menos á los astrónomos y á los sabios, que tienen á su disposicion todos los documentos de que nos hemos valido y que además saben mucho mas que nosotros en este punto.

Ya hemos invitado antes á nuestros lectores para que nos acompañen en un pequeño viaje de cien mil leguas — una friolera — para esplorar la Luna, ese fiel satélite de la Tierra. En esta ocasion será mas largo el camino; pero es al astro poderoso, del cual se han producido probablemente esa misma Tierra y todos los demás planetas al que se trata de rendir homenaje, y por gratitud filial á la vez que por curiosidad, podemos muy bien decidirnos á hacer recorrer á nuestra imaginacion treinta y siete millones de leguas. Un tren de ferro-carril invertiria en el trayecto tres siglos y medio, mientras que nos bastarán algunas horas á nosotros para lo mismo, obteniendo, segun creo, de nuestra escursion un buen número de hechos curiosos. Mediremos el Sol en su circunferencia y su volúmen, lo pesaremos en la balanza astronómica y evaluaremos con los físicos la intensidad de su calor y de su luz. En fin, despues de haber reconocido que gira sobre sí mismo y determinado el tiempo de su rotacion, exploraremos todos los puntos de su inmensa superficie, de ese vasto océano de fuego; estudiaremos con el telescopio esos torbellinos y tempestades que se perciben desde lejos bajo el aspecto de manchas mas ó menos sombrías, semejantes á otros tantos gigantes abismos, en los cuales nuestro pequeño globo se precipitaria como una piedra lanzada á un pozo.

Despues de haber examinado así de cerca la inmensa esfera luminosa, cuya potencia obliga á circular en torno suyo en períodos regulares á mas de cien planetas y un número incalculable de cometas, nos alejaremos con el pensamiento hasta que no se nos presente sino como un punto perdido en la region de las estrellas:

buscaremos entonces su sitio en la gran nebulosa de la Via láctea, y notaremos que se mueve también en el éter, arrastrando consigo á todo su séquito hácia un punto del espacio situado en la direcccion de la constelacion de Hércules, satélite á su vez de algun otro sol desconocido, ó de un grupo de soles.

Tal es pues el programa abreviado de la peregrinacion astronómica, á la cual invitamos al lector aficionado á las cosas del cielo y que se haya propuesto algunas veces esta tésis un tanto difícil: «¿Qué es el Sol?»

EL SOL.

CAPITULO PRIMERO.

El Sol, manantial de luz, de calor y de actividad química.

§ 1.—*La luz del Sol.*

Algunas nociones de fotometría; ¿qué se entiende por potencia iluminatriz y por brillo intrínseco de un foco luminoso?—¿A cuántas luces de vela equivale la potencia iluminatriz del Sol?—La luz solar comparada con la del arco voltaico.—Medida de la intensidad intrínseca de la luz solar.

Decir que el Sol es el manantial de luz mas deslumbrador y poderoso que se conoce, nada nuevo nos enseña: lo que puede ser mas importante é instructivo, por mas que sea al propio tiempo mas difícil, como vamos á demostrar, será valuar con alguna precision la intensidad de ese foco prodigioso. Varias tentativas se han hecho durante dos siglos para medir la intensidad de la luz solar; y por mas que no hayan concordado los resultados obtenidos, han sido no obstante suficientes para dar una idea de la potencia luminosa del astro comparativamente con la de otros manantiales naturales ó artificiales que pueden estar al alcance de nuestra observacion y podemos obtener en la superficie de la Tierra.

Pero antes de entrar en detalles relativos á esta cuestion tan delicada de fotometria, sentemos algunos principios indispensables para disipar todo aquello que la misma esposicion de este asunto pudiera presentar de oscuro á la vista de los lectores que no estén muy familiarizados con las teorías de la óptica.

Cuando se trata de la intensidad de un foco ó manantial de luz, puede considerarse esa intensidad misma bajo dos puntos de vista distintos: ó se entiende por ella la relacion de la *potencia iluminatriz* del foco con la de otro foco tomado por unidad ó término de comparacion; ó bien se trata de su *brillo intrínseco*. Vamos a demostrar con dos ejemplos la diferencia que existe entre los dos sistemas de apreciacion.

Supongamos por ejemplo, haber hallado que el poder iluminador de un mechero de gas, equivale al de 16 bujías ó velas comunes; en cuyo caso se supone tambien que el mechero de gas y las 16 bujías se colocan á igual distancia de una superficie que se encuentra igualmente iluminada entonces por ambos focos. La misma relacion existiria sin embargo entre las potencias iluminatrices del mechero de gas y de la luz de la bujía tomada aquí por unidad, si la distancia del mechero á la superficie iluminada fuera 4 veces tan grande como la de una bujía que la iluminara igualmente. Esta es la consecuencia de la ley, en virtud de la cual la potencia iluminatriz de un foco disminuye en razon inversa del cuadrado de la distancia, es decir, se hace 4, 9, 16..... veces mas débil á medida que la distancia se hace 2, 3, 4..... veces mas considerable.

Comprendida bajo este aspecto, la intensidad de la luz solar ó la potencia iluminatriz del Sol se medirá por el número de bujías, de mecheros de gas, de discos lunares, de luces estelares etc., que tendremos que acumular ó suponer reunidas, bien sea á distancias determinadas de una superficie, ó bien en el cielo á la distancia en que se hallan los mismos astros, para producir una iluminacion igual sobre la superficie dada.

Una palabra ahora acerca de lo que debe entenderse por la intensidad *intrínseca* de un foco ó manantial de

luz. Supongamos que se recorta imaginariamente sobre el disco solar una estension igual en la apariencia á la de la llama de una bujía vista á la distancia de un metro por ejemplo, y que se pregunta entonces cuántas veces será la primera superficie mas luminosa que la otra. La respuesta fijará la intensidad intrínseca de la luz solar relativamente á la de una bujía. De esta suerte, medir el brillo intrínseco de un foco, es comparar el brillo de una porcion de la superficie luminosa con el de una superficie igual tomada de otro foco considerado como unidad.

Una vez bien comprendida esta diferencia entre el poder iluminador y la intensidad intrínseca, los resultados que vamos á deducir se esplicarán por sí mismos.

Muchos físicos del siglo XVI y del XVII, como Maurolico, Auzout y Huygens, intentaron medir la intensidad de la luz solar; pero es á Bouguer á quien se deben las primeras cifras algo exactas sobre este punto delicado de fotometría. Sirvióse de un lente cóncavo para hacer divergir los rayos solares, á fin de debilitar el brillo en una proporcion fácil de calcular, comparando luego el poder iluminador de la luz solar, asi reducida, con la de una bujía colocada á una distancia dada de la pantalla. Gracias á este método, Bouguer halló en setiembre de 1728, que el Sol á una altura de 51° sobre el horizonte y en un cielo puro, brilla como 11,664 bujías á $0^m,45$ de distancia, es decir, como 62,177 á la de un metro. Segun las leyes de la variacion de intensidad en razon inversa del cuadrado de la distancia y teniendo en cuenta la absorcion atmosférica, se llega al resultado de que el Sol brilla en el zénit en un cielo puro 78,200 veces como una bujía colocada á un metro de distancia del objeto iluminado.

En mayo y junio de 1799 Wollaston, por un método consistente en recibir un haz bastante débil de luz solar al través del agujero de una cámara oscura, obtuvo un resultado casi idéntico al de Bouguer: por término medio halló que 5,565 bujías (1) colocadas á la distancia de un pie inglés ($0^m,305$), ó 59,882 bujías á la de un

(1) Este es un término medio entre 12 experimentos, cuyos dos extremos dan un máximo de 7,770, y un mínimo de 5,965.

metro, alumbran tanto como el Sol. Suponiendo al Sol en el zénit y las bujías á un metro de distancia, la potencia iluminatriz del astro equivale á la de 68,000 bujías, cuyo número es un poco menor que el de Bouguer; sin embargo los dos métodos no consienten mayor precision, ni las circunstancias atmosféricas debieron ser indudablemente las mismas.

Una lámpara Carcel que gasta 42 gramos de aceite mineral purificado por hora, da la misma luz que 8 á 9 bujías esteáricas, y un mechero de gas de los titulados de mariposa, iguala á su vez á la de 7 á 8 bujías esteáricas; de modo que en vista de esos números y de los resultados obtenidos por Bouguer y Wollaston, puede calcularse con facilidad cuantas veces equivale la luz del Sol relativamente al uno ó al otro de esos focos luminosos: sin embargo, hoy ya se sabe producir artificialmente luces, cuya intensidad se aproxima bastante mas á la del Sol. Por ejemplo, al proyectar sobre un fragmento de cal el rayo inflamado de una mezcla de gas oxígeno y de gas hidrógeno, se obtiene una luz muy viva, y es la misma que se conoce con el nombre de *luz Drumond* ó *luz oxi-hídrica*. Mr. Edmundo Becquerel, empleando un aparato que invertia 5 litros y medio de gas por minuto, evaluaba la equivalencia de la luz producida, á la de 160, ó de 180 bujías: un hilo de magnesio de 5 décimos de milímetro de diámetro, representa un poder iluminador igual al de 74 bujías al aire libre, y de 110 bujías, si arde en el oxígeno; en cuyo último caso su brillo intrínseco es 500 veces como el de la bujía. En fin, el arco voltáico, que se obtiene con una pila de ácido azótico de 50 á 100 pares, da una cantidad de luz que M. E. Becquerel considera equivalente á la de 400 á 1,000 bujías; y en este último caso la luz del Sol en el zénit, según las medidas de Bouguer y de Wollaston, no alcanzará á tener una potencia luminosa superior á 75 veces la del arco voltáico á un metro de distancia.

Con otras pilas mas potentes obtiéndose una cantidad de luz que se aproxima todavía mas á la intensidad luminosa del Sol; y así es que MM. Fizeau y Foucault,

comparando el brillo de un arco voltaico producido por la accion de tres series de pilas Bunsen, de 46 pares cada una, con la luz solar, bajo un cielo puro del mes de abril, han hecho constar que la potencia iluminatriz del astro no equivale mas que á dos veces y media la de la luz eléctrica.

En todas estas medidas solo se trata del poder iluminador del Sol. Arago ha valuado de la manera siguiente la intensidad intrínseca de la luz solar. Empezando por compararle al brillo de la atmósfera en la proximidad del disco, halló que todo alrededor del Sol á una distancia angular casi igual á su diámetro, la luz atmosférica es 511 veces menos intensa que la luz solar. Esto sentado, cuando se proyecta la llama de una bujía, no solamente sobre el disco solar, sino tambien sobre la parte del cielo que le rodea en el campo donde tiene lugar el experimento, esa llama desaparece enteramente á la vista y no se percibe mas que la mecha carbonizada, cuya silueta se destaca en negro sobre el fondo luminoso. Esto supuesto, Bouguer ha demostrado que una luz, para hacer desaparecer á otra luz, debe ser 64 veces por lo menos mas intensa. El campo de la atmósfera que rodea al Sol, tiene pues un brillo intrínseco que equivale á 64 veces por lo menos el de la llama de una bujía; de suerte que la intensidad misma de la luz solar es de 511×64 ó 32,704 veces mas viva que la de una bujía; debiéndose entender que se trata, como se ve, no de la potencia iluminatriz, sino del brillo intrínseco.

Con todo, este sistema de evaluacion indicado por Arago en su *Astronomía popular* (1), solo da un límite inferior. Segun Mr. Edmundo Becquerel, la llama de una bujía produce una superficie visible de unos 180 milímetros cuadrados: un círculo de esa estension debiera colocarse á 1^m,75 de distancia de la vista porque su diámetro substiende un arco de 50', es decir, tiene la misma dimension aparente que el Sol, resultando en consecuencia que tomando por unidad el brillo intrínseco

(1) Son 15,000 en vez de 32,704; lo cual creemos debe ser una equivocacion de imprenta.

de una bujía, el brillo de la luz solar viene á ser, segun Bouguer, 186 400, y segun Wollaston, 179 150.

Absorción de la luz solar por la atmósfera; varía con la altura del astro sobre el horizonte.—Variaciones de la luz segun las estaciones.

En todas las comparaciones que preceden no se trata, en verdad, sino de la luz solar, tal cual nos llega á la superficie terrestre en su trayecto, al través de las capas gaseosas que forman la atmósfera. Esas capas son, por otra parte, mas ó menos puras, mas ó menos cargadas de vapor de agua, y de partículas sólidas en suspension, de polvos y de gérmenes de todas clases; cierta fracción de la luz solar es absorbida á su paso por ese centro variable, y lo es tanto mas, en igualdad de circunstancias, cuanto menor es la altura del Sol en el horizonte.

Bouguer, que ha hecho investigaciones sobre esto mismo, afirma que la absorción atmosférica reduce la intensidad de la luz solar á los números siguientes, considerando como igual á 10,000 la del Sol, en la hipótesis de que no existiera la atmósfera.

En el zénit.	8.123
A 50°	7.624
— 30	6.613
— 20	5.474
— 10	3.145
— 5	1.201
— 4	802
— 3	434
— 2	191
— 1	47
— 0	6

Con arreglo á este cálculo se vé, que al salir el Sol, la luz del astro es 1,554 veces menos brillante que en el zénit; en París, en el día del solsticio de verano, hácia el 20 de junio, el Sol se eleva hasta 64° á las doce del día, y en ese día mismo su luz á la hora del medio día es mas de 1,500 veces mas intensa que á las 4 de la mañana en que su disco apunta en el horizonte.

Aquí solo se trata de la absorcion de la luz del Sol por el aire; y la tabla calculada por Bouguer espresa la proporcion en que la envoltura gaseosa de que se halla rodeada la Tierra, disminuye el brillo de esa luz bajo un cielo bien puro, aunque por lo comun ese mismo brillo se encuentra aun disminuido por la interposicion de las masas vaporosas, por las nieblas y por las nubes en suspension en la atmósfera. La luz del Sol se encuentra así difundida antes de llegar á la vista, que la recibe tambien á su vez, despues de su reflexion en las nubes ó en los objetos terrestres.

Antes de la salida y postura del Sol, cuando el disco luminoso no es todavia, ó ha dejado de ser, visible, ilumina su luz directamente las capas superiores de la atmósfera, llegando hasta nosotros por su reflexion directa, como tambien por su refraccion en el medio gaseoso que está sobre nuestras cabezas. La duracion del dia, ó por mejor decir de la claridad, se encuentra de esta suerte acrecida por el crepúsculo y por la aurora. En fin, durante la noche misma podemos tambien estar alumbrados por la luz solar, porque ella es la que reflejada por la superficie de la Luna y de los planetas, hace brillar á esos astros sobre el fondo oscuro de la estrellada bóveda.

Desde el invierno hasta el verano la variacion de intensidad de la luz solar puede ser bastante considerable, en razon de los cambios en la pureza de la atmósfera ó en su facultad absorbente; pero astronómicamente hablando, es decir, en los límites de la atmósfera esa intensidad subsiste siempre la misma, pues la variacion en la distancia de un foco luminoso no modifica su brillo intrínseco. Lo que realmente cambia en razon de esa distancia misma, es el diámetro aparente del astro, y por consecuencia la superficie luminosa y el poder iluminador. Cuando se calcula el valor relativo de esos elementos diversos se halla, que si el poder iluminador del disco solar es por ejemplo de 1,000 á la distancia media del astro, esto es, en las épocas de 1.º de abril, y 1.º de octubre, en su mayor distancia de la Tierra, ó en el afelio en 1.º de julio, ese poder queda reducido á 0,966; y en

enero, época del perihelio ó de su distancia mínima de la Tierra, viene á ser 1,053; mas para que esas cifras numéricas correspondan á variaciones reales en la luz del día, es preciso suponer que el Sol se encuentra en todos los casos, á una misma altura sobre el horizonte, en idénticas condiciones atmosféricas; lo cual es difícil que suceda en estaciones tan distintas.

La luz del Sol comparada con la de las estrellas y la de la Luna.—Diferencia de intensidad entre los bordes y el centro del disco solar.

Los físicos, cuyos experimentos fotométricos hemos citado antes, han ensayado tambien la comparacion de la luz solar con la de otras fuentes luminosas cósmicas, como la Luna y las estrellas.

Huygens calculó la luz del Sol por lo menos igual á 765 millones de veces la de Sirio, y segun Wollaston escede mucho todavía de esa cifra, evaluándola en 20,000 millones de veces la de la misma estrella, que es, como ya se sabe, la mas brillante de todo el cielo; resultando de ello que para ver reducirse el Sol á un punto luminoso cuyo brillo fuera igual al de Sirio, seria preciso que nuestro planeta se alejara en el espacio á una distancia cerca de 140,000 veces mayor que la que guarda en la actualidad del astro radiante. Por el contrario, si Sirio se nos aproximára hasta el punto de ocupar el sitio de nuestro Sol, su luz equivaldria á la de 94 soles iguales al nuestro!

Bouguer, comparando la luz del Sol con la del plenilunio, deduce de un gran número de observaciones la consecuencia de que el poder iluminador del Sol equivale á 300,000 veces el del disco de nuestro satélite; y ¡cosa estraña! Wollaston, casi de acuerdo con Bouguer sobre la intensidad comparada de las luces del Sol y de una bugía, ha hallado que la potencia iluminatriz del Sol es relativamente á la de la Luna, como 801,072 es á 1. La diferencia, pues, entre estos dos resultados es tanta que no alcanza explicacion: es un experimento que con vendria volver á ensayar.

Como quiera que sea, tomando por unidad la intensidad de la radiación solar, prescindiendo de la absorción atmosférica, puede calcularse la intensidad de esta radiación misma en la superficie de cada uno de los planetas. Considerada intrínsecamente subsiste la misma; pero en razón de la variación del diámetro aparente del Sol, y por consiguiente de la superficie radiante del disco, la cantidad de calor y de luz que llega á cada planeta varía en razón inversa del cuadrado de sus distancias al foco común. Desde Mercurio, el planeta más próximo al Sol, hasta Neptuno, que es el más lejano, la luz solar disminuye en la proporción de 7,000 á 1 próximamente.

Para terminar, todo cuanto tenemos que decir acerca del Sol, considerado como manantial de luz, réstanos hablar de la diferencia de intensidad que existe en las diferentes regiones de su superficie.

Parece un hecho fuera de duda, como ha sido el primero Bouguer en notarlo, que la superficie del disco no es igualmente luminosa, pues la luz del centro es más intensa que la de los bordes. Según él, la relación entre ambas intensidades se marca con los números 48 y 55. Sin embargo, Arago, habiendo comparado con el auxilio de su polariscopio la luz del centro del Sol con la de los bordes, no ha podido acreditar una diferencia de $\frac{1}{40}$ entre sus intensidades respectivas. Más recientemente el P. Secchi, ayudado de su fotometro de rueda giratoria ha obtenido un gran número de medidas comparativas, concluyendo por afirmar que el centro tiene una luz más intensa que los bordes en la proporción numérica de 4 ó 5 á 1: pero esto se entiende de la luz tomada á los 50 segundos del borde, porque en el borde mismo apenas eleva su evaluación todo lo más á $\frac{1}{20}$. ¿De dónde, pues, nacen esas divergencias entre los resultados obtenidos por distintos observadores, igualmente hábiles y entendidos? Esto es lo que no podemos explicarnos. J. Herschel, en la 6.^a edición de sus *Outlines of astronomy*, dice positivamente: «Cuando se observa el disco del Sol al través de un telescopio medianamente aumentativo con un cristal oscuro, para facilitar la visión con

su auxilio, se nota hasta la evidencia que los perfiles de su disco son bastante menos luminosos que el centro. Que esta no es una ilusión se prueba proyectando la imagen del Sol, medianamente aumentada y no oscurecida, hasta el punto de ocupar un círculo de un decímetro próximamente de diámetro, sobre una hoja de papel blanco.» Una prueba fotográfica del Sol obtenida el día 7 de agosto de 1863, y que conservamos en nuestro poder, indica una diferencia muy notable de intensidad entre la luz del borde y la del centro, si bien puede muy bien ser debida, principalmente á una diferencia en la actividad de los rayos químicos. Ya se verá mas adelante cuánta es la importancia del hecho de que se trata, bajo el punto de vista de la constitucion física del Sol.

§ 2.—*El calor del Sol.*

La temperatura de nuestro globo es debida á tres principios de calor: el calor interno, el calor solar y el de los espacios interestelares.

Tres orígenes principales de calor concurren á dar á la Tierra la temperatura que disfruta, y son en primer lugar el calor interno ó propio de la masa de la Tierra; despues el que le comunican los espacios interplanetarios, cuyas diversas regiones recorre sucesivamente, y últimamente el calor que recibe del Sol.

Un punto cualquiera del espacio se halla incesantemente atravesado por los rayos caloríficos emanados de los astros mas lejanos, estrellas, soles, cuerpos oscuros que circulan alrededor, y en una palabra, de todas las masas materiales aglomeradas ó diseminadas en el cielo. De esa irradiacion continua resulta cierta temperatura que puede variar, sobre todo, al trasladarse de un punto al otro del universo; pero subsistiendo sensiblemente la misma en el interior de nuestro mundo planetario, cuyas dimensiones son en extremo cortas con relación á las distancias de los focos radiantes (1).

(1) Esto significa que la temperatura de la porcion del espacio circunscrita por la órbita de Neptuno, el planeta mas distante del Sol, es uniforme, abscion hecha del calor irradiado por el Sol y los planetas. Pero como quiera que

Fourier ha sido el primero en reconocer y valuar la existencia de esa temperatura fundamental del espacio, y ha demostrado que si la masa terrestre, además de su calor interno, del cual nos proponemos decir tambien dos palabras, no recibiera mas que el del Sol, hallándose el espacio inter-planetario completamente desprovisto de calor, su disminucion durante la noche y durante las estaciones del invierno sería tal, que ningun ser viviente podria resistir á las variaciones tan bruscas que pudieran resultar para la temperatura en un lugar cualquiera. La temperatura del espacio es, sin embargo, inferior á la de las regiones polares mas frias; Fourier la calculaba á 60° bajo 0° , y segun Pouillet debe ser aun mucho mas baja, y nunca superior á -142° . Por débil que sea la temperatura del espacio celeste, es «una causa fisica siempre constante, que modera las temperaturas en la superficie del globo terrestre, dando á nuestro planeta un calor fundamental independiente de la accion del Sol, y del propio calor que su masa interior ha conservado.»

El aumento de temperatura que se observa en las capas del suelo, á medida que se pénétra avanzando hácia el interior de la Tierra, es una prueba incontestable de la existencia de un calor propio de la misma masa del globo terrestre. Fourier ha demostrado que la accion de los rayos solares no puede explicar por sí sola ese aumento de temperatura, porque en el caso de haberse prolongado esta accion durante un gran número de siglos, para que llegara dicho calentamiento á su término, deberia encontrarse, á partir de cierta profundidad, una temperatura uniforme; mientras que por el contrario, sino hubiera todavia llegado ese estado final, la temperatura de las capas terrestres deberia decrecer con la profundidad. En ambas hipótesis el resultado sería contrario siempre á la observacion.

El calor interior de la Tierra se propaga por via de

el Sol y todo su sistema marchan en una dirección determinada por el espacio, esa traslacion puede hacer recorrer á la Tierra y á sus compañeras regiones del mismo, cuya temperatura no sea igual y varíe con los años ó con los siglos.

conductibilidad, desde el centro hasta las capas superficiales y á la superficie misma del suelo, donde se ha calculado que no puede elevar la temperatura mas de un 36° de grado: sin embargo, bastaría, segun Fourier, para fundir en un siglo una capa de hielo de 3 metros de espesor.

A consecuencia de esta emision, el globo terrestre se enfria cada vez mas, si bien la pérdida de calor cada vez mas débil, tiende á estar cada vez mas compensada por la irradiacion del Sol, que constituye el tercero y principal origen de calor para la Tierra. Tal es el de que ahora vamos á tratar por ser el mas importante de este capítulo.

Intensidad del calor solar en la superficie del globo terrestre.— Absorcion por el vapor de agua de la atmósfera.

Para poder apreciar en su valor este principio poderoso de calor, es preciso llegar á distinguir lo que tiene de constante en sus efectos, en sí tan variados, y que podemos observar aquí en la superficie de la Tierra. Vemos cambiar de una hora á otra esos efectos, durante el curso de un mismo dia, de un dia al dia siguiente y desde una estacion á la estacion próxima. La observacion prueba tambien que existe una diferencia notable entre la temperatura de las diferentes regiones de la Tierra, segun sus latitudes; de suerte que se han podido distinguir tres clases de zonas distintas ó de climas; las zonas templadas, la zona tropical y las zonas glaciales ó polares; porque el calor solar se reparte de una manera bastante desigual durante el curso del año.

¿Cuáles son las causas de esas variaciones y de esas diferencias? Las mas notables y las mas constantes son los movimientos de la Tierra. Nuestro planeta, al girar sobre sí mismo, circulando al propio tiempo alrededor del Sol, presenta á este partes sucesivamente diversas de su superficie; ese doble movimiento da lugar á los dias y á las noches, á las estaciones y á los años; y como el eje de la Tierra permanece siempre paralelo al mismo, resultan respecto de la duracion de la permanen-

cia del Sol sobre cada horizonte, y respecto de su mayor ó menor altura, segun la hora del dia y la época del año, variaciones que causan precisamente las de temperatura que constituyen los diferentes climas. Ade-

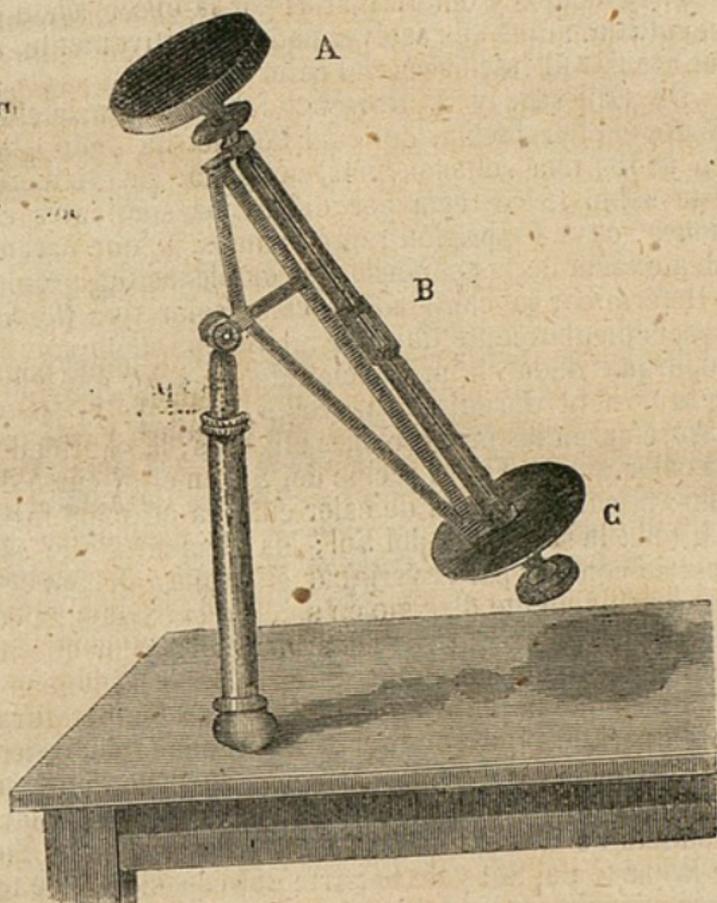


Fig. 1.—Pyrheliómetro de Pouillet.

más, la Tierra no está tampoco siempre á la misma distancia del Sol; y esta es otra causa de variacion en la intensidad del calor solar.

En fin, la atmósfera, al través de la cual pasan los rayos caloríficos antes de que podamos nosotros sentir sus efectos, está mas ó menos pura, mas ó menos cargada de vapores, y absorbe cantidades variables de esos rayos.

Era indispensable, como se vé, tener en cuenta todos esos elementos y determinarlos por la observacion ó por el cálculo, antes de resolver nada definitivamente, sobre la intensidad intrínseca del calor del Sol.

De Saussure y J. Herschel fueron los primeros en abordar el problema, del cual Pouillet ha dado despues en 1858, una solucion mas completa. La Memoria de este sábio físico tenia por objeto las siguientes cuestiones, cuya esposicion reproducimos, y que darán una idea exacta de las condiciones complexas del problema. «Determinar la cantidad de calor solar que descende perpendicularmente durante un tiempo dado sobre una superficie dada; la proporcion de ese calor que absorbe la atmósfera durante su trayecto vertical; la ley de la absorcion en las proyecciones oblicuas; la cantidad total de calor que la Tierra recibe del Sol en el discurso de un año; la cantidad total de calor emitida en cada instante por toda la superficie del Sol; los elementos que es necesario conocer para averiguar si la masa del Sol se enfria gradualmente de siglo en siglo, ó si existe una causa destinada á reproducir las cantidades de calor que incessantemente se desprenden del astro; los principios elementales que permitirian determinar su temperatura...; la temperatura que se observaria en toda la superficie de la Tierra, si el Sol no hiciera sentir su accion en ella; la elevacion de temperatura que resulta del calor solar; el producto de las cantidades de calor que recibe la Tierra de la parte del Sol y de la parte del espacio, ó de todos los demás cuerpos celestes.»

La figura 1.^a representa uno de los instrumentos de que se ha servido Pouillet para graduar la medida de la intensidad solar, y al cual dió el nombre de pyrheliómetro. Vamos ahora á reproducir de nuestra obra *Los fenómenos de la Física*, la descripcion sumaria y el sistema de su uso.

«Nótase en la parte superior un vaso cilíndrico de plata muy delgado, cuyo frente vuelto hácia el Sol, está cubierto de negro de humo. Este vaso está lleno de agua, y marca la temperatura del líquido un termómetro, cuyo globo se sumerge en el interior del cilindro, y cuya columna gradual encerrada en un tubo de latón está abierta longitudinalmente por una ranura que permite ver el nivel del mercurio. En la otra estremidad del tubo, un disco, del mismo diámetro que el vaso cilíndrico, recibe la sombra de este último y permite observar si la superficie ennegrecida se halla normalmente espuesta á la direccion de la radiacion solar; lo cual sucede cuando el disco inferior se halla exactamente cubierto por la sombra circular del disco superior.

Se principia por anotar la temperatura del instrumento; despues se espone su parte ennegrecida hácia una porcion del cielo despejada de nubes, pero de manera que no reciba los rayos solares. Al cabo de cinco minutos, la radiacion del instrumento determina cierto descenso en la temperatura; al dirigirlo entonces hácia el Sol, la parte ennegrecida recibe durante otros cinco minutos el calor solar, que cae perpendicularmente sobre ella; y entonces se anota una elevacion sensible de temperatura. Por último, se hace radiar de nuevo el instrumento durante otros cinco minutos en su primera posicion, y puede anotarse entonces el enfriamiento final. La primera y la tercera operacion son necesarias para calcular la cantidad de calor perdida por la radiacion del instrumento en el espacio durante el tiempo de su exposicion al Sol, cantidad que equivale á un termino medio entre los dos enfriamientos observados. Añadiendo el calor debido á la exposicion directa á los rayos solares, se obtendrá la elevacion total de la temperatura, y por consiguiente podrá calcularse el número de calorías (1) absorbidas en un minuto por una superficie igual á la del disco ennegrecido.»

La elevacion de temperatura del pyrliómetro de-

(1) Llámase caloría la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado la temperatura de un kilógramo de agua.

pende de una cantidad constante que Pouillet ha titulado la *constante solar*, porque espresa la potencia calorífica constante del sol; depende además de otra cantidad

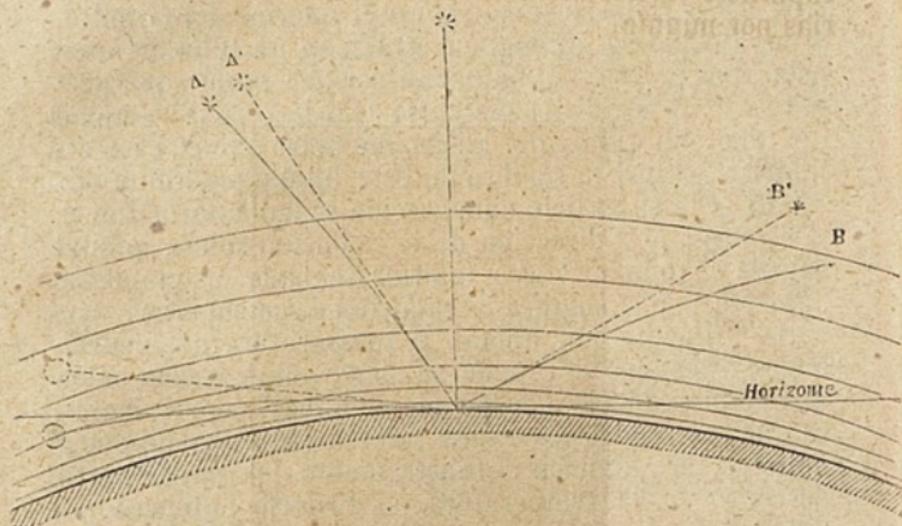


Fig. 2.—Desigualdad de espesor de las capas atmosféricas, atravesadas por los rayos del Sol, según su altura en el horizonte.

que asimismo titula la *constante atmosférica*, que es fija para el mismo día, aunque variable de un día á otro, según la serenidad del cielo, y según que la atmósfera absorbe cantidades mas ó menos considerables del calor solar incidente. En fin, depende principalmente del espesor atmosférico atravesado por los rayos del Sol, ó lo que es lo mismo, de la altura á que se encuentra el Sol sobre el horizonte.

La figura 2 demuestra cuánto varía el espesor atravesado según la altura del sol, aun prescindiendo de la refracción que aumenta todavía el camino recorrido.

Veamos ahora algunos resultados obtenidos por este sabio, y que ha deducido de un gran número de observaciones.

Si la atmósfera pudiese transmitir íntegramente todo

el calor solar, sin absorber nada,—lo cual equivale á suponer trasportado el aparato á los límites de la atmósfera, donde recibiria sin ninguna pérdida todo el calor que el Sol nos irradia;—cada metro cuadrado de la superficie verticalmente herida, recibiria 17,655 calorías por minuto.

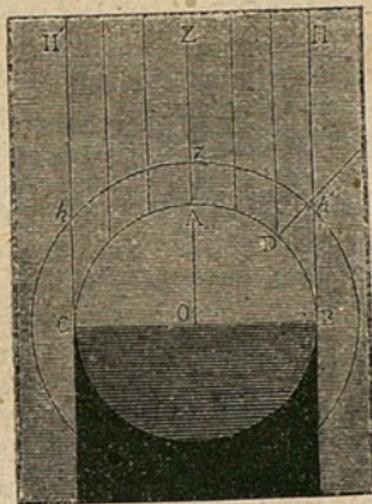


Fig. 5.—Absorción del calor del Sol por la atmósfera en los distintos puntos de un hemisferio terrestre.

Pero la absorción de la atmósfera disminuye esta cantidad. Bajo un cielo de una serenidad perfecta, y suponiendo que los rayos caloríficos atravesasen verticalmente la atmósfera, (esto es, suponiendo al Sol en el zénit) esta absorción se halla comprendida entre 18 y 23 centésimos; y aumenta además con la oblicuidad. Si se considera todo el calor que cae sobre la totalidad del hemisferio terrestre iluminado y calentado á la vez por el Sol, (fig. 5) es evidente que los diversos rayos de que se compone el haz calorífico, descienden á la Tierra bajo todas las oblicuidades posibles, siendo verticales en el punto A, cuando el Sol está en el zénit; horizon-

tales en los puntos tales como B y C, en los cuales se halla en el horizonte; oblicuos en el horizonte en los puntos intermedios, tales como D. Entonces, aun suponiendo la atmósfera completamente serena, absorbe todavía casi la mitad del calor, y la parte que llega al suelo no pasa de 5 á 6 décimas.

Pues que el Sol, segun acabamos de ver, envia en un minuto sobre cada metro cuadrado del suelo que hiere perpendicularmente una porcion de calor igual á 17,655 calorías, es fácil deducir la cantidad total de calor que el globo terrestre y su atmósfera reciben á la vez durante un año, que es la que recibe una superficie igual en estension á uno de los grandes círculos de la Tierra. Asi se encuentran mas de 1,200 trillones de calorías, ó el número 1,210.000,000,000,000,000.

Es tan grande esta cantidad de calor, que es muy difícil formarse de ella una idea. Pouillet la ha de calor de la manera siguiente: «Si la cantidad total valuado que recibe la Tierra del Sol en el trascurso de un año, se distribuyera de una manera uniforme entre todos los puntos del globo terrestre, empleándose por completo en fundir el hielo, sería capaz por sí sola de derretir una capa de dicha materia que envolviera la Tierra entera y que tuviese un espesor de 30^m, 89, ó sea unos 51 metros próximamente; tal es la mas sencilla espression de la cantidad total de calor que recibe anualmente del Sol la Tierra.»

La absorcion del calor solar por la atmósfera, depende evidentemente del espesor de las capas atravesadas; mas, tratándose de alturas iguales del Sol sobre el horizonte, es decir, de densidades iguales del aire, la absorcion varía en un mismo sitio segun las estaciones. Pero está probado que no es el aire mismo, esto es, la mezcla del gas oxígeno y de ázoe lo que absorbe la mayor parte del calor; el vapor de agua contenido en el aire, en proporciones ademas muy variables, tiene un poder absorbente por lo menos setenta veces mas considerable; lo cual esplica el hecho acreditado por el P. Secchi, de que la radiacion solar es menos intensa en verano que en invierno dada una misma altura del

Sol; en verano la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera, es efectivamente mucho mas grande que en invierno.

Resulta de los esperimentos hechos en distintas alturas por Forbes y Kaemtz y despues por M. Martins, que la intensidad de la radiacion solar es mucho mayor sobre las montañas que en las llanuras, y la razon de esto se esplica por la menor densidad de la atmósfera atravesada por los rayos solares, y ademas por que el aire está mas seco y menos cargado de vapor en las montañas que en las llanuras. Sin embargo, es tanto mas frio, cuanto se eleva á mas considerables alturas, de suerte que resulta una contradiccion aparente, cuya esplicacion no es dificil. Los objetos que reciben directamente la accion de los rayos solares, son los que se calientan, mientras que absorbiendo el aire una débil cantidad de calor, permanece frio. «Jamás, dice Tyndall, he experimentado tanto calor solar como al descender del *Corredor* á la gran meseta del Mont Blanc, el dia 15 de agosto de 1857: mientras me hundia yo en la nieve hasta los riñones, lanzaba el Sol sus rayos en mí con una fuerza intolerable. Al entrar en la sombra de la *cúpula du Gouté*, cambiaron al punto mis impresiones porque la temperatura del aire era allí de hielo, que no era por cierto mas sensiblemente frio que el aire cruzado por los rayos solares; y yo sufría no por el contacto del aire cálido, sino por el choque de los rayos caloríficos lanzados sobre mí al través de un ambiente frio como la nieve.» (*El Calor.*)

El vapor de agua retiene en mayor proporcion los rayos solares, que el aire, en el cual se halla dilatado; pero esos rayos se componen, como es sabido, de dos especies de radiaciones distintas; las radiaciones luminosas y las radiaciones oscuras, y ambas especies experimentan absorciones bastante desiguales. Las primeras pasan casi por completo y penetran hasta el suelo, mientras que las otras son por el contrario absorbidas en una proporcion considerable. Si, pues, la atmósfera impide que llegue á la superficie de nuestro globo una gran porcion de calor solar, en cambio disfruta de la

propiedad de retener la que ha llegado á calentarla. Sin la atmósfera y sin el vapor de agua que la misma contiene, produciéndose casi sin obstáculo la irradiación solar sobre el espacio interplanetario, la pérdida de calor sería enorme como sucede, por lo demás, respecto de las altas regiones. Apenas se pusiera el Sol, un enfriamiento rápido sucedería al calor intenso de sus rayos directos, y en una palabra, habría una diferencia enormísima entre la temperatura máxima y la mínima, tanto mensuales como diurnas. Esto mismo es lo que ocurre en las mesetas elevadas del Thibet, y lo que explica la crudeza glacial de los inviernos y descenso de las líneas isotérmicas en esas regiones. Tyndall ha dicho con bastante justicia: «La supresión, durante una sola noche de verano, del vapor de agua contenido en la atmósfera que cubre á la Inglaterra, (lo cual sucede igualmente en todos los países de las zonas análogas) iría acompañada de la destrucción de todas las plantas vegetales que no resisten al hielo. En el Sahara, donde *el Sol es abrasador como el fuego y el viento de llama*, el frío de la noche es con frecuencia grande, y se observa en esta comarca tan cálida como se congela el agua por las noches.

Intensidad intrínseca del calor del Sol.—El calor solar fundiría diariamente una capa de hielo de 17 kilómetros de espesor que rodeara el globo del Sol.—El calor del espacio comparado con el calor solar.

Pero volvamos al calor del Sol, á la valuación de su intensidad intrínseca. Haremos notar ante todo que los medios empleados por los físicos para medir la intensidad de la radiación calorífica del Sol en la superficie de la Tierra, solo permiten una aproximación. El pyrhelímetro de Pouillet dá un minimum, pues que se absorbe evidentemente una parte del calor: los números que marcan los resultados de estos experimentos son, por lo tanto, mas bien inferiores que superiores al número exacto; pero aceptándolos provisionalmente, puede calcularse la cantidad de calor que el Sol envía, no solo á la Tierra, sino tambien á todo el cielo, en una

palabra toda la que el globo solar difunde en torno suyo en todas direcciones, por todo el universo.

A la distancia media del Sol á la Tierra, la cantidad de calor que envia el astro por minuto á cada metro cuadrado, es de 17,655 calorías, y por consiguiente la misma cantidad recibe cada uno de los metros cuadrados que componen la superficie de una esfera, que tenga al Sol por centro y la distancia de la Tierra al Sol por radio. De aquí resulta respecto á toda la esfera, esto es, para la radiacion solar durante un minuto, un número de calorías igual á la cifra de 4,847, seguida de 25 ceros. Púedese igualmente notar que la superficie de la esfera de que se trata, equivale á 2,150.000,000 de veces la de un gran círculo de la Tierra, y por este último número habrá que multiplicar el que hemos hallado antes para un hemisferio terrestre, si se quiere averiguar la cantidad total de calor irradiada por el Sol en el intervalo de un año. Traduzcamos ahora de otra manera estas sorprendentes cifras numéricas, y digamos con Pouillet:

«Si la cantidad total de calor emitida por el Sol se empleara esclusivamente en fundir una capa de hielo aplicada al globo solar que le envolviera por todas partes, esta porcion de calor seria suficiente para disolver en un minuto una capa de 14^m, 80 de espesor, y en un dia otra de 17 kilómetros de grueso.» Esa cantidad misma de calor, dice Tyndall, «haría hervir por hora 2 billones, 900,000 millones de kilómetros cúbicos de agua helada. Espresado en otra forma, el calor emitido por el Sol durante una hora, es igual al que engendraria la combustion de una capa de hulla de 27 kilómetros de espesor.»

John Herschel ha formulado ademas la siguiente comparacion, que, bajo una forma original, revela cual es la actividad del inmenso foco, del cual absorbe la Tierra una porcion equivalente á lo sumo á $\frac{1}{2,150,000,000}$.

«Suponed, dice, que una columna cilindrica de hielo de 18 leguas de diámetro sea constantemente lanzada hácia el Sol, y que el agua derretida se separe al punto. Para que todo el calor solar se empleara en la fusion

del hielo, sin que ninguna radiacion exterior se produjera, seria necesario arrojar el cilindro congelado hácia el Sol con la celeridad de la luz: ó si se quiere otra comparacion, el calor del Sol, sin disminuir su intensidad, podria fundir en el intervalo de un segundo una columna de hielo de 4,120 kilómetros cuadrados de base, y de 510,000 kilómetros de altura.»

Lo que conviene notar es la circunstancia de que la determinacion de intensidad de la radiacion calorifica solar no descansa en ninguna hipótesis. «Es, como dice con bastante oportunidad Pouillet, independiente de la naturaleza propia del Sol, de la materia de que se componga, de su potencia refulgente, de su temperatura y de su calor específico, como que es simplemente la consecuencia inmediata de los principios mejor sentados con relacion al calor radiante y al número al cual nos ha llevado la esperiencia (1).

Ya hemos dicho al principio de este capítulo que Pouillet habia determinado aproximadamente la temperatura de los espacios interplanetarios, hallando 142° bajo cero. Resulta igualmente de las investigaciones científicas del mismo físico sobre la cantidad de calor que ese espacio comunica á la Tierra y á su atmósfera durante el trascurso de un año, que ese calor bastaria para derretir en la superficie de nuestro globo una capa de hielo de 26 metros.

Así pues, por una parte el calor del Sol fundiria una capa de 51 metros, y por otra el calor del espacio derretiria á su vez otra capa de 26 metros. Este último representa por tanto las $\frac{5}{6}$ próximamente del primero,

(1) Este último número solo será probablemente modificado cuando se hayan repetido los mismos experimentos en un gran número de sitios diferentes por sus posiciones geográficas, por sus alturas y por sus climas; de manera que puedan eliminarse todas las causas locales de perturbacion. Además, ya tendremos lugar de apreciar el poder difusivo del negro de humo, de que habia prescindido Pouillet, porque en la época de sus experimentos, consideraban los físicos como absoluta la potencia absorbente del negro de humo. En todo caso, las cifras numéricas que miden la radiacion solar, y que ya dejamos indicadas de antemano, se hallan mas inferiores que superiores á las exactas. MM. Quetelet y Althans, que han repetido, el primero los experimentos de Herschel, y el segundo los de Pouillet, han obtenido efectivamente resultados numéricos dobles ó triples de los que dejamos notados mas arriba.

cuyo resultado á primera vista no puede menos de aparecer paradójico. Pero si se reflexiona que el disco solar observado desde la Tierra, no ocupa mas que la doscientas milésima parte de la bóveda celeste y que la superficie radiante del astro, comparada con la de todo el espacio que rodea la Tierra, es 200,000 veces menor, no se estranará que una zona de una temperatura tan baja alcance á producir un efecto calorífico casi igual al del Sol.

Calor del Sol y su potencia mecánica en la superficie de la Tierra.

Uno de los mas grandes descubrimientos de la ciencia contemporánea, es indudablemente el que ha demostrado la equivalencia del trabajo mecánico y del calor, y la posibilidad de la transformacion recíproca de estos dos elementos, el uno en el otro. La porcion de calor que ha recibido el nombre de *caloria*, es, como ya sabemos, la que se necesita para elevar 1° centígrado la temperatura de un kilogramo de agua: por otra parte, los mecánicos dan el nombre de *kilográmetro* á la fuerza necesaria para levantar á la altura de un metro el peso de un kilogramo en el intervalo de un segundo. El problema resuelto es el que consistia en determinar cuantos kilográmetros puede producir una caloria transformada enteramente en fuerza mecánica ó vice-versa, qué cantidad de calor se produce para el empleo de un número dado de kilográmetros. Ya es hoy sabido que una caloria equivale próximamente á 425 kilográmetros (1), y de ahí se deriva el nombre dado á ese número de *equivalente mecánico* del calor.

Ya hemos visto cuál es la potencia calorífica del calor del Sol, evaluada en calorías; qué peso de agua pondría este calor en ebullicion; qué capa de hielo derretiría sobre la superficie del Sol en el solo intervalo de un dia, y qué capa de hielo se fundiría en la superficie

(1) Los nombres de los físicos modernos que han trabajado en la solucion de este problema capital, son los de los Rumfort, Mayer, Joule, Thomson, Helmholtz, Hirn, Clausius, Regnault y otros que no recordamos. De todos ellos, Mayer ha tenido la gloria incontestable de haber sido el primero en dar una respuesta decisiva.

del globo terrestre por la fracción del calor solar que desciende en el período de un año sobre la superficie. Ahora podemos decir también cuál es la potencia mecánica de ese inmenso foco, y valuar la suma de fuerzas que engendraría en la superficie terrestre todo el calor que derrama sobre ella incesantemente, si ese calor se convirtiera en fuerza mecánica.

En un año cada metro cuadrado de la superficie terrestre recibe 2.318,157 calorías, es decir, más de 23,000 millones de calorías por cada hectárea, equivalentes á unos 9.852,200.000,000 de kilográmetros. De esta suerte la radiación calorífica del Sol, ejerciendo su acción sobre la superficie de una de nuestras hectáreas, desarrolla bajo mil formas diversas una potencia equivalente al trabajo continuo de 4,165 caballos de vapor: sobre la Tierra entera es un trabajo de 217.316,000.000,000 caballos-vapor.

Quinientos cuarenta y tres mil millones de máquinas, de fuerza efectiva de 400 caballos cada una, funcionando sin cesar día y noche; ¡eso vale para nuestro planeta la sola radiación solar!

Una parte de esta potencia se emplea en calentar hasta cierta profundidad la corteza terrestre; pero como el suelo y la atmósfera irradian en el espacio, y el globo terrestre no parece perder ni ganar bajo el punto de vista de la temperatura media, á lo menos durante largos períodos de años, toda esa parte de la radiación solar puede reputarse como empleada en mantener el equilibrio de la temperatura sobre el planeta.

Otra parte se transforma en movimientos moleculares, en acciones y reacciones químicas que constituyen la fuente, donde la vida de los vegetales y de los animales toma los elementos necesarios para mantenerse y perpetuarse. El calor, que parece propio de esos seres, no es sino una emanación del foco común. «Así es, dice con este motivo Tyndall, que nosotros somos, no ya en un sentido poético, sino en un sentido puramente mecánico, hijos del Sol.» Ya tendremos ocasión más adelante de apoyar más todavía este punto interesante de la acción solar.

En fin, la radiacion calorífica del Sol concurre asimismo á la produccion de la mayor parte de los fenómenos de movimiento sensibles á la vista, y de los cuales el suelo, el aire y las aguas son el continuo teatro, lo cual es fácil demostrar.

¿A qué causa son debidos efectivamente las corrientes aéreas, y los movimientos regulares ó irregulares de que están animadas las masas gaseosas de la atmósfera? Al calor solar que directamente calienta poco las capas atmosféricas, pero que lanzando perpendicularmente sus rayos sobre el suelo de las regiones tropicales, eleva mucho mas el grado de su temperatura que en las restantes latitudes. Las capas de aire mas bajas que se hallan en contacto con el suelo, se caldean, se dilatan, y el aire rarificado de que se componen, sube para precipitarse al Norte y al Sur, hácia las latitudes mas frias, siendo aquellas reemplazadas por las masas de aire mas frias que vienen de las regiones templadas y polares. De este modo nacen esos vientos regulares conocidos con el nombre de alisios, cuya direccion se halla, por lo demás, modificada por el movimiento de rotacion de la Tierra.

Dos rios aéreos fluyen asi constantemente en cada hemisferio, desde el Ecuador hácia cada polo: el uno superior que se dirige hácia el Nordeste en el hemisferio boreal, y hácia el Sudeste en el hemisferio austral; el otro inferior, con una direccion precisamente contraria, soplando por consiguiente desde el Nordeste ó Sudeste. «Asi se producen los grandes vientos de nuestra atmósfera, materialmente modificados sin embargo por la distribucion irregular de los terrenos y de las aguas. Vientos de menor importancia nacen tambien de la accion local del calor, del frio y de la evaporacion: hay vientos producidos por el calentamiento del aire en los valles alpestres, que soplan á veces, lanzándose con una violencia instantánea y destructiva al través de las gargantas de las montañas, al paso que otras oleadas suaves descienden tambien á veces, producidas por las nevetras ó los ventisqueros en las alturas. Hay igualmente brisas terrestres y brisas marítimas debidas á las varia-

ciones de temperatura del suelo de la playa durante el día y la noche. El Sol de la mañana, al calentar la Tierra, determina una traslación vertical de aire que el aire más frío de la mar viene á compensar, soplando hácia la Tierra: por la tarde la tierra se halla más refrescada por la radiación que las aguas marítimas, invirtiéndose así las condiciones; y entonces es el aire más frío y más pesado de las costas el que sopla hácia el mar.» (Tyndall.)

Los vientos, como se ve, reconocen como origen principal el calor del Sol, que se produce con desigualdad en las distintas regiones de la superficie del suelo terrestre, según la posición del astro, posición que además varía sin cesar con la hora del día y la época del año. La rotación y traslación de la Tierra concurren pues con la radiación solar calorífica á determinar las corrientes atmosféricas; y así se gasta, bajo la forma de movimiento sensible, una parte de la fuerza mecánica que contienen las ondulaciones etéreas procedentes del Sol.

Pero hay más. Las alternativas de calentamiento y de enfriamiento del suelo y de las masas atmosféricas, producen ya una evaporación del agua de los mares, de los ríos y de los lagos, ya una condensación del vapor de agua contenido en la atmósfera. Las vejiguitas que forman las nubes, una vez enfriadas, se reúnen formando gotas que se precipitan al suelo por su propio peso, produciendo la lluvia; y refrescándose todavía más, se congelan y caen en forma de nieve, acumulándose principalmente en las cumbres de las montañas, constituyendo, en fin, los ventisqueros en las altas regiones. El calor del Sol derrite de nuevo el agua congelada en los campos nevados y en los ventisqueros, las corrientes y los manantiales se precipitan bajo la influencia de la gravedad, reuniéndose con las aguas pluviales, hasta formar los arroyos y los ríos, y restituyéndose por estos conductos al mar, de donde el calor del Sol les había extraído.

De esta suerte la circulación de las aguas y de las masas aéreas, esos movimientos tan continuos como indispensables para el mantenimiento de la vida en la su-

perficie del globo, proceden en parte de la potencia mecánica del calor solar, y en parte de la gravedad de la masa terrestre.

Otras corrientes líquidas, las que atraviesan los mares desde el Ecuador hasta los polos; se producen del propio modo: la desigualdad de las temperaturas da lugar á desiguales dilataciones y á movimientos ascendentes y descendentes de las capas líquidas: la evaporacion causa un efecto inverso, aumentando el grado de salazon en los puntos en que el calor la aumenta, esto es, en las regiones de la zona ecuatorial; y de ahí la diferencia de densidad y de los movimientos ó corrientes, que son la consecuencia.

La cantidad de movimiento producida así de una manera continúa por el calor solar en la superficie del globo terrestre es inmensa. No se limita á la circulacion aérea, fluvial ú oceánica, ó por lo menos da lugar esa misma circulacion á modificaciones incesantes en la corteza sólida del globo. Una degradacion lenta y continúa de las rocas, de las materias de transporte, arenas, guijarros y tierras, cambia de año en año, de siglo en siglo, la forma de las costas y el relieve de las colinas y de las montañas, siendo también la potencia mecánica del calor solar la causa originaria de estas trasformaciones.

§ 5.—Radiaciones químicas del Sol.

Combinaciones y descomposiciones químicas producidas por la luz solar.

No es solamente bajo la forma de luz y de calor como lanza periódicamente el Sol sobre la Tierra sus poderosos y fecundos efluvios: la presencia de sus rayos se manifiesta bajo una forma todavía menos aparente, si bien no menos eficaz ni menos propia para modificar los cuerpos sometidos á su accion: una multitud de combinaciones y descomposiciones químicas se efectúan bajo su influencia.

Este modo de actividad de las radiaciones solares se

ha puesto por primera vez en evidencia por Scheele en 1770, cuyo sabio descubrió que el cloruro de plata espuesto á la luz del Sol, adquiere un color negro violáceo. Despues se ha estudiado y explicado el fenómeno, probándose que no es sino una descomposicion química del cloruro de plata en sus dos principios: la plata metálica y el cloro. El cloruro de plata no es por otra parte el único compuesto químico que la luz solar tiene la propiedad de reducir ó descomponer: el azotato de plata, el cloruro de oro y en general los cloruros, los bromuros y los yoduros de los metales menos oxidables, como el oro, el mercurio, la plata y el platino, se hallan en el mismo caso. Bajo la accion prolongada de los rayos solares, el ácido azótico concentrado, que como se sabe es perfectamente incoloro, toma un color amarillento al perder el oxígeno, desprendiendo rutilantes vapores; y la misma accion reductora tiene efecto en otras combinaciones oxigenadas, en circunstancias idénticas.

Una esperiencia bien conocida de todos los que han estudiado la química, revela otro modo de accion de la luz solar. Ya se sabe cuán grande es la afinidad del cloro con el hidrógeno: una mezcla de ambos gases en iguales porciones, da por resultado la formacion del ácido clorhídrico; basta aproximar una cerilla encendida á la boca del frasco que lo contiene, para que una viva detonacion anuncie bien presto la combinacion de los gases. Pero la luz produce el mismo efecto que el calor; y si se arroja al aire en un punto alumbrado por el Sol el globo que contiene la mezcla fulminante, opérase una esplosion violenta, y el globo estalla, quebrándose en mil pedazos antes de caer á tierra. Así, pues, la luz del Sol que como hemos visto produce descomposiciones químicas, provoca igualmente combinaciones. La que acabamos de reseñar, no es la única: el bromo se dilata como el cloro cuando se espone á los rayos solares en presencia de un compuesto hidrogenado: la resina del guayaco se oxida á la luz del Sol, convirtiéndose su color, de blanco que era, en azul oscuro.

Conocido es generalmente el procedimiento del blan-

queo de las telas crudas, que consiste en tender sobre las yerbas el lienzo á la luz del Sol; es una oxidacion lenta de la materia orgánica, debida á la accion de los rayos solares.

El arte, tan difundido hoy de la daguerreotipia y de la fotografía, reconoce por base la influencia de la radiacion solar sobre determinadas sustancias impresionables; y lo que es aun mas notable, un ramo enteramente nuevo de la ciencia, la fotoquímica ha nacido de los ensayos practicados sobre la accion química de los mantediales luminosos, entre los cuales la luz solar ocupa el primer lugar por su importancia.

Análisis de las radiaciones solares.—Estudio de la intensidad luminosa, calorífica y química de las distintas regiones del espectro.

Es por demas sabido hoy que la luz blanca del Sol es un compuesto de un gran número de matices, entre los cuales distingúense siete colores principales, el encarnado, el anaranjado, el amarillo, el verde, el azul, el violado y el indigo: el haz de luz blanca que atraviesa un prisma, trasfórmase, despues de su paso por el medio refringente, en una imágen prolongada, teñida con los colores y matices de que se trata, y que se llama espectro. Este es el fenómeno de la dispersion de los rayos coloreados (1).

El análisis de los diversos focos luminosos y de sus espectros, ha revelado un gran número de fenómenos de la mas alta importancia; pero ahora debemos limitarnos á tratar de lo concerniente á las radiaciones solares, y con especialidad del hecho de la diferencia entre los rayos que componen el espectro particular de este foco, bajo el punto de vista de sus efectos caloríficos, luminosos y químicos.

Cuando recibimos sobre un punto dado un haz de rayos solares, antes de toda descomposicion, todos sus efectos se reunen, y á la vez la accion luminosa, la accion calorífica y la accion química, todas las ondas que participan de estas clases distintas de influencia, se pe-

(1) Para mas detalles sobre este punto tan curioso, nos permitiremos remitir al lector á nuestra obra *Los fenómenos de la física*, Lib. III. 5

netran y se confunden; pero el mismo haz presentado bajo la forma de espectro ó de una prolongada cinta, donde los rayos se colocan segun el órden de su refrangibilidad, donde las diferentes ondas se separan, segun sus amplitudes, ó, lo que es igual, segun la celeridad de vibraciones que las caracteriza, ha podido ser estudiado bajo el triple punto de vista que acabamos de indicar.

En el año 1800, Guillermo Herschell reconoció ya que las diferentes regiones del espectro solar poseen distintas potencias caloríficas; que estas van en aumento, desde el violado al encarnado, y aun despues de este matiz suben mas todavía, para disminuir á una distancia muy grande de la parte visible. Asi, pues, los rayos mas luminosos no son los mas ardientes, y en las radiaciones solares hay rayos que incapaces de dar á la vista la sensacion de la luz, producen sin embargo el calor: mas allá de la parte visible del espectro hay otra parte invisible ú oscura mas allá del color encarnado, donde se encuentra el máximum de la accion calorífica.

Cuando Scheele descubrió en 1781 la accion reductora de la luz del Sol sobre el cloruro de plata, notó que la composicion se ennegrecia, sobre todo en la parte violeta, extrema del espectro. Wollaston quiso ir mas lejos todavía, y halló mas allá del color violado, hasta una distancia por lo menos igual á la que media entre dicho matiz y el rojo, toda una region igualmente invisible del espectro, que obrando químicamente sobre ciertas sustancias, las descompone ó las oxida. M. Edmundo Becquerel ha analizado las radiaciones ultra-violáceas del espectro solar, reconociendo que esta parte invisible del espectro se encuentra surcada, lo mismo que la parte luminosa, de una multitud de líneas que designan los puntos donde son absorbidos los rayos.

En resúmen, el espectro solar parece formado de tres partes sobrepuestas: la una de ellas comprende todos los rayos que obran sobre nuestra retina y producen la sensacion de la luz; y esa es la parte visible y coloreada del espectro, que tiene su máximum de intensidad entre las líneas D y E de Fraunhofer; la segunda es la

region de los rayos caloríficos que empieza desde el violado, en que marca una intensidad mínima y escede del rojo extremo, mas allá del cual alcanza su máximum; y en fin, la tercera que solo empieza á ser un poco viva á partir del color azul, y va en aumento hasta aproximarse al violado extremo, continuando mas allá de la parte visible. El punto donde tiene lugar la intensidad máxima, varía segun las sustancias químicamente mas sensibles (1).

Por lo demás, son las mismas ondas, las vibraciones mismas, mas ó menos rápidas, las que ocasionan esos efectos variados: en las radiaciones solares no hay otras diferencias que las amplitudes ó longitudes de la onda, que son allí capaces de producir ya el calor, ya efectos de color y de luz, ya combinaciones de descomposiciones químicas.

Del propio modo que se ha procurado medir la intensidad de la luz y del calor del Sol en la superficie de la Tierra, se ha calculado tambien la intensidad de sus radiaciones químicas. Dos químicos contemporáneos, Bunsen y Roscoe, han descubierto que la potencia del Sol bajo este punto de vista puede medirse por un volúmen de gas hidrógeno y de cloro mezclados, que contuviese una capa de 55 metros de espesor que envolviera la Tierra: bastando un solo minuto para que los rayos solares convirtiesen dicha capa en ácido clorhídrico. En esto, lo mismo que respecto del calor y de la luz, la atmósfera alcanza una influencia absorbente: bajo la inclinacion normal, la capa de ácido clorhídrico formada no escederia de 17 metros, y quedaria reducida á 11 si los rayos solares pudieran llegar á ella despues de haber atravesado la atmósfera bajo una incidencia de 45°.

En el trascurso de un año la capa de gas ácido clorhídrico que las radiaciones químicas del Sol tendrian poder para combinar sobre toda la superficie del globo terrestre, alcanzaria un espesor de 4,600 kilómetros, y convertida en calor, esta potencia misma daria mas

(1) En la figura 4, la curva de las intensidades químicas es la que corresponde á la impresion de la luz sobre una lámina de plata cubierta de yodo por medio del procedimiento de Daguerre.

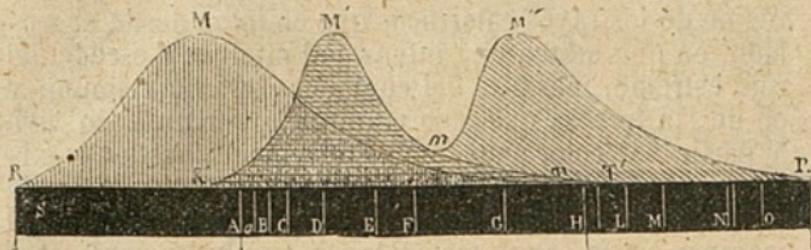


Fig. 4.—Espectros caloríficos, luminosos y químicos de la luz solar: 1. Espectro luminoso R M T. 2. Espectro calorífico R' M' T'.—3. Espectro químico M' M'' P.

de 4,000 veces el número de calorías nacidas de la radiación calorífica del Sol; y ya hemos visto además en otro lugar la enorme cantidad de calor que el globo terrestre recibe directamente en el transcurso de un año.

Ya sabemos ahora cuál es la potencia de las radiaciones solares, tanto caloríficas como luminosas y químicas. Réstanos trazar el cuadro de la influencia que el Sol ejerce por medio de estos tres modos de acción sobre los seres orgánicos que viven en la superficie de la Tierra.

CAPITULO II.

Influencia del Sol sobre los seres vivientes.

Accion de la luz solar sobre las plantas.—Eliminacion del oxígeno y fijación del carbono.—Vegetación en la oscuridad.—Influencia indirecta de la luz sobre las flores.—Los vegetales son seres formados de aire por la acción del Sol.

¿Cuál es la influencia del calor solar, considerada bajo el punto de vista puramente mecánico, en el globo terrestre?

Ya lo hemos visto mas arriba. Sabemos que este calor es la causa productora de los movimientos atmosféricos de las grandes corrientes oceánicas, el que eleva en la atmósfera en forma de vapor el agua del suelo, la de los mares y de los rios, haciéndola descender despues en forma de lluvia de granizo y de nieve. La fuerza que en los huracanes troncha y arranca los árboles, es derivada del Sol; es una trasformacion de las vibraciones caloríficas de su masa por medio de un movimiento de traslacion de las moléculas gaseosas que componen las capas atmosféricas.

En los fenómenos del orden puramente físico, la trasformacion de la potencia inherente á las radiaciones solares es, por decirlo así, directa: las ondulaciones producidas en el éter por las vibraciones de la masa del Sol, despues de propagarse desde el foco hasta nuestro planeta con la rapidez de 300,000 kilómetros por segundo, comunican á las moléculas del aire el movimiento profundo que se nos hace perceptible á la vista por medio de una especie de dilatacion, determinando un cambio de densidad en la masa: destrúyese entonces el equili-

brio de las distintas capas, y la gravedad ó pesantez que tiende á restablecerlo hace lo demás: el movimiento molecular se cambia en un movimiento de masa.

El calor solar alcanza indudablemente aun sobre nuestro globo otra clase de influencia: desde los descubrimientos de Ampere, los físicos vienen considerando las corrientes magnéticas que lo surcan como corrientes termo eléctricas producidas por la desigualdad de la distribución del calor solar en la superficie, ó bien por la acción del núcleo en fusión sobre la corteza sólida del esferoide. De todos modos parece cierto que las variaciones diurnas mensuales y anuales de la aguja imantada se hallan ligadas á la marcha del Sol. Tal es, sumariamente espuesta, la influencia del astro sobre los cuerpos inorgánicos, y por consecuencia sobre los medios donde se producen, viven y mueren los seres organizados. Entremos ahora en algunos detalles relativos á la influencia del Sol sobre la vida misma.

La acción bienhechora y fecunda de las radiaciones solares sobre los seres vivientes, sobre los vegetales y sobre los animales, es tan evidente, tan conocida y apreciada por sus resultados en todo el mundo, que parece superfluo tratar de desenvolver una tesis que está fuera del alcance de toda controversia; pero lo menos conocido es cómo se verifica esta acción; al paso que lo que mas generalmente se ignora es por medio de qué cadena de fenómenos intermedios las ondulaciones caloríficas, químicas y luminosas llegan á modificar los seres organizados, conservando entre ellos la fuente de la vida.

Bonnet y Priestley reconocieron un siglo há próximamente que las partes verdosas de las plantas producen un gas á propósito para la combustion, el oxígeno. Después de ellos, Ingenhouz reconoció que ese oxígeno se desprende únicamente allí donde las partes verdes se hallan espuestas á la luz del Sol, mientras que por el contrario, exhalan en la oscuridad ácido carbónico. Faltaba saber de donde procede el oxígeno deprendido bajo el influjo de los rayos luminosos. Esto es lo que descubrió luego Sennebier, poniendo en posesion á la ciencia de esta verdad fundamental: las partes

verdosas de las plantas espuestas á los rayos directos de la luz solar, descomponen el gas ácido carbónico contenido en el aire, fijando en su sustancia el carbono y dejando escapar una cantidad equivalente de oxígeno que combinada con el carbono, forma el ácido carbónico; mientras que por el contrario, en la oscuridad la planta absorbe en parte el oxígeno del aire y desprende ácido carbónico producido por la oxidacion de una parte del carbono de la planta.

Pero hay mas todavía. Es sabido que, segun los experimentos del sabio americano Draper, esa misma descomposicion del ácido carbónico por las plantas, se produce únicamente bajo la influencia de los rayos luminosos, y que ni los rayos puramente caloríficos, ni los rayos químicos influyen en manera alguna en la eliminacion del oxígeno; «pero no hay que deducir de aqui, dice J. Sachs en su tratado de *Fisiología vegetal*, que los rayos químicos jueguen un papel absolutamente nulo en la nutricion de las plantas: para llegar hasta la asimilacion completa hay otros muchos pasos que dar además de la eliminacion del oxígeno.» Cuando vienen las nubes á interceptar la luz del Sol, el desprendimiento del oxígeno experimenta una disminucion marcada, y lo mismo sucede durante el crepúsculo, cuando la atmósfera se halla privada por un momento de la luz solar por completo, y tambien en los eclipses totales; en cuyo caso los fenómenos de la vegetacion se realizan lo mismo que durante la noche, y entonces hay desprendimiento de ácido carbónico.

Por lo demás, los diversos rayos coloreados no tienen la misma influencia reductora sobre el ácido carbónico del aire: segun los trabajos de Daubeny, Hunt y Draper, y los recientes ensayos experimentales debidos á M. Cailletet, los colores mas activos bajo el punto de vista químico, como el violado, el azul y sobre todo el verde, son los que menos favorecen esta descomposicion. Parece que bajo los rayos verdosos las hojas producen, por el contrario, una nueva cantidad de ácido. Esto mismo explicaria en cierto modo el hecho tan notorio de que bajo de los grandes árboles la vegetacion

es lánguida, raquitica, aun cuando la sombra que produzcan sea poco intensa.

El calor, según acabamos de decir, no puede suplir la luz en esta función tan importante de la vegetación (1). Una planta encerrada en un sitio oscuro, aun cuando el espacio donde se halla alcance una temperatura suficiente, palidece, desapareciendo su coloración verde; no vive ya ni crece, sino para consumir su misma sustancia. M. Boussingault acaba de estudiar la vegetación en la oscuridad, y sus observaciones prueban que si se deja desarrollar el embrión de una semilla separada de toda luz, las hojas no funcionan ya más como aparato reductor; la planta nacida bajo tales condiciones emite incesantemente ácido carbónico, mientras que las materias contenidas en el grano dan carbono, dependiendo su existencia desde entonces del peso de esas materias mismas; ¡y cosa extraña! en la oscuridad completa una planta desarrollada, con tronco, hojas y raíces, funciona como un animal en toda la duración de su existencia.

«Bajo la influencia de la luz es cuando las hojas, bien sea sensitivas, bien dotadas de un movimiento periódico, son móviles: en la oscuridad están rígidas y como adormecidas.» (J. Sach, *Fisiología vegetal*.)

Por último, si el desarrollo de los distintos colores en las flores es independiente de la acción local de la luz, esta no deja por eso de ser de un modo indirecto el agente indispensable de la formación y de la coloración de las flores, pues que ni la corola ni los estambres «crecen y subsisten sino á espensas de las sustancias que tienen su origen en las hojas bajo la influencia de la luz.» (Id. *ibid.*)

«Hojas, flores y frutos son, pues, otros tantos seres tejidos de aire por la luz. Cuando contemplamos sus brillantes colores y cuando sus perfumes dulcísimos producen una satisfacción tan grata en el alma poética que

(1) Por la influencia de la luz, observa oportunamente Moleschott, las noches resplandecientes de las regiones polares maduran las mieses en poco tiempo, al paso que son insuficientes para ello muchos días de nuestro calor estival.

vive interiormente en todos los hombres, es también la luz, la madre del color y del perfume.» (Moleschott, *Vie et Lumière.*)

Con todo, no confundamos esos dos fenómenos; la coloración de las plantas y sus propiedades odoríficas: mientras que la coloración verde es la consecuencia de una exhalación de oxígeno, es por el contrario por una oxidación cómo se forman los aceites esenciales que producen el perfume. Pero esta misma oxidación se activa por la luz solar, y de ahí ese gran número de flores que embalsaman el aire durante el día y pierden su perfume en la oscuridad de la noche.

Influencia de las radiaciones solares sobre la vida de los animales.—La salud del hombre y su vida campestre.

Si las radiaciones solares, y entre ellas las radiaciones luminosas, desempeñan tan importante papel en el acto de la vegetación, no son tampoco menos útiles á los animales. Son indirectamente necesarias, puesto que en último análisis el reino vegetal viene á ser la base de alimentación del reino animal; pero la experiencia nos enseña constantemente cuál es la influencia de la luz del Sol sobre la salud del hombre y la de los animales. Basta comparar aquellos que pasan una gran parte de su existencia al aire libre y al Sol, con los que viven en los puntos lóbregos y en las calles estrechas de las ciudades populosas. Las habitaciones sombrías, además de estar mal ventiladas, frías y húmedas, son insalubres, por lo mismo que no están vivificadas por los rayos solares, si bien la acción de esos rayos difiere esencialmente de la que ejercen sobre los vegetales. Los animales consumen por medio de la respiración oxígeno, y exhalan ácido carbónico, lo mismo durante el día que durante la noche, no obstante que la respiración nocturna produce menor cantidad sustancial de este gas que la respiración diurna. De aquí resulta que los animales producen precisamente el gas necesario para la nutrición de las plantas, y estas el que consumen los animales respirando. No es extraño, por tanto, que la residencia

en una verde campiña, que los paseos por el día entre los árboles sean tan benéficos para la salud. El follaje de los árboles, la yerba de los prados, todas las plantas que alfombran la Tierra, exhalan oxígeno en abundancia, y allí es donde se respira con todos los pulmones el aire mas vivificante y mas puro.

Moleschott, con muchos experimentos, ha probado que en igualdad de circunstancias de calor, presión atmosférica, alimentación, etc., la cantidad de ácido carbónico exhalado por un animal aumenta con la intensidad luminosa y alcanza su límite inferior en una completa oscuridad; «lo cual equivale á decir, añade este sabio, que la luz del Sol acelera el trabajo molecular en los animales.»

Resulta, pues, que los rayos del Sol, son bajo todos aspectos, una condición primordial de la existencia de los seres organizados en la superficie de la Tierra. Los rayos solares dan á los seres organizados calor, sin el cual la vida se extinguiría bien pronto, y luz que preside á la nutrición de las plantas, y por consiguiente á la de todos los individuos del reino animal; y obran por medio de una influencia constante como causas que determinan numerosas composiciones y descomposiciones químicas. Son un manantial incesante y periódicamente renovado, de movimiento, de potencia y de vida: las generaciones humanas actuales utilizan, no solamente la prodigiosa cantidad de fuerza que el Sol lanza anualmente sobre la Tierra en forma de ondulaciones caloríficas, químicas y luminosas, sino que consumen también la reserva que han acumulado los siglos. ¿Qué son efectivamente las capas de hulla sepultadas debajo de tierra por las evoluciones geológicas, sino el producto de la luz solar que se condensa ó hace mas de cien mil años en bosques gigantescos? El carbono trasformado por medio de una especie de destilación lenta se aglomeró primeramente en un tejido turboso ó de turba, luego se trasformó en petrificaciones cada vez mas compactas hasta que las capas de los depósitos vegetales se cambiaron totalmente en lechos de hulla fósiles. Actualmente en las fábricas, en los ingenios, en las loco-

motrices y en las máquinas de vapor terrestres y marítimas, esos preciosos fósiles devuelven al hombre en luz, en calor, y finalmente en fuerza mecánica, todo cuanto tenían economizado durante millares de siglos, de la potencia contenida en la radiación solar.

Influencia del Sol sobre el globo terrestre.—Resúmen: una página del *Calor* de Tyndall.—Ideas religiosas de los Aryas, según E. Burnouf.

La página siguiente, que copiamos de un físico inglés contemporáneo, Tyndall, resume admirablemente todo cuanto dejamos dicho acerca del papel que representan las radiaciones solares.

«Tan cierto como que la fuerza que pone en movimiento la máquina de un reloj se deriva de la mano que la ha montado, lo es que toda fuerza terrestre se deriva del Sol. Prescindiendo de las erupciones volcánicas, del flujo y reflujo de los mares, cada acción mecánica ejecutada en la superficie de la Tierra, cada manifestación de potencia orgánica ó inorgánica, vital ó física, debe al Sol su origen. Su calor mantiene al mar en su estado líquido, á la atmósfera en su estado gaseoso, y todas las tempestades que agitan al uno y á la otra, son impulsadas por su fuerza mecánica. El sujeta á los flancos de las montañas las fuentes de los ríos y los ventisqueros, por cuya razón las cascadas, las cataratas y las avalanchas se precipitan con esa energía tan vigorosa que debe al mismo su origen. Todo el fuego que arde, toda la llama que brilla, producen una luz y un calor que han debido al Sol su primitivo origen; el trueno y los relámpagos son á su vez también una manifestación de su potencia. En la época que atravesamos, ¡ay! nos vemos obligados á familiarizarnos con las noticias de los campos de batalla: pues cada carga de caballería, cada choque entre dos cuerpos de ejército significan el empleo ó el abuso de la fuerza mecánica del Sol, el cual nos llega y se nos retira á la vez en forma de calor, si bien entre su venida y su marcha da origen á las fuerzas variadas de nuestro globo. Todas son

formas especiales de la potencia solar y otras tantas manifestaciones que adopta temporalmente al partir desde su origen hasta el infinito.

»Presentados ante nuestra mente bajo su verdadero punto de vista los descubrimientos y la vulgarizacion de la ciencia moderna, vienen á constituir el mas sublime poema que puede ofrecerse jamás á la inteligencia y á la imaginacion del hombre: el fisico de nuestros dias se halla incesantemente en contacto con maravillas que darian envidia á Milton; maravillas, tan grandes y tan sublimes, que el que las contempla necesita cierta fuerza de carácter para preservarse del deslumbramiento: Considerad el conjunto de energias de nuestro mundo, la potencia acumulada en nuestros depósitos de ulla, en nuestras corrientes aéreas, en nuestros rios, en nuestras flotas marítimas, en nuestros ejércitos y en nuestros cañones. ¿Qué importa todo esto? Una sola fraccion de la energia solar igual todo lo mas á un 2,130,000,000° de la energia total. Tal es efectivamente la parte de la fuerza solar absorbida por la Tierra; y sin embargo, todavía no convertimos mas que una leve partícula de esta fraccion en poder mecánico; multiplicando todas nuestras energias por millones de millones, todavía no llegaremos á representarnos el consumo total del calor del Sol.»

En presencia de tales deducciones de la ciencia, ya demostradas de una manera concluyente y que por los progresos científicos ulteriores no pueden dejar de desenvolverse y difundirse, es imposible no asombrarse ante la concordancia que presentan con las concepciones religiosas primitivas que son la sustancia y el fondo de todas las religiones y de todos los cultos antiguos y modernos. La adoracion del fuego, y el culto del Sol eran la traduccion candida de una idea profundamente verídica, la de que toda la potencia terrestre, movimiento, vida y pensamiento, tienen su origen en las triples radiaciones caloríficas, químicas y luminosas del Sol: M. Burnouf, en sus profundos estudios sobre la *ciencias de las religiones*, sienta esta verdad con una plena evidencia. (1) Citemos algunos pasajes.

(1) Véase la *Revue des Deux Mondes*, del 13 de Abril, 1863.

«Al girar la vista en rededor, dice, los hombres de aquella época (los Aryas) notaron que todos los movimientos de las cosas inanimadas que se operan en la superficie de la Tierra, proceden del calor que se manifiesta por sí mismo, bien bajo la forma del fuego que abrasa, bien bajo la del rayo ó fluido eléctrico, ó de la del viento. pero el rayo es un fuego oculto en las nubes, elevándose con ellas en los aires, el fuego que abrasa, ó sea lo que llamamos lumbre, se halla antes de manifestarse, encerrado en las materias vegetales que le sirven luego de alimento ó combustible, y el viento en fin, se produce cuando el aire se pone en movimiento por medio de un calor que le enrarece ó que le condensa al retirarse. Los vegetales reciben á su vez tambien su combustibilidad del Sol, que les hace crecer y desarrollarse, acumulando en ellos su calor, mientras que el aire se caldea por los rayos del Sol, y estos son los mismos que reducen á vapores invisibles las aguas terrestres, y despues á nubes, que á su vez dan origen al rayo. Las nubes producen la lluvia, forman los arroyos y los rios, y alimentan los mares agitados por las tormentas y por los vientos; de suerte que toda esta movilidad que anima la naturaleza en torno nuestro, es la obra del calor, y el calor procede del Sol, que es al propio tiempo el viajero celeste y el motor universal.

»La vida tambien les pareció estrechamente ligada á la idea del fuego. El gran fenómeno de la acumulacion del calor solar en las plantas, fenómeno que la ciencia ha venido hace poco á poner en claro, fue notado ya desde muy al principio por los antiguos, hallándose consignado repetidas veces en el *Veda* en términos bastante espresivos..... Cuando encendian la leña del hogar, sabian muy bien que no hacian otra cosa que obligarla á devolver el fuego que habia recibido de antemano del Sol. Cuando se fijó su atencion en los animales, se les presentó en todo su vigor el estrecho lazo que une el calor y la vida: el calor mantiene la vida; no encontraron animales vivientes, en los cuales pudiera existir sin el calor la vida, mientras que veian por el contrario despegarse la energía vital en la proporcion que el

animal participaba del calor ó disminuir con este. La vida no existe ni se perpetúa en la Tierra, sino con tres condiciones, es decir que el fuego penetre los cuerpos bajo sus tres formas, una de las cuales reside en los rayos del Sol, otra en los alimentos ígneos, y la tercera en la respiración, que no es otra cosa que el aire renovado por el movimiento. Ahora bien estas dos últimas proceden cada una á su manera del Sol (*sūrya*); su fuego celeste es pues el motor universal y el padre de la vida: el primero que procrea, es el fuego de aquí bajo (*agni*), nacido sus rayos, mientras que su segundo cooperador eterno es el aire puesto en movimiento, y que se llama también viento ó espíritu (*vāyu*).»

En fin, en ninguna parte se manifiesta el pensamiento sin la vida, la cual solo se manifiesta en los seres, en los cuales la vida se halla en un grado superior de energía, en los animales; así es que cuando un animal se halla amenazado de muerte, flaquean sus miembros, cae en tierra, queda inmóvil, pierde la respiración y el calor, y con la vida se estingue el pensamiento. Si es un hombre, todos sus sentidos están aniquilados; ni es posible arrancar una palabra á su boca pálida y fria, ni á su pecho hundido ningun sonido que revele la alegría ó el dolor; su mano yerta, no oprime ya la que le tiende un amigo, un padre ó un hijo; ha cesado ya en él toda señal de sentimiento y de inteligencia. Su cuerpo no tarda en descomponerse, en disolverse, en evaporarse, quedando únicamente en la Tierra una mancha negra y una osamenta blanca. Pero en cuanto al pensamiento, ¿qué ha sido de él? ¿dónde está? Si la esperiencia le presenta indisolublemente unido á la vida, de suerte que allí donde el pensamiento se estingue, cesa también la misma; puede deducirse en consecuencia que el pensamiento tiene el mismo destino que la vida, ó mas bien que el principio inteligente que piensa es idéntico al principio de la vida, no formando jamás con él una verdadera dualidad; pero la vida es el calor, y el calor trae su origen del Sol: el fuego es pues á un mismo tiempo el motor de las cosas, el agente de la vida y el principio del pensamiento.»

Sin duda alguna los autores de esas teorías sobre los principios primeros de las cosas, no concebían sus propias ideas con esa claridad que en el estado actual de los conocimientos, permite darles el giro analítico del espíritu moderno. Sin embargo ¿no es una cosa verdaderamente admirable observar durante millares de años abierto por la intuición ese gran círculo que cierra hoy la ciencia?

CAPITULO III.

El sol en el mundo planetario.

§ 1.—*Posicion que ocupa y papel que desempeña el Sol en el sistema planetario.*

Movimiento diurno aparente del Sol, su orto, su ocaso y tránsito por el Meridiano.—Movimiento aparente de traslación anual; realidad de los movimientos de la Tierra.—El Sol es el foco común de las órbitas planetarias.—Enumeración de los tres grupos planetarios del mundo solar y de sus satélites.

Acabamos de ver lo que es el Sol para la Tierra y para los seres animados que pueblan su superficie: hemos estudiado ya su calor, su luz, la actividad química de sus rayos, condiciones esenciales de todo movimiento, de toda vida animal ó vegetal, sin conocer en si misma la fuente de donde incesantemente emanan, sin saber que cosa es el astro que nos comunica una partícula de su potencia. Hemos preguntado unicamente hasta ahora á la física, y con el auxilio de esta ciencia, hemos podido ya descorrer un pliegue del velo que nos oculta la causa de la influencia del Sol, influencia siempre bienhechora y fecunda.

Los mismos efectos antes de hallarse sometidos á un riguroso estudio, eran conocidos de una manera muy incompleta: desde ahora en adelante puede decirse ya el modo como se ligan los principales á los diversos órdenes de radiaciones solares; y se saben los distintos papeles que desempeñan los rayos del Sol, segun la for-

ma con que se nos manifiestan, como luz, como calor, en fin como agentes de actividad química.

Ahora debemos ir mas lejos y apelar á otro orden de conocimientos. Dirijámonos á la Astronomía, y preguntémosle, no ya que funciones desempeña el Sol en la superficie de la Tierra, sino qué significa en el cielo, á cuanta distancia se encuentra de nuestro globo y de los demás astros, sus dimensiones, su forma sus movimientos, y en una palabra su constitucion física. Varios de estos problemas se hallan hoy en parte resueltos, otros se encuentran pendientes de hipótesis, aun desprovistas de pruebas bastante concluyentes, al paso que otros se entreen apenas como susceptibles de una solucion mas ó menos lejana.

El número de las inteligencias que examinan tales problemas, es verdaderamente bien escaso. Vemos al Sol casi todos los dias salir y ponerse, recorriendo su marcha diurna á mayor ó menor altura, segun las estaciones: se le acoge con júbilo ó se le sufre con pena, quejandonos del ardor de sus rayos, y suele pasarse toda la vida sin inquirir el modo ni la causa de tantos fenómenos que su evolucion regular y perpétua concluye por hacer vulgares. Sucede en esto, como en otras muchas cosas que solo escitan la curiosidad en fuerza de reflexion, como dijo muy bien d'Alembert en la *Enciclopedia*: «No en vano se asombran los filósofos al ver caer una piedra, y el pueblo que se rie de su asombro, participa de él tan luego como reflexiona.» Reflexionemos pues un poco, observando lo que pasa en torno nuestro; preguntemos á los mismos fenómenos, y con seguridad tendremos ocasion bien á menudo de llenarnos de asombro como los filósofos.

Principiemos por indicar con claridad la posicion del Sol relativamente á la Tierra y á los demás astros similares á ella, es decir, á los planetas.

Vemos todos los dias del año en nuestras latitudes elevarse el Sol en el horizonte oriental, remontarse poco á poco en el cielo hasta una altura máxima que varía segun el dia del año, pero que siempre marca el medio dia á la mitad de su carrera: despues, á partir de dicho

punto, culminante de su trayectoria diurna, vá descendiendo el astro hasta hundirse en el horizonte occidental. En este punto el Sol se halla sometido á las mismas apariencias que las estrellas y la Luna, y hoy ya todos saben que este movimiento de los astros nada tiene de real en sí, y que es una consecuencia del movimiento de rotacion de la Tierra, de occidente á oriente.

El globo terrestre gira sobre sí mismo, en torno de un eje de posicion invariable, con una celeridad uniforme en 25 h. 56^m 4^s (1). Cuando el Sol sale, es en realidad nuestro horizonte el que arrastrado por la rotacion de la masa de que forma parte, se baja hácia el oriente, enfrente de él; y cuando se pone, es el mismo horizonte el que concluye por ocultar el disco radiante, elevándose hácia el occidente.

Un segundo movimiento aparente que puede conocerse con facilidad, por poco familiarizado que se esté con el aspecto del cielo estrellado, arrastra tambien progresivamente al Sol, si bien en un sentido precisamente inverso de su movimiento diurno, esto es, de occidente á oriente. Veamos cómo puede observarse este segundo movimiento. Notemos en cualquiera época del año el aspecto de las constelaciones á la media noche; por ejemplo, fijémonos en las estrellas que en esta hora se hallan en el plano meridiano, es decir, en el mismo plano en que se encuentra al propio tiempo el Sol, pero en el punto opuesto. En las siguientes noches, á la hora misma de media noche, se observará que han pasado ya del meridiano hácia el occidente, y su movimiento de avance será próximamente el de 4 minutos desde un dia al otro; (3^m 56^s) lo cual equivale á decir que las estrellas opuestas al Sol son mas orientales que las primeras, ó que el mismo Sol ocupa en el cielo, relativamente á la Tierra, las constelaciones cada vez mas orientales. En todo un año parece dar así la vuelta entera al cielo, en un plano inclinado sobre el del ecuador terrestre unos 25° 27'.

(1) Tal es la duracion del *dia sideral*; el *dia solar* mediano es 3 minutos, 56 segundos mas largo, porque comprende 24 horas. Véase en LE CIEL-

En realidad no pertenece al Sol este movimiento. Desde los tiempos de Copérnico (1) todo el mundo sabe que la Tierra es la que se mueve efectuándose su revolución en el intervalo de un año, y describiendo alrededor del Sol una órbita casi circular. La duración exacta de esta revolución, es de 365 d. 2,564; de suerte que al cabo de ese tiempo la Tierra y el Sol se vuelven á encontrar en línea recta con la misma estrella.

No es propia de este lugar la esplicacion de cómo los dos movimientos de rotacion y de traslacion de la Tierra bastan para esplicar las alternativas de los dias y de las noches, la desigualdad de su duración respectiva en las diversas latitudes, sus variaciones en el curso del año y los cambios en fin de altura en el Sol sobre cada horizonte, según la estación del año.

Pero en lo que nos proponemos fijarnos es en la situación del Sol relativamente á la Tierra: nuestro planeta, como ya dejamos dicho, describe una curva casi circular, y esta curva ú órbita, cuyo plano se titula plano de la eclíptica, es en realidad una elipse curva oval, simétrica con relación á dos ejes desiguales, teniendo su centro C en la intersección comun de los ejes. (fig. 5). El Sol ocupa uno de los puntos del eje mayor pero no el centro, hallándose situado en S, en uno de los dos focos de la curva. De aquí resulta que la distancia de la Tierra al Sol es constantemente variable durante el curso del año.

En T, á la estremidad del eje mayor, la mas próxima al foco donde se encuentra el Sol, la Tierra se encuentra en el *perihelio*, lo cual sucede hácia 1.º de enero; en la estremidad T', en 1.º de julio, encuéntrase

lib. I, ó en nuestros *Elements de Cosmographie* (p. 97) la causa de esta diferencia de duración.

(1) *Todo el mundo sabe*, es una frase vulgar que no está de acuerdo con la historia. Basta recordar la persecución de que Galileo fue víctima para comprender la reserva con que los mismos hombres ilustrados acogieron la nueva idea de los dos movimientos de la Tierra. Hasta mediados del siglo XVIII, en la misma Francia, vacilaron en pronunciarse, no atreviéndose á presentar, sino como una hipótesis, el sistema de Copérnico. Véase en las Memorias de la Academia de las ciencias, la discusión promovida en el último año sobre los trabajos científicos de Pascal y de Newton.

en el *afelio* ó en su distancia máxima; y en fin, en las estremidades del eje menor, cuando la Tierra se halla en T'' y en T''' , la distancia del Sol es media entre las dos distancias estremas, lo cual sucede hácia el 1.º de abril y 1.º de octubre.

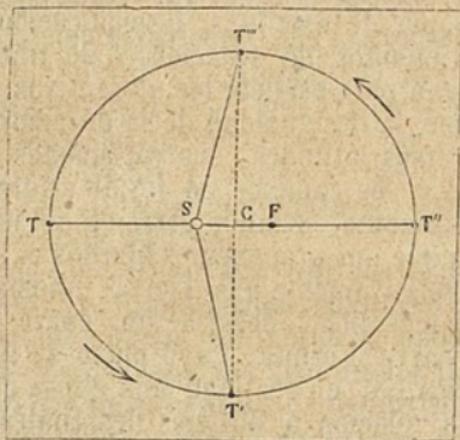


Fig. 5.—Órbita elíptica de la Tierra.—Afelio y perihelio.

La Tierra no es el único astro que gira alrededor del Sol, cuya comitiva forman 155 cuerpos, planetas ó satélites. (Por lo menos tal es el número de los que se han descubierto hasta hoy.)

Estos son en primer lugar los ocho planetas principales, que pueden dividirse en dos grupos; el de los menores que son, en el órden de sus distancias al Sol, Mercurio, Venus, la Tierra y Marte; y el de los mayores, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Entre ambos grupos circula una multitud de planetas muy pequeños, visibles únicamente con ayuda del telescopio, y cuyo número se aumenta cada año con nuevos descubrimientos, contándose ya en la actualidad (noviembre de 1872) hasta 127. Además de estos 155 pla-

netas cuéntanse 18 satélites: la Luna que gira alrededor de la Tierra, y con la Tierra alrededor del Sol; los 4 satélites que asimismo acompañan á Júpiter; los 8 satélites de Saturno, los 4 de Urano, y el de Neptuno.

Tal es en su conjunto el sistema planetario. Cada planeta describe una órbita alrededor del Sol, relativamente inmóvil, órbita elíptica como la de la Tierra, de modo que el Sol ocupa el centro comun de todas esas curvas; todas esas órbitas son sensiblemente planas y poco inclinadas las unas sobre las otras. Diremos también al paso que la duracion respectiva de las revoluciones planetarias crece con las distancias medias desde los diversos planetas al Sol, siguiendo una ley, cuyo descubrimiento es debido á Képler: que esas duraciones se hallan comprendidas entre 88 días, año de Mercurio y 165 años, duracion de la revolucion de Neptuno; cuyos datos deben ser suficientes para que podamos formarnos una idea de la situacion que ocupa el Sol en medio de esos astros secundarios, á los cuales distribuye su calor y su luz.

El mundo planetario observado desde el espacio; sus dimensiones en longitud y en anchura.—Hasta dónde se alejan los cometas cuyo periodo esta aproximativamente calculado.

Supongamos un observador que se aleja por las profundidades del cielo hasta una distancia tan considerable del mundo planetario, que baste para abrazar de un golpe de vista todo su conjunto.

Si la direccion que ha tomado se halla contenida en el plano de la órbita terrestre ó en el de cualquiera otra órbita planetaria, verá una estrella brillante de un vivo reflejo, y á cada lado además un centenar de estrellas mas diminutas, perdidas las unas, por decirlo así, en los rayos de la central, alejadas las otras bastante hasta no ser apenas perceptibles, y todas por lo demas infinitamente menos brillantes que el Sol, (1) variando de brillo segun sus distancias aparentes al mismo.

(1) A la verdad, un gran número de ellas serian realmente invisibles, las unas por su pequeñez, y las otras porque su luz se confundiria con la del Sol; pero se trata aquí de una hipótesis.

Todos estos satélites del Sol parecerán oscilar desde una parte á otra de su disco, describiendo en la apariencia líneas casi rectas, como se nota en los satélites de Júpiter, en su movimiento de cada lado del planeta central. Los unos, como Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, parecerán moverse con una celeridad muy grande, como que son las estrellas mas próximas, mientras que los otros recorrerán con mucha mas lentitud las porciones de sus trayectorias. El conjunto tendrá el aspecto de una masa lenticular de estrellas, ó bien, si la distancia es tan grande que dificulta distinguir los diversos puntos luminosos, presentará el aspecto entonces de una sola estrella rodeada de una nebulosidad de forma prolongada.

Las dimensiones del sistema planetario, tal á lo menos como nos es conocido, comprenden un diámetro como 60 veces la distancia desde el Sol á la Tierra, esto es, 9,000 millones de kilómetros próximamente. (8,890 millones). Si queremos formarnos una idea de esta inmensa estension, apreciémosla por el tiempo empleado por diversos medios en recorrerla. La luz, cuya marcha tiene una velocidad de 298,000 kilómetros por segundo, emplea en atravesar de parte á parte todo el sistema planetario 8 horas y 17 minutos; mientras que una bala de cañon, si pudiera conservar su celeridad uniforme de 450 metros por segundo, no tardaría menos de 626 años en salvar el mismo trayecto; ¡el sonido sobre 845 años!

La estension en latitud del mundo planetario es bastante menor: evaluándola en sentido perpendicular al plano de la órbita, resulta de 19 á 20 veces menor que la estension diametral, ó lo que es lo mismo, 470 millones de kilómetros aproximadamente.

En todo esto no se trata de los cometas. Estos astros efectúan su movimiento alrededor del Sol como los planetas, si bien sus órbitas, bastante mas prolongadas, marcan todas las inclinaciones posibles sobre el plano de la eclíptica. Además, el sentido de los movimientos es retrógrado en los unos, directo en los otros. Si nos concretamos á aquellos cometas cuyos elementos elípticos

han podido calcularse y que desde luego son astros pertenecientes por completo al sistema solar, las dimensiones de este último vienen á ser mucho mayores que las del mundo planetario propiamente dicho, que se halla circunscrito por la órbita de Neptuno. En efecto, mientras que el radio vector de Neptuno vale 30 veces por término medio la distancia del Sol á la Tierra, la distancia afelia en que el cometa de 1844, cuyo período es de 100,000 años, va á perderse en los espacios extraplanetarios, equivale á cerca de 4,000 veces aquella distancia.

Es indudable que entre los muchos cometas cuyas órbitas muy prolongadas parecen en su parte visible ser arcos parabólicos, los hay que se alejan aun mas del Sol; pero aun sin salir del terreno de lo conocido y determinado, puede verse que el mundo solar, á partir del centro comun, se estiende hasta 600,000 millones de kilómetros, ó 150,000 millones de leguas de á 4 kilómetros, y aun probablemente mas lejos todavía. Desde un punto del espacio tan prodigiosamente distante de aquel en que tarda en llegar 100,000 años el cometa á su afelio, solo aparecerá el Sol como una estrella, cuyo brillo escede en verdad todavía al de las mas brillantes estrellas conocidas; pero cuyo diámetro apenas es de un medio segundo.

Bástenos por ahora saber lo que es el Sol en medio de los astros que circulan en su rededor en sus órbitas cerradas, y la distancia á que se estiende la esfera de su actividad: mas adelante ya tendremos ocasion de esplicar cual es su posicion entre las estrellas y las relaciones que indudablemente guarda con el mundo sideral; entonces veremos que forma parte integrante de una asociacion de innumerables soles semejantes á él, y que un movimiento de traslacion le arrastra con todo su séquito, haciéndole describir una órbita inmensa en torno de algun centro comun todavía desconocido.

§ 2.—*Forma y dimensiones aparentes del Sol.*

¿Qué forma tiene el disco solar?—El Sol en el horizonte; su forma doblemente elíptica; formas extrañas debidas á la refraccion de las capas de vapor.— Distintas maneras de observar el Sol sin que hiera la vista; helioscopios.— Proyeccion del disco solar en la cámara oscura.

La luz del Sol es tan viva, que, como todos saben por esperiencia, es casi imposible observarla á la simple vista, cuando brilla en medio de un cielo puro y á cierta altura sobre el horizonte. En el mismo horizonte, es decir, en el momento en que el Sol acaba de nacer ó bien poco antes de su ocaso, desaparece la dificultad, y sin el riesgo de herirse la vista, puede observarse y apreciarse la forma aparente del astro. Esta debilidad tan considerable que experimenta cerca del horizonte la intensidad luminosa de los rayos solares, se explica muy fácilmente. Todo rayo de luz que viene del espacio y llega al suelo, debe atravesar la atmósfera, hallándose absorbido por las capas de aire de que está formada, en una proporcion tanto mayor, cuanto mayor es la densidad de las capas que atraviesa; de modo que suponiendo que la altura vertical de la atmósfera es de 100 kilómetros, un rayo de luz que viene del zénit solo tiene que atravesar esa distancia misma de 100 kilómetros para llegar al suelo, mientras que en el horizonte su trayecto es de 1,430 kilómetros, y se efectúa principalmente al través de las capas más densas del aire. Así es que Bouguer ha descubierto que la intensidad de la luz solar es 1.000 veces menor á una altura de 1° sobre el horizonte, que á la de 40°; y este resultado no es más que un término medio, poco más ó menos, porque depende en gran parte del estado de la atmósfera y de su mayor ó menor nitidez.

De cualquier modo que sea, no se experimenta dificultad alguna para observar el Sol cuando se halla bien cercano al horizonte. Entonces presenta el aspecto de

un disco claramente terminado en todo su contorno; pero en vez de marcar un círculo perfecto, como ya veremos que debe ser, está aplastado, sobre todo, en la parte inferior de su perfil, resultando ser un óvalo irregular formado de dos mitades de elipses ACB, ADB,

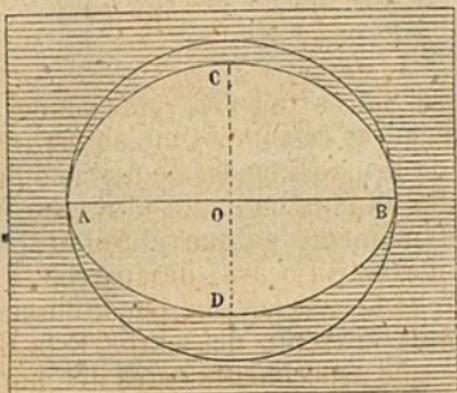


Fig. 6—Figura doblemente elíptica del Sol en su orto ó en su ocaso..

teniendo el mismo eje mayor AB, pero los ejes menores desiguales. Esta deformación es debida á la refraccion de la luz por las capas atmosféricas; refraccion, cuyo efecto es alterar los diversos puntos del contorno del disco, tanto mas sensiblemente, cuanto mayor es su proximidad al horizonte (1).

A veces la falta de homogeneidad de las capas irregularmente mezcladas es tal, que la deformación del disco solar por la refraccion le hace parecer otra cosa. La figura 8 representa algunas de las apariencias observadas a la orilla del mar en Dunkerque por MM. Biot y Mathieu. En verdad que no son estas las circunstancias mas favorables para adquirir una idea exacta de la verdadera for-

(1) En las altas montañas y en las alturas situadas sobre la playa, parece muy considerable este aplastamiento, que llega á veces hasta una quinta parte del diámetro aparente del Sol. El disco de la Luna presenta los mismos fenómenos (Biot, *Astronomie physique*).

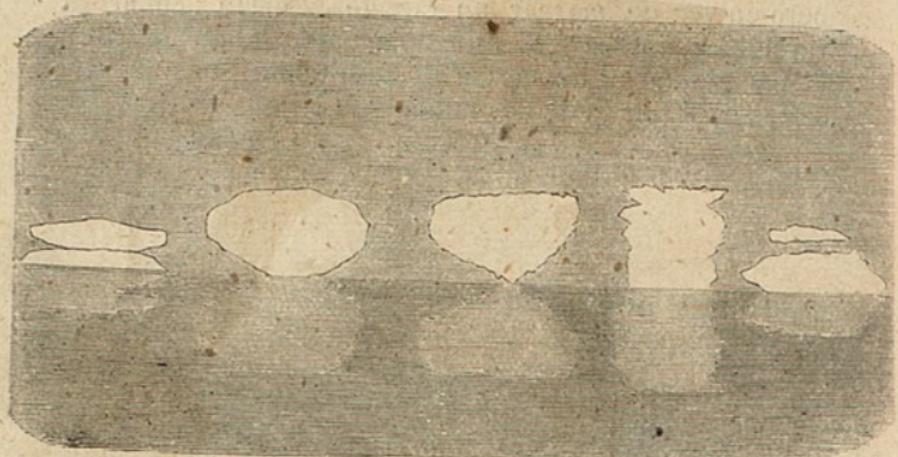


Fig. 7—Apariencias éstrañas del Sol en el horizonte.—Observaciones de MM. Biot y Mathieu, en Dunkerque.

ma del Sol; y vamos á indicar rápidamente los casos en que dicha forma puede observarse, describiendo al propio tiempo con tal motivo los procedimientos artificiales empleados por los astrónomos para el estudio, tan minucioso y prolongado como posible, de las diversas partes de su disco.

Ligeras nubes, ó por mejor decir, nieblas bastante densas, absorben á veces tal porcion de la luz solar; que se percibe al través de ellas el disco del astro de una nitidez perfecta y de una forma rigorosamente circular: su color las mas veces amarillo rojizo, es en otras de una blancura mate tan poco resplandeciente, que puede la simple vista soportar su brillo sin fatiga. Si es entonces una hora bastante avanzada del dia y se halla el Sol muy elevado sobre el horizonte, la refraccion atmosférica no altera sino débilmente su forma, en términos, que esta deformacion suele ser imperceptible, á no emplearse para determinarla un procedimiento métrico riguroso.

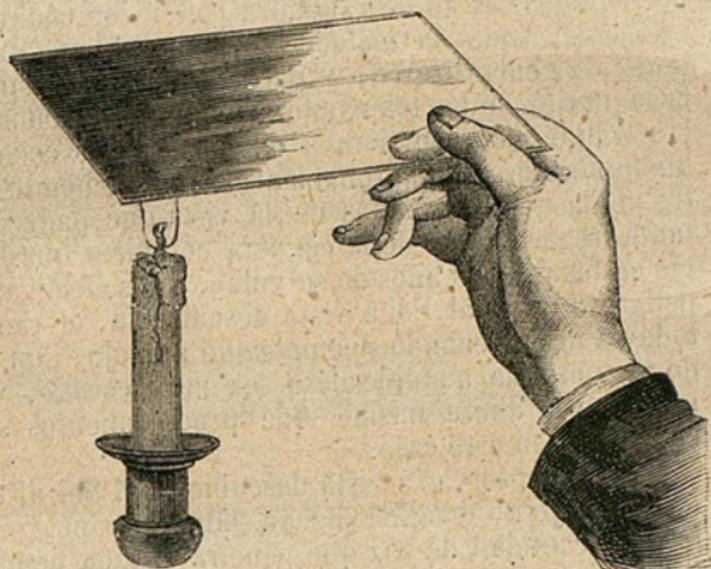


Fig. 8—Vidrio ennegrecido á la luz de una vela para observar los eclipses

Hé aquí un procedimiento bien sencillo que puede producir en todo tiempo el mismo efecto que las nubes ó las nieblas, y del cual suele hacerse uso con harta frecuencia cuando se trata de observar á la simple vista un eclipse de Sol. Tórnase un pedazo de vidrio, ó, mejor todavía, un trozo de cristal, cuyas superficies sean bien planas y paralelas, y se le coloca algunos momentos sobre la llama de una vela ó de una lámpara. La capa de negro de humo que de este modo se deposita sobre la superficie espuesta, es bastante para debilitar el brillo de los rayos solares; pero no es fácil obtener una capa de un espesor igual por todas partes, de suerte que no tiene tampoco la uniformidad de brillo conveniente; por lo cual suelen emplearse con preferencia los vidrios de color.

Empleábanse los vidrios coloreados para observar el Sol, antes de la invención de los anteojos. «Apiano nos refiere en l'*Astronomicum cæsareum* impreso en 1,540, que en su tiempo algunas personas solian emplear diversas combinaciones de vidrios coloreados unidos por

los bordes». Arago se admira con razon cuando cita este caso: «que un método tan sencillo haya tardado tanto en generalizarse, y particularmente despues de la invencion de los telescopios, y que un astrónomo como Galileo no recurriera á él. Los vidrios coloreados hubieran preservado probablemente á este hombre ilustre de las enfermedades de la vista que padeció con tanta frecuencia, y de la ceguera completa que le afligió en los últimos años de su vida». Si es efectivamente peligroso mirar al Sol á vista descubierta, el riesgo es todavía mayor cuando se emplea un anteojo, aun cuando su potencia amplificadora sea muy escasa, y vamos á ver ahora mismo qué procedimientos suelen emplearse en este caso.

Puédese observar á vista descubierta el Sol al través de un agujerito de alfiler hecho sobre un papel ó cartulina: la cantidad de luz que penetra en una hendidura tan diminuta, es tan débil que hace disminuir notablemente el brillo de la imágen, la cual por otra parte está bien lejos de presentarse con limpieza. La reflexion en la superficie de una capa de agua, ó mejor aun, de un

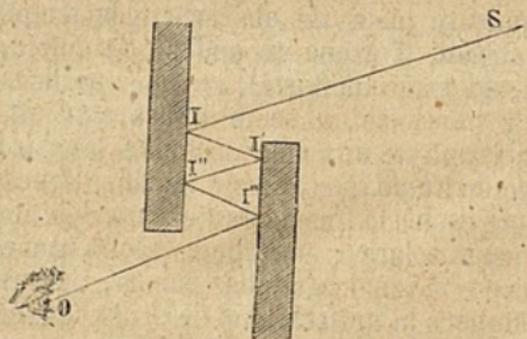


Fig. 9.—Debilitación de la luz solar por medio de las reflexiones múltiples.

líquido coloreado de azul ó de negro, debilita mucho también la intensidad de la luz solar; pero la movilidad de un espejo de esta índole, cuya menor agitacion riza la superficie, hace incómodo el uso de este medio.

El ojo colocado en O detrás de dos pedazos de cristal ennegrecidos, colocados paralelamente, recibe los rayos del Sol, que hiriendo al primero, penetran hasta el otro, reflejándose dos ó mas veces en la superficie de estos espejos, y resultando cuatro reflexiones en Y, Y' Y'' Y''' (fig. 9). La absorcion de la luz por cada placa, debilita bastante el brillo del Sol, para que nada sufra la vista al percibir su imagen.

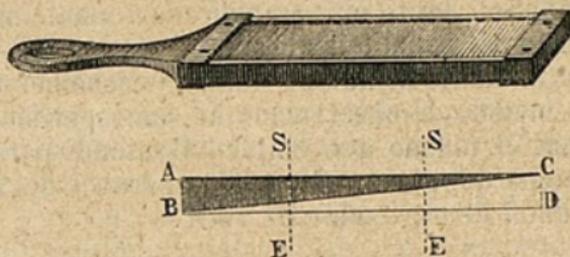


Fig. 10.—Helióscopo de bisel.

Los ópticos colocan estos cristales en una caja pintada de negro interiormente, construyendo de este modo un pequeño aparato, con ayuda del cual pueden observarse los eclipses. Con el propio objeto construyen también otros helioscopios formados por la reunion de dos prismas ó láminas de vidrio, cortadas en bisel, una de ellas blanca y trasparente, y la otra negra ó de color, en la disposicion que muestra la figura 10. La imagen del Sol, vista al través de las láminas de este helioscopio, es tanto mas débil, cuanto mayor es la densidad de la lámina ennegrecida; en S' E, es mas brillante que en S E; y puede seguirse entonces al arbitrio el eclipse en todas sus fases, segun el grado de absorcion que convenga á la vista.

M. Babinet, en una *Noticia sobre el eclipse solar de julio de 1860*, describe otro método de observacion de los eclipses que ni siquiera exige, que el observador se mantenga al Sol ni salga de su habitacion. «Un enfermo sin dejar el lecho, puede contemplar el eclipse.» Este método consiste simplemente en colocar en pleno

Sol un trozo de espejo que envia por reflexion los rayos del astro sobre el techo ó sobre las paredes de la pieza.

Hay todavía otro método muy preferible, porque produce una imágen mas limpia y mas viva, sin ser por ello demasiado deslumbradora, y es el que empleaba Fabricio, de cuyos trabajos ya nos ocuparemos pronto. Consiste en hacer pasar los rayos solares por el diminuto agujero de una cámara oscura sobre un hastidor de papel blanco colocado en disposicion de recibir normalmente los rayos. Se vé entonces sobre el papel una imágen invertida del Sol, tanto mas amplificada, cuanto mayor es la distancia del papel á la abertura de la cámara, pero tambien tanto menos brillante. Galileo y Scheiner utilizaron este método de observacion en sus experimentos, y es ademas el mismo que empleó Gassendi para seguir la marcha del planeta Mercurio al través del disco del Sol el día 7 de noviembre de 1651.

Observacion del Sol con los anteojos y los telescopios.—Riesgo ó inconvenientes para la vista.—Uso de los vidrios de color; método de W. Herschel.—Helioscopios polarizadores.—El siderostadio de M. Leon Foucault.—Objetivos plateados.

Si la vista descubierta soporta con pena la luz solar, á menòs que no esté debilitada por medio de cualquier procedimiento natural ó artificial, todavía la dificultad es mayor cuando se trata de la imágen del Sol, tal como se forma en el foco de un antejo ó de un telescopio. La concentracion de los rayos de luz y de calor que se reunen para producir la imágen focal, acrece la intensidad de su brillo en proporcion de la potenciá visual del instrumento. Aun sirviéndose de un antejo de pequeña abertura, se deslumbrará la vista y se quemará el ojo si no se toma la precaucion de debilitar considerablemente la luz del astro. Los primeros observadores, como Fabricio, Galileo y Harriot, no observaban el Sol con los anteojos recién descubiertos, sino cuando estaba en el horizonte ó al través de nieblas ó nubes suficientemente densas, y aun así, se veian obligados todavía á tomar ciertas precauciones: Fabricio recomendaba no

recibir al pronto sino una pequeña parte de luz solar para ir acostumbrando gradualmente la vista á soportar la del disco entero. Miraban tambien la imágen del Sol despues de su reflexion sobre una superficie de agua ó sobre un espejo poco bruñido. Sin embargo, desde 1611 Scheiner se servia de vidrios de color colocando ante el objetivo de su anteojo un vidrio plano bien limpio y pulimentado, con las faces perfectamente paralelas, á fin de que no se alterara la regularidad de la imágen focal.

Aun con todas estas precauciones, el estudio asiduo del Sol es perjudicial para la vista de los astrónomos: Galileo y Casini murieron ciegos; W. Herschel, observador tan consumado como profundo en sus apreciaciones teóricas, hizo diferentes investigaciones sobre la eleccion de las sustancias propias para debilitar la imágen del Sol en los instrumentos, y para preservar la vista, y reconoció que el color del vidrio es de una grande importancia para el caso. El *encarnado* absorbe bien los rayos mas luminosos: pero deja escapar al propio tiempo una grande cantidad de rayos caloríficos que pueden producir mas tarde graves inflamaciones en el órgano de la vista: los vidrios *verdes* absorben el calor, pero dejan pasar muchos rayos de luz. Herschel propuso la sustitucion de los vidrios de color por la tinta negra diluida en agua y filtrada: este líquido tiene la propiedad de absorber igualmente los rayos de distintos colores, de que se compone, como es sabido, la luz solar; de modo que vista al través de él, la imágen del astro tiene una blancura perfecta: además, la mayor parte de los rayos caloríficos se hallan apagados. Colocábase el líquido en un pequeño recipiente adaptado delante del ocular. El aparato de Herschel no fué sin embargo adoptado.

En la actualidad emplean los astrónomos vidrios negros ó de un color negro azulado, que adaptan igualmente al anteojo delante del ocular, dándoles ordinariamente 1^{mm} 5 ó 2^{mm} de espesor; pero el uso de estos vidrios siempre ofrece graves inconvenientes: como el estudio detallado de los accidentes que se notan en la superficie del disco solar requiere el uso de instrumen-

tos de gran potencia óptica, por poco que la observacion se prolongue, el vidrio negro se calienta, con riesgo de quebrarse, exponiendo así á los inconvenientes que dejamos señalados mas arriba el ojo del observador.

Sir J. Herschel ha sido el primero en sugerir la idea de utilizar la polarizacion de la luz y la estincion de los rayos luminosos que resultan de este género de fenómenos, para construir oculares propios para el estudio del Sol. Los helioscopios polarizadores contruidos por Porro y por Merz, han realizado las teorías del ilustre astrónomo, teniendo sobre todo la ventaja de que aun careciendo de vidrios de color, la imágen del Sol conserva su color natural en los telescopios, á los cuales se les adapta.

Castelli, discípulo de Galileo, habia inventado un procedimiento empleado aun hoy con grandes ventajas, y consiste en proyectar sobre un papel blanco los rayos del Sol al salir del ocular del antejo; cuyo procedimiento es análogo á la proyeccion en la cámara oscura, perfeccionado y aplicado á un antejo ecuatorial, que ha servido para las observaciones, tan numerosas como interesantes, de R. Carrington de que nos ocuparemos mas adelante: las imágenes del Sol tenian sobre el bastidor de papel un diametro de 28 á 30 centímetros. El P. Secchi lo ha empleado tambien para medir las intensidades relativas del perfil y del centro del Sol, habiendo obtenido así, con un objetivo de 6 pulgadas, una imágen solar que recibida sobre un ocular diagonal de reflexion y proyectada sobre un bastidor de papel blanco, no tenia menos de 2 metros de diámetro.

M. Leon Foucault habia ideado, para el estudio continuo de la superficie del Sol, y en general de un astro cualquiera, un aparató á que dió el nombre de *sideróstadio* y que su prematura muerte no le dió tiempo de realizar; y he aquí, según M. H. Sainteraire Deville, la disposicion de este aparato. «El siderostadio se compone esencialmente: 1.º de un espejo plano plateado, movido por un relój, en disposicion de reflejar ó de volver en una direccion constantemente horizontal los rayos del astro que se trata de observar; 2.º de un aparato obje-

tivo fijo, reflector ó refractor, (esto es, telescopio ó anteojos astronómico) que concentra sus rayos en su foco. Este foco se halla en el orificio de una cámara oscura, en la cual el astrónomo se entrega cómodamente sin molestia ni inconvenientes, á todos los experimentos y medidas que se propone ejecutar... Una de las mas interesantes aplicaciones del siderostadio era la del estudio permanente del Sol, que es lo que se proponia obtener M. Foucault. En uno de los salones mas frecuentados de un observatorio queria disponer un aparato que produjera sobre una pantalla cuadrículada una imagen fija y ampliada del Sol. La aparicion y forma de las manchas y el transito de un asteroide sobre el disco solar, habrian servido de objeto de continuados estudios practicados sin perjudicar la vista por parte de todas las personas cuyas ocupaciones les permitieran frecuentar incesantemente ese mismo departamento.»

En fin, para terminar lo que queriamos decir sobre los medios de observar el Sol, sin dañar la vista, mencionaremos un procedimiento, ideado igualmente por M. Leon Foucault, pero que mas afortunado que la invencion del siderostadio, ha llegado á someterse á la prueba de la experiencia. Este procedimiento unicamente es aplicable á los anteojos astronómicos ó refractores, y consiste en platear la superficie exterior del objetivo. «Por este sistema el instrumento se halla protegido contra el ardor de los rayos solares que se reflejan casi totalmente hácia el cielo, mientras que una mínima parte de luz azulada, atravesando la capa metálica, se refracta de una manera ordinaria y vá á formar en el foco una imagen fija y limpia que puede observarse sin riesgo alguno para la vista.» El ensayo de este método de observacion del Sol, tuvo efecto en el Observatorio de Paris sobre un objetivo de 25 centímetros de diámetro, siendo coronado del mayor éxito. Solo ofrece un inconveniente, el de necesitar el sacrificio momentáneo de un instrumento; pero ese inconveniente no existe para los observadores entregados esclusivamente al estudio del Sol.

Forma rigurosamente circular del disco del Sol.—Sus dimensiones aparentes en las distintas épocas del año.

Me he estendido tal vez demasiado sobre el asunto de los métodos de observación del Sol; y sin embargo, esta digresion era necesaria para evitar algunas vacilaciones y los accidentes que pudieran seguirse á aquellos de mis lectores dispuestos á estudiar el Sol, ó por lo menos á inspeccionar por simple curiosidad la superficie del disco.

Concretémonos ahora á este estudio.

Ya dejamos dicho mas atrás que el disco tiene el aspecto de un círculo luminoso; porque es rigurosamente un disco, escepto la deformacion aparente debida á la refraccion, pudiendo asegurarnos efectivamente con ayuda de los instrumentos llamados heliómetros, de la igualdad completa de los diámetros del disco, mientras que ningun indicio de aplastamiento ha podido acreditarse en cualquier sentido.

Las dimensiones aparentes ó angulares del disco del Sol (1) son poco mas ó menos como las de la Luna: (2) su diametro es un poco mayor de medio grado; pero varia segun la época del año, porque describiendo la Tierra alrededor del Sol, una curva elíptica, varia constantemente la distancia entre los dos tastos.

Hacia el 1.º de enero esta distancia es lo mas corta posible, la Tierra está en su perihelio y el disco solar tiene sus mayores dimensiones aparentes cerca de $32' 35''$, 6 ó $1,955''$, 6. Por el contrario, en el afelio, hacia el 1.º de julio, la distancia es la mas grande y el diámetro del Sol lo mas pequeño posible, midiendo entonces $31' 31''$, 0, ó $1,891''$ 0. En fin, sus dimensiones medias son de $32' 3''$,

(1) Véase en la *Luna*, pág. 22, lo que debe entenderse por dimensiones aparentes de un objeto lejano.

(2) Tan pronto mas pequeñas, tan pronto mas grandes, y esta es la causa de que los eclipses de Sol producidos por la interposicion del disco oscuro de la Luna nueva delante del Sol, sean tan pronto totales y tan pronto anulares.

64, ó 1,925", 64, cuando se halla la Tierra en su distancia media, lo que sucede hácia 1.º de abril y al 2 ó 5 de octubre. Entonces la circunferencia del horizonte, lo mismo que la de cualquier otro círculo máximo de la esfera celeste, se ocuparía por completo con 675 discos semejantes al disco solar, colocados de manera que se hallarían tangentes ó en contacto el uno con el otro por las estremidades de su diámetro horizontal. Necesitaríanse 685 en el afelio y solamente 662 en la época del perihelio.

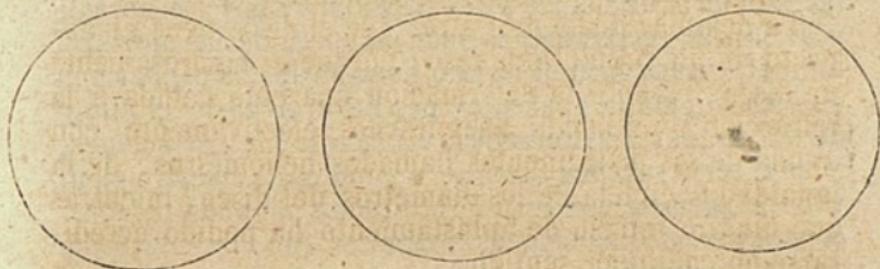


Fig. 11.— Dimensiones aparentes del disco solar en las épocas del perihelio, del afelio, y de la distancia media.

El Sol, al tiempo de su orto y de su ocaso parece mucho mas voluminoso que en sus mayores alturas sobre el horizonte, de modo que se manifiesta tanto mas pequeño, quanto mas se aproxima al zénit, y este efecto se observa en todos los objetos celestes; la Luna y las constelaciones nos parece que toman en el horizonte unas dimensiones desmesuradas; y como dejo dicho ya respecto del disco lunar, omito ahora dar nuevas esplicaciones de esta ilusion, por no incurrir en repeticiones, remitiendo al lector á aquellas.

La variacion que acabamos de señalar entre las dimensiones aparentes del Sol en las distintas épocas del año, nos toca de cerca, porque permaneciendo la misma la intensidad intrínseca de la luz y del calor del foco cuando aumenta la distancia, resulta que el ca-

lor y la luz que recibe la superficie de la Tierra, varían con la superficie aparente del disco. Un cálculo bien fácil demuestra que esta variación se encuentra representada por los números 10,555, 10,000 y 9,665; de modo que hacia el 1.º de enero la Tierra recibe del Sol mas cantidad de calor y de luz que en 1.º de abril ó 1.º de octubre, en la proporción de 555 diez milésimas, es decir, al contrario del 1.º de julio.

Hay en esto en verdad alguna cosa que parece estar en contradicción con las variaciones de calor que constituyen las estaciones, pues que la época en que la Tierra recibe mas calor del Sol, coincide aproximadamente con la de los mayores frios del hemisferio boreal; y la en que recibe menos, con la época de las elevadas temperaturas sobre el mismo hemisferio. La esplicación de esta anomalía aparente, nos llevaria hasta el punto de dar la teoría astronómica y física de las estaciones, lo cual sería salirnos fuera de los límites de nuestro plan; y para permanecer en ellos diremos algunas palabras acerca de las dimensiones aparentes que presenta el Sol desde la superficie de los demás planetas respectivos.

Desde Mercurio, que es el planeta conocido mas próximo al Sol, es desde donde se observa este astro en sus mayores dimensiones, mientras que desde Neptuno, que es el mas lejano, es desde donde se ve mas pequeño. Para evitar el inconveniente de espresarnos en números que con dificultad retiene la memoria, exponemos en la figura 15 las magnitudes comparativas del disco solar, visto desde cada uno de los principales planetas, en sus distancias medias del Sol. Téngase presente que siendo las órbitas de forma elíptica, las distancias de cada planeta al foco comun, varían en el curso de una misma revolución, como acabamos de ver que sucede respecto á la Tierra; y de ahí nacen las variaciones correspondientes en los diámetros aparentes del Sol, que parecen máxima en cada perihelio y mínima en cada afelio.

Si para evaluar las intensidades comparadas de la luz y del calor, irradiados por el Sol sobre cada planeta, se tienen únicamente en cuenta las dimensiones aparentes del astro, un cálculo sencillo, tomando por unidad la luz

y el calor que recibe la Tierra, da por resultado los números relativos siguientes:

Mercurio.	6.675	Sylvia.	0.082
Venus.	1.910	Júpiter.	0.037
Tierra.	1.000	Saturno.	0.014
Marte.	0.450	Urano.	0.005
Flora.	0.206	Neptuno.	0.001

Así, pues, en Mercurio el calor y la luz del Sol tienen una intensidad 6,675 veces mayor que en la superficie de Neptuno: Mercurio se halla caldeado é iluminado siete veces mas que nuestra Tierra. No olvidemos sin embargo que por reducido que se note el disco solar, visto desde los confines del mundo planetario, (su diámetro no debe exceder entonces de 1' 4'') el astro radiante brilla aun desde esa distancia tanto como 44 millones de estrellas de primera magnitud.

Verdaderamente para comparar las intensidades caloríficas y luminosas del Sol en la superficie misma de los planetas, es decir, para los puntos de su suelo, sería necesario conocer la constitucion de sus atmósferas, y saber en qué proporción las ondas de calor y de luz se hallan absorbidas por su paso al través de las capas gaseosas ó vaporosas de que hablamos. Ya se ha visto la influencia que el poder absorbente de la atmósfera terrestre ejerce sobre la intensidad de las radiaciones solares, intensidad que disminuye considerablemente en el horizonte. Acaso Mercurio, por ejemplo, tiene una atmósfera de tal densidad y de tal composición física y química, que el suelo del planeta no reciba directamente mas calor radiante que el suelo terrestre; puede ser tambien que reciba mucha mas cantidad que la que se indica en el precedente cuadro, porque hay en verdad aun pocos datos sobre las atmosferas de los planetas; de modo que el punto que nos ocupa se halla reducido á poco mas que conjeturas; y si hablamos sobre ello, es precisamente para que de datos imperfectos ó mejor dicho, incompletos, no se saquen consecuencias aventuradas.

§ 3.—Distancia del Sol á la Tierra.

¿Qué es la paralaje de un astro?—Medida de una distancia inaccesible; paralaje horizontal.—Medida de la paralaje del Sol; método de Aristarco de Samos; oposiciones de Marte; pasos de Venus.—La distancia del Sol deducida de la viveza de la luz y de la constante de la aberración.—Tiempo que invertirían en recorrer la distancia del Sol á la Tierra distintos cuerpos: la luz, el sonido, una bala de cañon, un tren de línea férrea.

Cuando se afirma delante de una persona profana á las ciencias matemáticas que los astrónomos han llegado á medir la distancia que separa á un astro cualquiera de la Tierra, es raro que esa persona no acoja la afirmación con una sonrisa de incredulidad, á no ser que fiándose de vuestra probidad intelectual, acepte ese resultado como un verdadero esfuerzo, una especie de prodigio de la ciencia, en que cree, porque varias aplicaciones maravillosas de la ciencia moderna de que es testigo todos los días, le predisponen á darle crédito.

Sin embargo, este es en realidad punto de una gran sencillez teórica, fácil de comprender desde luego; pero al propio tiempo, no lo olvidemos, de una ejecución difícil y complicada siempre: así, pues, tanto en este caso como en otros muchos, debe tomarse el sentido contrario de la opinion generalmente formada. Ensayemos la prueba, á propósito de la distancia del Sol á la Tierra, distancia que es preciso conocer, si de las dimensiones aparentes del astro radiante queremos pasar á sus dimensiones verdaderas ó reales. Además, no hay dato mas importante para toda la astronomía, que la distancia del Sol; esto es, la unidad que sirve de medida para todas las demás distancias, bien sea en el mismo mundo solar, bien para todas las regiones del cielo mas lejano pertenecientes á lo que suele llamarse el universo ó mundo sideral.

Ante todo quiero definir una palabra muy frecuente en el lenguaje de los astrónomos, cuando se trata de las distancias celestes: esta palabra es la de *paralaje*; y suele decirse la paralaje de la Luna, la paralaje solar,

la paralaje de una estrella: ¿qué significa, pues, la paralaje de un astro? Hélo aquí.

Para medir una distancia cualquiera comprendida entre un punto inaccesible,—esto es, tratándose, por ejemplo, del Sol, de la Luna ó de las estrellas,—y el sitio en que se encuentra el observador, elige éste desde luego una base.

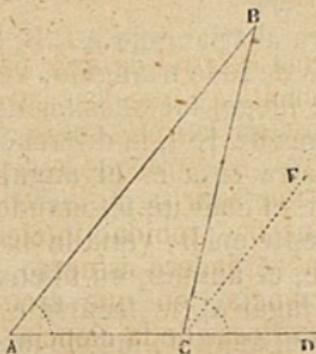


Fig. 12.—Medida de la distancia de un punto inaccesible.

El observador se halla en A, y traza, partiendo de A sobre el terreno, una línea recta A C A C es la base de la operación, que no tiene necesidad de reunir otra condición mas que la de ser una línea recta medible, y á cuyas extremidades A y C, pueda ser fácil al observador trasladarse sucesivamente. En A, mide el ángulo que forma con la base el ráyo visual dirigido desde este punto al objeto inaccesible B. En C, mide del propio modo el ángulo del ráyo visual C B con la base. Claro es que estas medidas podrían tener lugar simultáneamente, para lo cual bastaría tener dos operadores, colocados, uno de ellos en A, y el otro en C, mirando al mismo tiempo el objeto B.

Fácilmente puede comprenderse ahora que el triángulo A C B se conoce por uno de sus lados A C y por dos de sus ángulos, el ángulo A y el ángulo C; y que para

resolver el punto de la distancia, basta trazar otro triángulo semejante sobre el papel. Midiendo á continuación en la misma escala que A C, bien sea la línea A B, bien la B C, podrá saberse, sin necesidad de trasladarse al punto B, cuál es exactamente la una ó la otra de estas distancias. Este es un problema que los ingenieros, los geómetras ó los agrimensores resueiven á cada instante, cuando se proponen medir una distancia sin tomarse el trabajo de recorrerla.

Volvamos ahora al triángulo A C B. Sus tres ángulos, lo mismo que los de todo triángulo, valen, como es sabido 180° . Desde luego, medidos los dos ángulos A y C, y deducida la suma de 180, la diferencia da el valor del ángulo B. ¿Qué otra cosa es el ángulo B, sino el ángulo visual, sobre el cual un observador que tuviese fija la vista precisamente en B, veria la base A C? Es tambien, si se quiere, el ángulo, en el cual el objeto B parece cambiar de lugar al trasladarse el observador desde A á C; este es el ángulo llamado mas particularmente por los astrónomos la *paralaje* del objeto, del astro, Luna, Sol ó estrella, cuya distancia respectiva se trata de calcular.

Sea T la Tierra, y E el astro en cuestion. Lo que se trata de hallar es E T, distancia del centro del astro al centro de la Tierra. Si el observador se halla al principio en A, sobre la línea E T, ve al astro en su zénit, y si se aleja hasta B, ó si un segundo observador se encuentra al mismo tiempo en B, midiendo la distancia angular que separa E de su zénit ó el ángulo E B Z, cerrará el ángulo E B T. Por otra parte ya es conocido el ángulo A T B, que es la diferencia en latitud de las dos estaciones, si se hallan sobre el mismo meridiano. Tambien se conoce el rádio T B de la Tierra, que es la base del triángulo, y un cálculo sencillo hará encontrar entonces T E. En cuanto á la paralaje ó ángulo T E B, será tanto mayor, cuanto que B esté mas distante de A hasta el punto C donde se ve el astro en el horizonte, y entonces se da á la paralaje el nombre de paralaje horizontal.

Esta paralaje horizontal es la que los astrónomos, por medio de operaciones más ó menos complicadas, según las circunstancias, calculan para cada cuerpo celeste, y de la cual deducen la distancia. Se vé pues que la paralaje puede definirse así: el ángulo bajo el cual cualquier observador colocado en el mismo astro, vería de frente el rayo de la Tierra.



Fig. 13.—Paralaje horizontal de un astro.

Desde luego fácil es comprender que tanto es menor la paralaje, cuanto más alejado esté el astro, ó lo que es lo mismo cuanto más débil parezca el rayo de la Tierra, visto desde el astro; hecho de observacion como de geometría, cuya exactitud acreditamos todos los días respecto de los objetos situados en la superficie de la Tierra, y cuyas dimensiones aparentes se presentan tanto más reducidas, cuanto más considerable es la distancia á que se hallan de nosotros.

Los antiguos astrónomos habían planteado, como los modernos, el problema de la distancia del Sol, ó lo que equivale á lo mismo, la determinacion de la paralaje solar, pero siendo, prácticamente hablando, demasiado delicado este problema por ser un ángulo muy pequeño la paralaje del Sol, han pretendido conjurar el inconveniente, comparando la distancia del Sol á la de la Luna, que por hallarse mucho mas próxima á la Tierra, es aproximativamente conocida, por lo menos desde los tiempos de Hipparco, astrónomo griego que floreció

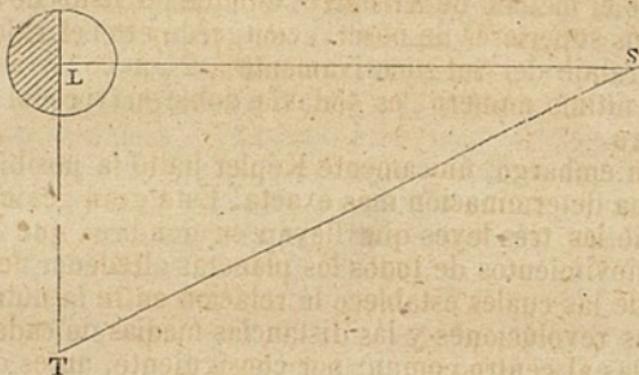


Fig. 14.—Medida de la distancia del Sol ; método de Aristarco de Samos.

unos 2,000 años há en Alejandría. Aristarco de Samos (260 años antes de la era vulgar), había notado con bastante exactitud, que el centro del Sol, el centro de la Luna y el ojo de un observador colocado en la superficie de la Tierra, constituyen los tres vértices de un triángulo $L T S$, cuyo ángulo en L es recto cuando la Luna se halla en cuadratura, es decir, cuando la separacion de la sombra y de la luz sobre el disco de nuestro satélite, formar rigorosamente una línea recta. Observando este momento fijo, bien sea en la época del primer cuarto ó en la del último, Aristarco había medido el ángulo $L T S$ de la Luna al Sol, deduciendo de ahí la relacion de la

distancia TS del Sol á la distancia TL de la Luna; pero este método era poco exacto, y la distancia del Sol hallada por Aristarco era bastante reducida. Lo mismo sucedió respecto de la que Hipparco y despues de él Ptolomeo, calcularon al medir el diámetro de la sombra de la Tierra en los eclipses lunares. Hasta el siglo XVII apenas se adelantó mas en este punto: considerábase la paralaje solar como igual á 5', lo cual colocaba al Sol á una distancia de 1.146 rádios terrestres de la Tierra ó solamente á 1,645,000 leguas antiguas aproximadamente; y ya veremos que se halla bastante mas lejano.

Képler, Riccoli y Vendelino, empleando constantemente el método de Aristarco, aunque provistos de otros medios superiores de observacion, redujeron el valor de la paralaje del Sol sucesivamente á 2', á 28'' y á 15''. Este último número, es todavía doble mayor del verdadero.

Sin embargo, únicamente Képler halló la posibilidad de una determinacion mas exacta. Este gran genio descubrió las tres leyes que llevan su nombre, que rigen los movimientos de todos los planetas alrededor del Sol, una de las cuales establece la relacion entre la duracion de las revoluciones y las distancias medias de cada una de ellas al centro comun; por consiguiente, antes de conocer de una manera absoluta esas distancias y antes de poder fijarlas por medio de unidades determinadas, como por ejemplo en leguas, se pudieron calcular con precision sus valores relativos. Así, pues, considerada como unidad la distancia del Sol á la Tierra, la de Vénus es de 0,723, y la de Marte 1,524; resultando de ahí que una sola distancia planetaria conocida, puede dar á conocer todas las otras, para lo cual basta emplear un cálculo aritmético.

En vez de buscar directamente la distancia de la Tierra al Sol ó la paralaje solar, se ha intentado determinar por la observacion y el cálculo la paralaje de Marte ó la de Vénus en las épocas en que estos planetas se hallan á sus distancias mínimas de la Tierra, esto es, cuando Marte se halla en oposicion ó Vénus en conjuncion.

Merced á las observaciones de Marte en los dos últimos siglos, la paralaje del Sol se encontró de 10'' por Casini, de 6'' por La Hire, de 10'' por Maraldi, de 9'' á 12'' por Pound y Bradley, y de 10'',5 en fin, por Lacaille. Fijo aquí estos resultados distintos para demostrar cuán distante se estaba todavía en aquellas épocas de conocer con alguna precision la distancia del Sol á la Tierra.

Un nuevo método produjo finalmente otros datos mas exactos. Vénus pasó en 1761 y en 1769 por delante del Sol, y el ilustre Halley habia prevenido á los astrónomos acerca del interés que debieran tener en la observacion de esos pasos, para el cálculo de la paralaje solar; pero nos llevaria demasiado lejos la esplicacion detallada del método inventado por Halley y puesto en práctica por los astrónomos del siglo XVIII; bastán-

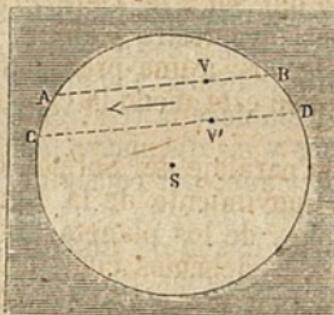


Fig. 15.—Paralaje del Sol determinada por el paso de Venus.

donos comprender que Vénus, al tiempo que su movimiento le coloca en conjunción entre el Sol y la Tierra, se halla notablemente mas próximo á nosotros que el Sol, y su paralaje es entonces mayor que la paralaje solar, y por consiguiente mas fácil de observar. Observadores colocados en sitios lejanos entre sí en la superficie del globo terrestre, no verán el punto negro que atraviesa el disco del Sol en los mismos puntos: para los unos Vénus se proyectará en V y describirá la cuerda B V A;

para los otros se proyectará en V' y parecerá describir la cuerda D V' C. Siendo ambas cuerdas desiguales, la duracion del paso no será igual para los diferentes observadores. De la diferencia de esas duraciones se deducirá la de las paralajes de Vénus y del Sol; de modo que conocida ya su relacion es fácil calcular cada una de ellas (1).

Al decir *es fácil*; no vaya á creerse que el cálculo en cuestion se forma con un rasgo de pluma; por el contrario, trátase de un cálculo bastante delicado y laborioso. Lo que queremos dar á entender es que la dificultad queda reducida entonces á una cuestion de cálculo matemático, cuya exactitud pende únicamente de la precision con que se hacen las observaciones.

El astrónomo Encke, utilizando los datos de los pasos de Venus, del último siglo, habia hallado para la paralaje del Sol el número $8''{,}57$, cifra adoptada generalmente hasta estos últimos años, y que daba para la distancia media del Sol á la Tierra, cerca de 24,000 radios ecuatoriales de nuestro planeta. Pero los sabios nunca están satisfechos: á una precision quieren sustituir otra mayor, y de este modo la ciencia progresa, sin detenerse nunca.

Deduciéndose la paralaje del Sol por ciertos métodos de la teoría del movimiento de la Luna, y lo mismo de las perturbaciones de los planetas; algunos geómetras, entre los cuales debemos citar á M. Le Verrier, creyeron deber adoptar una cifra de valor mas considerable que la obtenida por Encke, lo cual reduce la distancia del Sol á la Tierra.

Por otra parte, habiendo M. Leon Foucault, medido directamente en la superficie de la Tierra la viveza de propagacion de la luz, y habiendo encontrado que era de 298,000 kilómetros por segundo, véase la consecuencia que se desprende de esta medida.

Un fenómeno celeste bien conocido y medido con exacta precision por distintos astrónomos, la aberracion, es

(1) Para mas detalles en este punto, véase el libro III de nuestra obra *LE CIEL*, 4.^a edición.

una consecuencia del movimiento de la luz y del de traslación de la Tierra en su órbita; así que un número que llaman los geómetras la *constante de la aberración*, prueba que la celeridad de la luz en el espacio, equivale exactamente á 10,000 veces la celeridad media de la Tierra. Esta recorre pues, por término medio, si los experimentos de M. Foucault son positivos, 29 kilómetros, 800 metros por cada segundo; y con este dato no es difícil por cierto calcular el camino que recorre en un año, es decir, la longitud de su órbita, traducida en kilómetros. En fin, conocida esta órbita, su radio medio ó la distancia media del Sol á la Tierra quedan reducidos á una consecuencia matemática.

Encuétrase de esta suerte un número, al cual corresponde $8''$,86 para la paralaje del Sol.

En resúmen, los pasos de Venus han dado á Encke $8''$,57; la mecánica celeste y ciertas observaciones de Marte suministran el número $8''$,95, y la viveza de la luz $8''$,86: hay pues aun, como se ve, cierta duda que esperamos ver disipada cuando se observen en 1874 y 882 los próximos pasos de Venus por el Sol (1).

Creemos no alejarnos mucho de la verdad, adoptando provisionalmente la paralaje $8''$,9. Duplicando este número, tendremos $17''$,8; ángulo en el cual el diámetro de la Tierra podría ser visto por un observador colocado en el centro del Sol. Es tan pequeño este ángulo, que á esa distancia nuestro planeta aparecería como una estrella, cuyo brillo ó magnitud aparente escendería tal vez muy poco del brillo de Saturno, suponiendo sin embargo que la superficie de los dos cuerpos celestes tengan para la luz la misma potencia reflectora. Pero volvamos á la distancia del Sol.

La paralaje $8''$,9 supone que la distancia del Sol á la Tierra es 25,189 veces la longitud del radio ecuatorial de nuestro planeta, ó lo que es igual, de 147.910,000

(1) El paso de Venus se verificó el 9 de diciembre de 1874 y se ha observado en buenas condiciones por gran número de observadores; pero aun no se han publicado los resultados respecto de la cuestión de que se trata.

(N. del T.)

kilómetros. En cifra redonda contemos 23,200 radios terrestres, ó 148.000,000 de kilómetros. Pero estos números representan la distancia media, la misma á que se halla el Sol hácia los primeros dias de abril y de octubre. Las distancias estremas difieren entre sí cerca de 778 radios de la Tierra, ó de 5.000,000 de kilómetros; de suerte que en el invierno nos hallamos á 1.250,000 leguas mas cerca del Sol que en el verano.

En resúmen, resulta lo siguiente:

		En radios ecuatoriales.	En kilómetros.
Distancias del Sol á la Tierra.	{ Afelio. . . .	23,580 . . .	150.390,000
	{ Media. . . .	23,190 . . .	147.910,000
	{ Perihelio. . .	22,800 . . .	145.430,000

No debe atribuirse á estas cifras una exactitud que no alcanzan, pero no se apartan mucho las unas ni las otras de los valores reales de las distancias del Sol: lo esencial aquí es dar una idea suficientemente precisa de esas distancias, aplicadas á las que habitualmente acostumbramos emplear en la superficie de la Tierra, acerca de la inmensidad del alejamiento del Sol, relativamente al planeta que habitamos. Mas adelante veremos desvanecerse esa distancia, como un punto imperceptible ante las dimensiones del universo sideral, ó por lo menos de la parte de ese universo, accesible á los telescopios. Algunas comparaciones familiares bastarán para hacer sensible el primero de estos dos puntos de vista.

Nosotros no nos formamos fácilmente idea de las cantidades que representan las grandes cifras numéricas. Una distancia de 148 millones de kilómetros nos parece indudablemente una dimension considerable, pero no nos la figuramos sino difícilmente en el espacio. Asociándola el tiempo, por ejemplo, el que invertirían en recorrerla móviles animados de celeridades conocidas la idea será para nosotros, sino mucho mas precisa, por lo menos mas accesible á nuestra imaginacion.

Consideremos la luz que se propaga en línea recta re-

corriendo de una manera uniforme 298,000 kilómetros por cada segundo de tiempo. Desde el Sol á la Tierra, invierte $496''$, 55 , es decir, $8'$ $16''$, 55 , en atravesar el intervalo medio de los 148 millones de kilómetros que los separa.

Una bala de cañon de 12 kilogramos, espelida por el arma cargada con 6 kilogramos de pólvora, se mueve con una celeridad de 500 metros durante el primer segundo; de modo, que si pudiera conservar esa misma celeridad uniforme hasta el Sol, gastaria 9 años y $\frac{3}{4}$ en llegar.

Si el espacio comprendido entre el Sol y la Tierra fuera capaz de transmitir un sonido con la rapidez de propagacion uniforme de 340 metros por segundo,—es la que tiene en el aire á la temperatura de 15° ,—el movimiento sonoro tardaria 13 años y $\frac{3}{4}$ en atravesar esa distancia; de suerte que podrian contarse bien cerca de 14 años desde que la esplosion que le diera principio en la superficie del Sol se hubiera producido hasta el momento en que el sonido llegara á herirnos el oido en la superficie de la Tierra.

Supongamos un camino de hierro que uniera en línea recta á nuestro planeta con el Sol: un tren expreso y directo, marchando con la celeridad constante de 50 kilómetros por cada hora sin detenerse, solo llegaria á su destino despues de 337 años y medio: partiendo este convoy en 1.º de enero de 1869, no llegaria al término de su camino ¡hasta los últimos dias del año 2,206!

§. 4.—*Dimensiones reales del Sol.—Su masa y densidad.—Intensidad de la gravedad en su superficie.*

Diámetro del Sol: á cuántos diámetros terrestres equivale.—Superficie del globo solar; su volúmen.—Representacion en miniatura del Sol y de los planetas.

Para que el Sol, aun á pesar de su prodigiosa distancia, se nos aparezca bajo la forma de un disco, teniendo un diámetro angular tan grande, es necesario que sus verdaderas dimensiones sean realmente enormes. El globo solar—ya veremos luego que la forma circular

del disco indica una forma esférica—tiene en efecto un diámetro que no es menor de 108 veces el diámetro ecuatorial de la Tierra, y facilmente puede comprenderse esta proporcion de los dos astros. La paralaje solar duplicada dá el diámetro aparente medio de nuestro planeta, visto desde el Sol, es decir, $17''{,}8$, y siendo el diámetro aparente medio del Sol visto desde la Tierra, es decir, desde la misma distancia, de $52' 5''{,}64$, ó $1925''{,}64$, basta dividir esta segunda cifra por $17{,}8$ para conocer la relacion aproximada de los diámetros reales. Haciendo el cálculo trigonométrico exacto, resulta:

$$D=108, 155 \text{ d.}$$

Pasando ahora á las dimensiones del Sol, espresadas en kilómetros para las longitudes, en kilómetros cuadrados para las superficies y en kilómetros cúbicos para los volúmenes, hé aquí el resultado:

El radio del Sol tiene 690,000 kilómetros, 172,000 leguas kilométricas aproximadamente; la circunferencia de uno de sus círculos máximos mide 4.550,000 kilómetros ó 1.085,000 leguas kilométricas; lo cual equivale siempre, como se vé á unas 108 veces, poco mas ó menos, las dimensiones correspondientes de la Tierra.

La superficie del astro, la de la envoltura luminosa que nos deslumbra, no es apenas inferior á 12,000 veces la superficie de nuestra Tierra, ó si se quiere, es igual en números redondos á 6 millones de millones de kilómetros cuadrados.

Su volúmen, evaluado en kilómetros cúbicos, se mide por el número 1.574,500,000,000,000.

Para formarse una idea de lo que tal número representa, es preciso compararlo con el volúmen mismo de la Tierra, que vale ya mas de mil millones de kilómetros cúbicos, resultando de ahí que el globo del Sol vale por si solo en volúmen tanto como 1.572,000 globos terrestres. La Tierra no es por cierto, ni con mucho, el planeta mas voluminoso, puesto que Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno son respectivamente 1,250, 685, 74 y 85 veces mayores que ella; pero reunidos todos los planetas con sus satélites, resultaria todavía que el volú-

men del Sol equivale á 600 veces por lo menos el volumen resultante de esta aglomeracion. La Luna está alejada de nosotros cerca de unos 60 radios de la Tierra; pues bien, aun suponiendo que el centro del Sol viniera á coincidir con el de nuestro globo, no solamente toda la órbita lunar quedaria en el interior de la inmensa esfera solar, sino que además seria necesario elevarse mas allá de esa órbita 48 radios terrestres para alcanzar la superficie exterior del astro luminoso.

Compréndese mejor la importancia del papel que un astro como el Sol desempeña en el mundo de los cuerpos celestes que gravitan en torno suyo, cuando se representan en sus proporciones exáctas las verdaderas dimensiones y los valores relativos, estrictamente justos, de las magnitudes y de las distancias de todos esos cuerpos.

Hé aquí por qué insisto en mis comparaciones familiares, por qué he creido oportuno multiplicar las imágenes indispensables para dar á nuestros sentidos, y por consiguiente á nuestro espíritu, una idea precisa de tales relaciones.

Representémosnos el Sol como una esfera de un *decímetro* de diámetro: la Tierra será un grano de menos de un *milímetro*, que tendrá que retroceder á la distancia media de 21^m,50 para establecer su distancia al Sol en armonía con sus dimensiones. Si la Tierra tuviera, como las esferas geográficas de medianas dimensiones, 50 centímetros de diámetro, necesitaríase alejarla á 5 kilómetros y medio próximamente del globo solar, que no tendría entonces menos de 52^m,45 de diámetro. En una palabra, figuraos un globo aerostático de forma esférica y de un volumen suficiente para elevarse desde el suelo hasta la mitad de la altura de las torres de Nuestra Señora de París: este es el Sol. Colocad otro globo de 5 decímetros de diámetro á una distancia de 5,500 metros del primero: ese globo figurará la Tierra, Júpiter, el mas voluminoso de todos los planetas, seria una bola de 5^m,50, que habria de colocarse á una distancia de 18 kilómetros; Saturno tendria un diámetro de cerca de 5 metros, y seria relegado á 53 kilómetros.

¿Cuánto pesa el sol?—Una idea de la balanza astronómica.—Cuántas Tierras se necesitarían para equilibrar el Sol.—Cuánto pesan los cuerpos en el Sol.—Su masa comparada con las masas reunidas de todos los planetas.

Tales son las dimensiones del Sol. Pasemos ahora á la evaluacion de otro elemento, el de su masa, ó de la cantidad de materia que encierra ese inmenso volumen: digamos en una palabra qué contestacion dá la astronomía á esta pregunta, cuya sola enunciacion escrita, con mas razon que la cuestion de las distancias celestes, la admiracion y hasta la incredulidad.

¿Cuánto pesa el sol?

¿Cuál es la masa del astro, comparada con la de nuestro globo terrestre? Si fuera posible suponer una balanza tan enorme y fuerte, para que uno de sus platillos pudiese mantener el globo solar; ¿cuántas Tierras sería necesario colocar en el otro platillo para equilibrar el peso?

No es propio de este lugar explicar por qué método, por qué serie de deducciones, de observaciones, de razonamientos y de cálculos han llegado á resolver los astrónomos este punto tan curioso de la mecánica de los mundos, pesar el Sol, la Tierra la Luna y los demás planetas, y sus satélites: citaré únicamente el principio que les ha servido de punto de partida, limitándome luego á demostrar la posibilidad del problema.

Este principio es el de la gravitacion universal, cuya ley tuvo la gloria de formular Newton, y de la cual deriva, como simples consecuencias, las tres leyes que llevan el nombre de otro inmortal astrónomo, Képler. Dos puntos materiales cualesquiera, dice Newton, tienden ó gravitan, el uno hácia el otro; con una fuerza proporcional á sus masas, y que decrece á medida que aumentan los cuadrados de sus distancias.

Teniendo el Sol, los planetas, en una palabra, los diferentes cuerpos del sistema solar, con poca diferencia la forma esférica, cada uno de ellos obra sobre todos los demás, como si estuviera reducido á un punto que le sirve de centro, y como si toda su masa se hallara concentrada en él. Esta es una segunda verdad, cuya demostracion se debe tambien al géometra inglés.

Un planeta como la Tierra circulando alrededor del Sol, puede considerarse como sometido á dos fuerzas, la de gravitacion, en virtud de la cual tiende á reunirse al Sol, y la otra que le alejaria de él indefinidamente si obrase por sí sola. Su combinacion incesante produce el movimiento elíptico que conocemos, y cuya ley ha encontrado Képler para todos los planetas. Descuidando como muy inferiores las acciones de los otros cuerpos del sistema, reduciendo mentalmente ese sistema al Sol y á la Tierra únicamente, salvo el corregir despues los primeros resultados; hé aquí cómo ha podido calcularse la relacion de las masas del Sol y de la Tierra.

¿Qué debe hacerse para comparar esas dos masas? Llegar á conocer la fuerza, con la cual cada una de ellas obraria sobre una masa misma por medio de la gravitacion, en el caso que esta masa se colocara cada vez á igual distancias de las otras dos; y como esa fuerza puede medirse por el espacio recorrido durante el primer segundo, la cuestion queda concretada á lo siguiente:

¿Cuál seria el espacio recorrido durante el primer segundo por un cuerpo que cayera bajo la accion de la masa de la Tierra á una distancia igual, por ejemplo, á la del Sol á la Tierra? ¿Cuál seria asimismo el espacio recorrido por un cuerpo que, desde una distancia igual, cayera sobre el Sol bajo la sola accion de la masa solar?

Los experimentos de los fisicos nos demuestran que en la superficie de la Tierra, en la latitud de París, un cuerpo que cayera libremente en el vacío bajo la accion de la gravedad, es decir, de la masa de nuestro globo, reunida toda entera en su centro, recorreria un espacio igual á $4^m,9047$ durante el primer segundo de su caída. La distancia al centro es aquí aproximadamente de 6,567 kilómetros. Cuando se trasporta el cuerpo á la distancia media del Sol, segun la ley de la gravitacion, el espacio recorrido por la caída del cuerpo á la Tierra en un segundo, se reducirá en la relacion inversa del cuadrado de las dos distancias 6,567 y 147.910,000, sucediendo lo mismo con la celeridad adquirida, que será igual entonces al número $0^m000,000,018,1768$.

Es menester saber ahora, qué espacio recorre un cuerpo colocado á la distancia de la Tierra cayendo hácia el Sol bajo la accion de la masa de este astro, en el primer segundo de su caída. El conocimiento de las dimensiones de la órbita terrestre y de la celeridad media de la Tierra en esta órbita, permiten formar ese cálculo, del cual no daremos aquí el detalle; resultando $0^m,005,007,25$ para la caída sobre el Sol en un segundo ó $0^m,006,014,50$, número doble para la celeridad obtenida durante el mismo intervalo.

La comparacion de las masas de la Tierra y del Sol, es la consecuencia inmediata de ambos resultados: la masa del Sol contiene la masa de la Tierra tantas veces, cuantas el núm. $0,006\ 014\ 50$ vale $0,000\ 000\ 018\ 176\ 8$. Una simple division dá para esta proporcion $550,890$.

El número al cual hemos llegado así por un método elemental, que tiene por objeto únicamente dar á conocer la posibilidad de la solucion, prescindiendo de elementos de cierta importancia, no es aquel que se ha establecido. La masa del Sol se ha considerado igual á $525,000$ veces próximamente la masa de nuestro globo, y hé aquí la respuesta á la cuestion sentada mas atrás, y que parecia tan estraña.

525,000 Tierras reunidas equilibrarian el peso del Sol.

Actualmente todos saben que por distintos métodos ha llegado á evaluarse la densidad media del globo terrestre, que es próximamente igual á $5,44$. La Tierra, pues, pesa $5,44$ veces como un volúmen igual de agua: multiplicando este peso por $525,000$, resultará el peso total del Sol, que evaluado en toneladas de $1,000$ kilogramos, da la asombrosa cifra de

1 920 000 000 000 000 000 000 000 000

Siendo conocida la masa del Sol, y dividiéndola por su volúmen, se halla la densidad de la materia de que está formado, que es $0,25156$ tomando por unidad la densidad de la Tierra. Esto equivale á decir que en igual volúmen el peso de la materia del Sol no escede apenas de la cuarta parte del peso de la que compone el

globo terrestre. Con relacion al agua, la densidad del Sol es 1,567; mientras que la ulla mas compacta alcanza una densidad de 4,36; y la del fósforo la de 4,77: asi, pues, el Sol pesa poco mas que un globo de ulla de las mismas dimensiones, y mucho menos que otro globo de fósforo.

Como quiera que el Sol es, despues de todo, el cuerpo preponderante de todo el sistema de astros que gravitan en torno suyo, conviene compararlo con cada uno de ellos, ó por lo menos con los principales, bajo el punto de vista de sus elementos, masa, dimensiones, densidad etc. Con este objeto damos á continuacion un cuadro demostrativo, en el cual pueden verse reunidas todas las cifras numéricas necesarias para esta comparacion:

	Diámetros. Diámet. equatorial de la Tierra=1.	Volúmenes. El de la Tierra=1.	Masas. La de la Tierra=1.	Densidades. La de la Tierra=1.	Gravedad. En la superficie de la Tierra=1.
El Sol.....	108.135	1 273 000	225 100	0.251	27.366
Júpiter.....	11.117	1 233	305	0.247	2.465
Saturno.....	9.490	685	91	0.195	1.103
Neptuno	4.390	85	18	0.211	0.953
Urano.....	4.205	74	16	0.216	0.883
La Tierra...	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Vénus.....	0.954	0.874	0.776	0.887	0.942
Marte.....	0.536	0.154	0.111	0.720	0.382
Mercurio....	0.373	0.052	0.076	1.420	0.540
La Luna....	0.273	0.020	0.012	0.600	0.164

Resultan de este cuadro varias consideraciones interesantes.

Al adicionar los volúmenes de todos los principales planetas, se vé que dan una totalidad igual á 2,077 veces el volúmen de la Tierra. Agregando los planetas telescópicos y los satélites de Júpiter, de Saturno, de Urano y de Neptuno, no se obtendria ciertamente mas de

2,080, cuya cifra se halla comprendida 612 veces en la de 1.275,000. Así, pues, según dejamos ya dicho mas arriba, el volumen del Sol sobrepuja 600 veces á los volúmenes reunidos de todos los astros que gravitan en torno suyo.

Si se hace el mismo cálculo respecto de las masas, resulta que la suma equivale á 432 veces próximamente la masa de la Tierra; equivalente apenas á la 740 parte de toda la masa del Sol.

La densidad de los cuatro grandes planetas se aproxima bastante á la del Sol, al paso que los cuatro planetas medianos de la Luna, están formados de sustancias mucho mas densas; su densidad media es 0,940, número que es casi cuatro veces tan considerable como el que espresa la densidad del Sol.

Hay una quinta columna en nuestro cuadro, en la cual se encuentran indicadas las intensidades de la gravedad en la superficie de cada planeta y en la del Sol. Hé aquí lo que indican esos números.

Un cuerpo libremente abandonado á sí mismo en la superficie de la Tierra, se precipita en el vacío con una celeridad creciente, que en el breve intervalo de un segundo, es de $9^m,8094$. El espacio que ha recorrido en este tiempo, es la mitad menor de la cifra citada, ó sea igual á $4^m,9047$. Esta celeridad adquirida en un segundo es la que sirve de medida á la energía de la gravedad terrestre; dependiendo de la masa de la Tierra, que es invariable, y al propio tiempo de la distancia del cuerpo ó del punto de partida de su caída al centro de la Tierra. Ahora bien, estando calculado el mismo elemento, según las masas conocidas de los planetas y sus dimensiones, obtiéndose los números de la 5.^a columna, que permiten calcular cuál sería la rapidez adquirida por un cuerpo grave después de un segundo de caída en la superficie de cada cuerpo celeste.

En la superficie del Sol, siendo esta rapidez 27,366 veces como la de un cuerpo que se precipitara hácia la superficie de nuestro planeta, sería de $268^m,45$; y el espacio recorrido durante el primer segundo de caída, sería la mitad, ó $134^m,225$.

Asi pues los cuerpos , en la superficie del Sol. pesan unas 27 veces , mas que en la superficie de la Tierra, 29 veces mas que en Vénus , 50 veces mas que en Mercurio , pero 11 veces solamente mas que en Júpiter ; lo cual equivale á decir que , trasportándose al Sol el peso de un kilogramo , que en la Tierra dilata el resorte de un dinamómetro hasta la division que marca 1 kilogramo ; este peso dilatara ese resorte en el Sol hasta la division correspondiente á 27, ^k 566. «Los proyectiles de artillería, dice M. Liais, tendrian allí bien corto alcance; describirian líneas, presentando una gran curvatura, y caerian al suelo á pocos metros de la pieza.» Necesitariase entonces una carga de pólvora mucho mas considerable para obtener un alcance igual al de las piezas de artillería terrestre.

En la Tierra, la fuerza centrífuga debida á la rotacion del globo, disminuye la gravedad en una proporcion que va en aumento á medida que se aproxima al ecuador. Sobre esta línea la disminucion total es de $\frac{1}{289}$. En la superficie del Sol la fuerza centrífuga en el ecuador apenas representa la 18 000^a parte de la gravedad. Seria necesario que el Sol girara sobre sí mismo 155 veces mas rápidamente, para contrabalancear la gravedad, y para que el peso de un cuerpo fuese nulo en su superficie. Un movimiento de rotacion 17 veces mas rápido, bastaria sobre la Tierra para producir el mismo resultado. El valor tan débil de la fuerza centrífuga en el ecuador del Sol, cuando se le compara con la intensidad de la gravedad, basta para explicar la ausencia, ó por lo menos la pequenez del aplastamiento del globo solar, cuyos diámetros todos medidos desde la Tierra, se presentan rigurosamente iguales.

CAPITULO IV.

Movimiento de rotacion del Sol.

§. 1.—*Descubrimiento del movimiento de rotacion.*

Fabricio descubre en 1611 las manchas del Sol y su movimiento aparente.—
Galileo determina la duracion de su visibilidad y la de la rotacion del Sol.

El globo solar gira alrededor de uno de sus diámetros con un movimiento uniforme en un período que se diferencia poco de 25 dias y medio.

El descubrimiento de este hecho, de tanta importancia para la astronomía, se remonta hácia principios del siglo XVII, en la época en que pudo ya observarse la superficie del Sol con los anteojos recientemente inventados, siendo aquel incontestablemente debido al astrónomo holandés Juan Fabricio, acreedor á todo este honor, como lo acredita la memoria que dió á luz en junio de 1611. Pero Jordano Bruno y Kléper (1) habian adivinado el movimiento de rotacion, y Galileo que descubrió por su parte las manchas del Sol el mismo año

(1) Es muy notable, dice Humboldt (*Cosmos*, III), que Jordano Bruno, que fué quemado ocho años antes de la invencion del telescopio, y once años antes del descubrimiento de las manchas solares, creyera en la rotacion del Sol alrededor de su eje. En 1609, Képler publicó su obra *Astronomia nova, seu Phisica.cælestis*, en la cual demuestra, por las observaciones de Marte, las dos primeras leyes que llevan su nombre. En uno de los pasages de ese libro explica el movimiento de los planetas por medio de la rotacion del Sol.

que Fabricio, no tardó en llegar á la misma conclusion que el sabio holandés. Hé aquí las circunstancias en que tuvo lugar este importante descubrimiento.

Observando un dia Fabricio el disco solar con un antejo, notó con gran sorpresa en su superficie una mancha negruzca de una dimension considerable, y que tomó al principio por una nube. Un exámen mas atento le probó que se equivocaba, pero la altura cada vez mayor del Sol y el brillo deslumbrador del astro (todavía no se usaban vidrios negros para la observacion) le obligaron á aplazar para la mañana siguiente el estudio de tan singular fenómeno. «Mi padre y yo, dice, pasamos el resto del dia y la noche siguiente con una impaciencia estrema, discurriendo lo que pudiera significar aquella *mancha*. Si está en el Sol, decia yo, la volveré á ver, sin duda, y si no lo está, su movimiento nos la hará invisible; en fin, volví á verla por la mañana con un placer indecible; pero habia cambiado algo de sitio, lo cual vino á aumentar por un momento nuestra incertidumbre, y por último, determinamos hacer pasar los rayos del Sol por un agujerito á una cámara oscura y sobre un papel blanco, y entonces vimos con claridad la misma *mancha* en forma de nube prolongada: el mal tiempo nos impidió durante tres dias continuar nuestras observaciones. Pasado ese intervalo, volvimos á notar de nuevo la *mancha*, que habia avanzado oblicuamente hácia el Occidente. Vimos además otra más reducida hácia el borde del Sol, la cual, en el espacio de pocos dias, llegó hasta ocupar el centro; y en fin, apareció luego una tercera. La primera desapareció antes que ninguna y alguno dias despues las otras. Yo flotaba entre la esperanza y el temor de no volverlas á ver; pero diez dias despues reapareció la primera en el Oriente. Comprendí entonces que hacia una revolucion, y desde el principio del año me ratifiqué en esta idea, haciendo ver aquellas *manchas* á otras personas, que se persuadieron como yo de su realidad. Mientras tanto, yo tenia una duda que me impedia al pronto escribir sobre esta novedad, haciéndome arrepentir á la vez del tiempo que habia empleado en tales observaciones. Veia que aquellas *manchas*

no guardaban entre sí las mismas distancias que cambiaban de forma y de celeridad, pero esperiménté luego un placer cuando hube comprendido la razón de este fenómeno. Como es verosímil, según estas observaciones, que estén las manchas en el mismo cuerpo del Sol, que es esférico y sólido, deben reducirse y debilitar sus movimientos cuando se aproximan al borde del disco. Invitamos á los amantes de las verdades físicas para que utilicen el bosquejo que les ofrecemos: indudablemente sospecharán que el Sol tiene un movimiento de conversión, como ha dicho Jordano Bruno (en su *Tratado sobre el Universo*,) publicado en 1591, y en último lugar Képler, en su libro sobre los movimientos de Marte, porque de otro modo no acierto á decir qué haríamos de esas manchas.»

Si Fabricio, como se ve por este pasaje que cita Lalande, ha observado perfectamente los movimientos aparentes de manchas negras en la superficie del Sol, proponiendo como esplicacion probable el movimiento de rotacion (ó de conversión) del astro, Galileo ha sido en este punto mas claro y mas esplicito, fijando la duracion del período de visibilidad de las manchas, que es de unos 14 dias aproximadamente, y refutando á continuacion la hipótesis del jesuita Scheiner, que suponía alejadas del Sol esas mismas manchas, asimilándolas á planetas que giran en torno del mismo, presentándonos sus fases oscuras, como sucede con Mercurio y Vénus en la época de su paso por delante del disco solar.

Scheiner, convencido por los argumentos de Galileo, hizo por sí mismo un gran número de observaciones que consignó en un infolio de 800 páginas publicado en 1650 con el título de *ROSA URSINA sive Sol ex admirando facularum et macularum phenomeno varius*.

La rotacion del Sol fué, pues, descubierta medio siglo antes que la de los planetas Vénus, Marte y Júpiter, y al propio tiempo se destruyó radicalmente una idea que nos legaron los antiguos, la de la incorruptibilidad de los cielos ó de los astros. El Sol mismo ese foco de luz, tipo de la pureza absoluta, no estaba exento de manchas, y como ya veremos pronto, verdaderas man-

chas, variables y móviles, signos auténticos de alteraciones incesantes en su superficie.

§ 2.—*Uniformidad del movimiento de las manchas solares.—Duracion real de la rotacion.*

Movimiento progresivo de las manchas desde el borde oriental al borde occidental del Sol.—Las manchas existen en la superficie misma del Sol; su movimiento real es uniforme.—Sentido de ese movimiento y duracion media de la rotacion.

Sin tratar ahora de la naturaleza de las manchas del Sol, vamos á demostrar cómo la observacion de una de ellas nos lleva á la determinacion del movimiento de rotacion de su duracion y de su uniformidad.

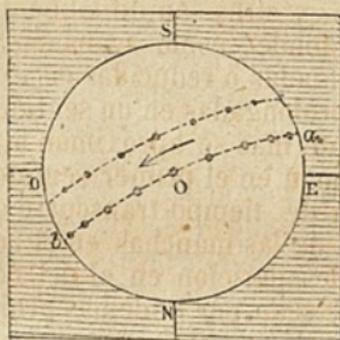


Fig. 16.—Movimiento aparente de una mancha sobre el disco del Sol.

Valiéndonos de un anteojo astronómico, es decir, que invierte los objetos (1), fijémonos en una mancha en el principio de su movimiento en *a*, cerca del borde orien-

(1) En un anteojo astronómico, el punto mas elevado del disco solar N, se ve en la parte inferior de la imágen, y por el contrario, el punto inferior S, aparece arriba. Del propio modo el borde oriental relativamente al observador, se encuentra á la derecha en E, mientras que el borde occidental aparece á la izquierda en O, lo contrario todo á lo que se observa á la simple vista ó por medio de un anteojo terrestre.

Debe tambien notarse que arrastrado el disco por el movimiento diurno de su orto á su ocaso, toma por la misma razon tales posiciones sucesivas, que el punto mas bajo en el momento en que se eleva el Sol en el horizonte, se eleva á su vez tambien poco á poco, concluyendo al ponerse el Sol, por ser el punto mas alto del disco. Esta observacion es importante para comprender el movimiento aparente de las manchas.

tal del disco (fig. 16). Preséntase entonces bajo la forma de una cinta en general mucho mas larga que ancha, y que en los primeros dias parece marchar con lentitud, aproximándose siempre al centro, creciendo su rapidez de dia en dia, hasta llegar al mismo centro, ó por lo menos á la mitad de su curso en *o*. Entonces alcanza el máximun de su celeridad y decrece al punto desde *o* á *b*, volviendo á pasar en sentido inverso por los valores mismos que en la primera mitad de la trayectoria.

Si dos ó muchas manchas se hacen visibles al propio tiempo, claro es que no están ordinariamente en los mismos períodos de sus movimientos: pero se nota que describen en su marcha líneas paralelas y parecidas, tan presto rectas, tan presto elípticas, segun la época de la observacion. Además, aunque de variadas formas y dimensiones, unas y otras son difícilmente visibles cerca de los bordes, donde, como acabamos de demostrar, se presentan delgadas ó reducidas en el sentido de sus trayectorias, ó prolongadas en un sentido perpendicular, al paso que cuanto mas se aproximan al centro, mayor amplificación toman en el primer sentido.

Igual porcion de tiempo transcurre entre el instante de la aparicion de las manchas en el borde oriental del Sol y el de su desaparicion en el del borde occidental, cualesquiera que sean por lo demás el alejamiento de las trayectorias con relacion al centro, y por consiguiente las longitudes relativas de los arcos descritos por cada una de ellas.

Sucede además con harta frecuencia que despues de la desaparicion de una mancha en el Occidente, reaparece de nuevo en el Oriente, resultando entonces que la duracion de los períodos de aparicion y desaparicion son con corta diferencia casi iguales entre sí, esto es, poco menos de catorce dias.

Todas estas circunstancias acreditan de una manera irrecusable el movimiento de rotacion del astro: las manchas no son otra cosa sino accidentes temporales de su superficie, que esa rotacion nos permite observar en toda su periferia.

Pertenecen, sí, á la misma superficie del astro; por-

que si, en efecto, se tratara de cuerpos que giraran á determinada distancia alrededor del Sol, como sucede con los planetas, su movimiento aparente delante del disco, nos parecería tanto mas uniforme, cuanto mayor fuera esa distancia misma, que es lo que se observa en los pasos de Mercurio y de Vénus. Además esos cuerpos se proyectarian en negro, si bien conservando las mismas dimensiones aparentes en el perfil que en el centro, y no tendrían esas variaciones de forma que determinan las manchas. En fin, la duración de su tránsito por delante del disco debería ser notablemente mas corta que la de su desaparición, la cual correspondería necesariamente á una porción mucho mayor de las órbitas.

Se ha querido suponer también que las manchas son impulsadas en la superficie del Sol por un movimiento que les es propio. Hay en esta hipótesis algo de cierto, como veremos mas adelante; pero en realidad la masa del Sol, su esfera entera es lo que arrastra esas manchas, determinando su movimiento armónico. ¿Cómo cuerpos aislados, independientes de la masa y aun también independientes entre sí, podrían guardar tal regularidad en su marcha y moverse á la vez en trayectorias paralelas semejantes?

Las variaciones de celeridad de una misma mancha, considerada en su movimiento total desde el perfil oriental al occidental, atravesando el centro, prueban precisamente la uniformidad de la rotación solar. Esto es lo que vió con exactitud Fabricio y lo que va á comprenderse fácilmente.

Una mancha que nos parece describir una línea recta ó una curva elíptica sobre el disco, describe en realidad un círculo en la superficie del Sol. Si pudiéramos mirar de frente la semi-circunferencia de la trayectoria visible, la mancha, al recorrer los arcos iguales *Aa*, *ab*, *bc*, *cd*, *de*, *ef*, *fg*, *Bg* (fig. 17), nos parecería animada de su verdadera rapidez, y siendo su movimiento uniforme, también lo sería su celeridad aparente; pero vemos la ruta seguida por la mancha en pequeño, tan pronto como una línea recta *A C B* y tan

presto como una curva prolongada A D B. Cerca de los bordes la proyección del arco Aa, es Aa', hallándose considerablemente disminuido; cerca del centro el arco igual cd se proyecta en c' d' casi en su verdadera magnitud. Y sin embargo la mancha recorre al mismo tiempo

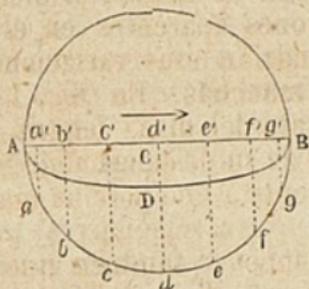


Fig. 17.—Movimiento progresivo aparente de una mancha; uniformidad real de ese movimiento.

las dos proyecciones, presentándose por tanto como animada de un movimiento mucho más rápido en el centro que en el perfil.

La relación de las celeridades aparentes, puede calcularse con bastante facilidad, resultando ser precisamente igual a la que da la geometría en la hipótesis de la uniformidad de la rotación. Todo pasa como lo exigen las reglas de la perspectiva respecto de una esfera animada de un movimiento de rotación en torno de un eje ó de dos polos de una dirección invariable.

Tenemos pues un hecho indudable. El Sol gira sobre sí mismo, y el sentido de su rotación es de derecha á izquierda para un observador que tuviera los pies sobre el plano de su ecuador, y la cabeza hacia el hemisferio norte del Sol. Tal es el sentido de los movimientos de rotación y de traslación de la Tierra y de todos los planetas; lo cual puede caracterizarse diciendo que el movimiento se produce de Occidente á Oriente (1).

(1) Al mirar al Sol, vuélvese el observador hacia el S. del horizonte, resultando que la rotación se opera para él desde el perfil del disco vuelto al Orien-

La duracion aparente del movimiento de las manchas, es el tiempo que trascurre por ejemplo entre el instante del tránsito de una mancha por el centro, y su regreso al mismo punto, para un observador situado sobre la Tierra. Ya veremos luego que esta duracion varia segun la latitud de las manchas, con referencia al ecuador solar, y asi se explica esa variacion tan notable de las cifras numéricas obtenidas por los astrónomos que las han determinado en sus distintas épocas. Cassini fijó el tiempo de la rotacion aparente en 27 dias, 12 horas 20 minutos; Lalande en 27 dias, 7 horas 57 minutos 27 segundos, y Laugier en 27 dias y 4 horas por término medio.

Pero la duracion de la rotacion real es menor que la de la rotacion aparente, y la causa de esa diferencia es debida á la traslacion de la Tierra alrededor del Sol. Con efecto, supongamos por un momento á la Tierra inmóvil; el tiempo que una misma mancha, hecha abstraccion de todo movimiento propio ó de traslacion de la mancha sobre el Sol, invirtiera en volver al centro del disco, seria evidentemente el mismo que el astro tardaria en girar sobre si mismo: si por el contrario, la Tierra describiera su órbita entera al mismo tiempo que verificara su rotacion una mancha, siendo idéntico el sentido de ambos movimientos, es evidente que el observador seguiria exactamente la mancha que le pareceria inmóvil sobre el disco solar.

La realidad se encuentra entre estas dos suposiciones extremas. Mientras efectúa el Sol una revolucion completa, avanza la Tierra en igual sentido sobre su órbita, y la mancha que estaba por ejemplo en el centro del disco al principio de la observacion, ha vuelto á ocupar la misma posicion en la superficie del Sol; por mas que no sea en el centro del disco, sino al Occidente de ese centro: para que vuelva de nuevo al centro aparente, es necesario que continúe marchando todavia cierto tiempo mientras que la Tierra misma se adelantará aun sobre su órbita. Pero vamos á ver ahora cuán fácil es

te, hácia el borde occidental. Tal es, el sentido indicado por las flechas de las figuras 21, 22 y 23, si se hacen las observaciones á la simple vista.

deducir la duracion de la rotacion real, de la duracion de la rotacion aparente.

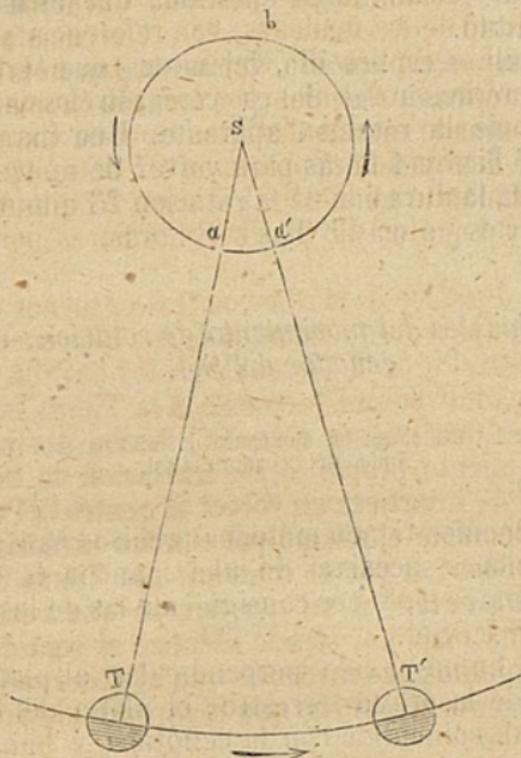


Fig. 18.—Diferencia de duracion entre la rotacion aparente y la rotacion real de una mancha solar.

Sea a (fig. 18) una mancha vista en el centro del disco por el observador situado en T , sobre la superficie de la Tierra. Al cabo de poco mas de 27 dias, la mancha ha descrito una circunferencia entera $ab a'$ y un arco $a a'$, pareciendo ocupar de nuevo el centro para e observador, que se ha adelantado en T' . Toda la dificultad estriba en saber cuántos grados, cuántos minutos y cuántos segundos tiene este arco $a a'$. Ahora bien, el arco $a a'$ tiene angularmente igual valor que el arco de

la órbita terrestre TT', y este no es otra cosa que la ruta recorrida por la Tierra en todo el tiempo de la rotación aparente del Sol. La mancha ha descrito, pues, una circunferencia entera y un número de grados igual al que mide el camino en cuestión, que es bien conocido por cierto.

Un cálculo muy sencillo demuestra que la duración real de la rotación del Sol es cerca de *dos días*, menor que la de la rotación aparente. Una mancha que invierte 27 días y 4 horas para volver de nuevo al centro, dá para la duración de la rotación 25 días y 34 céntesimas partes, ó sea 25 días y 8 horas.

§ 3.—*Elementos del movimiento de rotación.—Polos y ecuador del Sol.*

Trayectorias de las manchas; en qué época del año parecen rectilíneas.—
Nudos del ecuador del sol.

Los astrónomos tienen métodos precisos para deducir de las posiciones sucesivas de una mancha la posición del eje de rotación, y por consiguiente las de los polos y del ecuador del Sol.

Si el eje hubiese sido perpendicular al plano de la eclíptica ó de la órbita terrestre, el plano del ecuador solar hubiera coincidido con la eclíptica; y hubiésemos visto siempre describir las manchas en el disco líneas rectas paralelas á la misma eclíptica. La observación demuestra que no sucede así, puesto que las trayectorias de las manchas son segun la época, líneas curvas convexas hácia arriba ó hácia abajo, ó bien líneas rectas no paralelas á la eclíptica.

Segun Carrington, el ecuador del Sol se halla inclinado $7^{\circ} 15'$ sobre el plano de la órbita terrestre, de suerte que la línea de los polos forma con el mismo plano un ángulo de $82^{\circ} 45'$; resultando de esto que la Tierra, en su movimiento anual, se halla tan presto sobre el plano del ecuador solar, y entonces vemos á las manchas describir elipses, cuya concavidad mira hácia

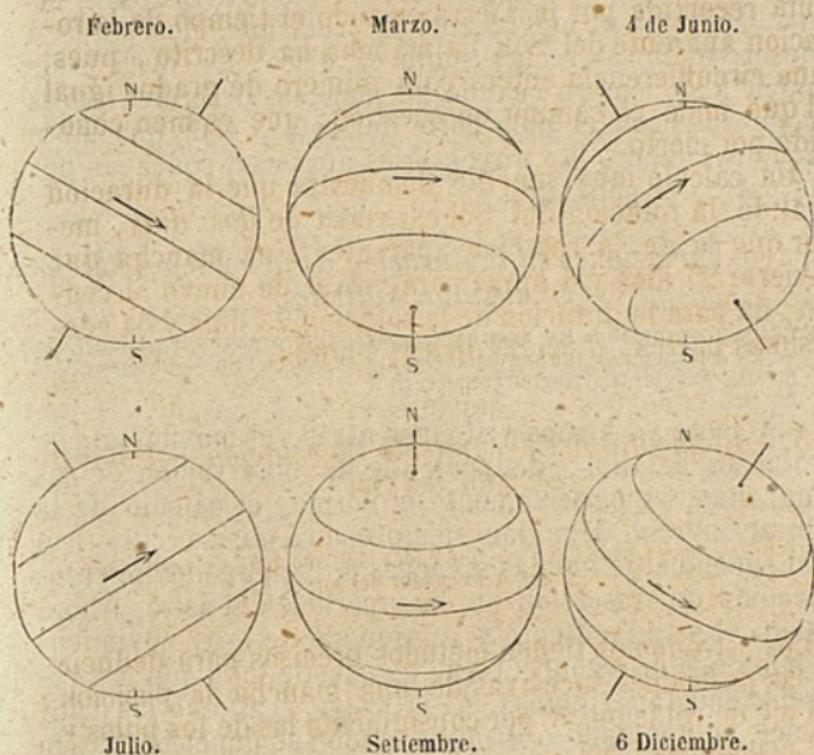


Fig. 19.—Formas de las trayectorias de las manchas sobre el disco solar en las distintas épocas del año.

el polo norte; tan presto debajo de ese mismo plano, y entonces es el polo sud el que vemos. En cuyo caso las manchas describen elipses, cuya concavidad se vuelve en sentido opuesto. En dos puntos diametralmente opuestos de su órbita se encuentra la Tierra sobre el mismo plano del ecuador del Sol, y esos puntos se llaman; uno de ellos el nudo ascendente, y el otro el nudo descendente (1). Entonces las trayectorias de las manchas toman la apariencia de líneas rectas, aunque inclinadas en sentidos contrarios. Por una parte hácia el 4 de junio, y por otra entre el 5 y 6 de diciembre, es cuando tienen lugar esos dos pasos de la Tierra por

(1) Según Carrington, la longitud del nudo ascendente del ecuador del Sol, es de $75^{\circ} 40'$ (1850). La Tierra pasa por ese punto el 4 de junio.

los nudos del ecuador del Sol, y cuando arrastradas las manchas por el movimiento de rotacion, nos parecen describir líneas rectas sobre el disco. Es pues desde junio á diciembre cuando las manchas describen líneas cóncavas hácia el polo norte del astro, y de diciembre á junio cuando las trayectorias aparecen cóncavas por la parte del polo sur.

§ 4.—*Variaciones en la duracion de la rotacion del Sol en distintas latitudes.*

Movimientos propios de las manchas solares.—Diferencias entre la duracion de las rotaciones, segun sus distancias al Ecuador del Sol.—Observaciones de MM. Laugier, Carrington y Spörer.

Si como ya hemos visto mas atrás, el movimiento de rotacion del Sol, deducido de la observacion de las manchas, es perfectamente uniforme, el cálculo de la duracion real debe dar siempre una misma cifra, con tal sin embargo que las manchas no tengan movimientos propios de traslacion en la superficie del astro. Ahora bien, el estudio atento y continuado de esos movimientos ha hecho reconocer que no sucede todo con esa regularidad tan rigurosa. Al principio se alteran las manchas, aumentando ó disminuyendo sus dimensiones, lo cual basta ya para producir las diferencias en el cálculo de sus posiciones. Pero se ha llegado á sospechar luego que las manchas, además de los cambios interiores que sufren, no conservan en la superficie del Sol una posicion invariable; que poseen por sí lo que se llama movimiento propio, distinto del movimiento general que las impulsa, con la masa entera del astro, de Occidente á Oriente.

Resulta, por multiplicadas séries de observaciones minuciosas debidas á Mr. Laugier, que no solamente diferentes manchas dan para la rotacion duraciones sensiblemente distintas, sino tambien que una misma mancha observada en diversos períodos de su movimiento, ofrece divergencias análogas, aunque menos estensas. Asi es que 29 manchas observadas, dieron una duracion de la rotacion media igual á 25 dias, 54, mientras que las duraciones extremas calculadas varian entre un máximum de 26 dias, 25, y un

mínimum de 25 días, 28: una misma mancha daba para la rotacion cifras numéricas que diferian entre sí desde 2 á 5 horas. Tal es la prueba evidente del movimiento propio de las manchas, que llegó á ser todavía mas cierta por la medida de la variacion de las distancias de dos manchas próximas, y asi es que el astrónomo que hemos citado, ha encontrado que la rapidez de traslación de una de ellas en la superficie del Sol, es de 111 metros por segundo.

Un hecho de alta importancia y que concuerda con las observaciones precedentes, se ha anunciado públicamente no mucho tiempo há por un astrónomo inglés, M. Carrington. Este observador, despues de siete años y medio de un estudio no interrumpido sobre las manchas solares, ha deducido la consecuencia de que estas no se hallan dotadas de la misma celeridad angular de rotacion; celeridad que varía con la posicion de las manchas, relativamente al ecuador solar, con su latitud heliocéntrica (1).

En general cuanto mas próxima al ecuador se halla una mancha, mayor es la rapidez de su movimiento de rotacion; y cuanto mayor es su latitud, mas lento es este movimiento. La variacion de que se trata, sigue por lo demás una ley regular y continua; y ya veremos mas adelante las consecuencias que se han sacado de este hecho para averiguar la constitucion física del Sol: hé aquí entre tanto algunos de los resultados obtenidos por M. Carrington (2),

(1) Un astrónomo alemán, Mr. Spörer, ha llegado por su parte á las mismas consecuencias.

(2) Los detalles de las observaciones de que tratamos, y todos los cálculos relativos á la posicion y á los movimientos de las manchas, se hallan consignados en una magnífica obra publicada en 1863, con este título: OBSERVATIONS OF THE SPOTS ON THE SUN, from november 9, 1853, to march 24, 1861, made at Reihil by Richard Christopher Carrington.—La Academia de ciencias ha concedido el premio Lalande en 1864 á este apreciable trabajo.

Rotacion del Sol en distintas latitudes.

Latitudes boreales.		Duracion de las rotaciones.				
	d.		d.	h.	m.	
	50°	27,445	6	27	10	41
	30°	26,207		26	9	46
	20°	25,714		25	17	8
	15°	25,382		25	9	10
	10°	25,145		25	3	29
	5°	25,029		25	0	42
Ecuador	0°	24,913		24	2	11

Latitudes australes.		Duracion de las rotaciones.				
	d.		d.	h.	m.	
	5°	24,971	—	24	23	18
	10°	25,233	—	25	5	35
	15°	25,573	—	25	13	31
	20°	25,745	—	25	17	52
	30°	26,535	—	26	12	50
	45°	28,458	—	28	11	0

Como consecuencia del movimiento de rotacion del Sol alrededor de uno de sus diámetros, la forma de su globo debe ser la de un elipsoide aplastado en los polos, ó lo que es lo mismo, hinchado ó abultado alrededor de su circunferencia ecuatorial; lo cual es un efecto necesario de la fuerza centrífuga. Sabido es que tal es la forma de la Tierra y tales son tambien las de los demás planetas Marte, Júpiter y Saturno: sin embargo, no se puede demostrar diferencia ninguna apreciable en los diámetros del disco solar, lo cual consiste segun ya hemos dicho, en la preponderancia de la gravedad sobre la fuerza centrífuga, que es débil para un movimiento de rotacion tan lento como el del Sol.

Por lo demás, no olvidemos, al hablar de la lentitud de la rotacion, que aquí se trata de la rapidez angular. La rapidez ó celeridad real de los movimientos es considerable; de modo que un punto del ecuador del Sol no recorre menos, á consecuencia de la rotacion del astro, de 2,013 metros por segundo, lo cual representa una celeridad real cuatro veces $\frac{1}{3}$ próximamente mayor que la de un punto del ecuador terrestre.

CAPITULO V.

El Sol en el mundo sideral.

§ 1.—*El Sol es una estrella.*

El Sol visto desde Neptuno, en los límites del mundo planetario.—Su magnitud aparente á la distancia de las estrellas; á la de Sirio.—La constitución química de las estrellas es semejante á la del Sol.—El Sol es una estrella de mediana magnitud.

Retiremos con el pensamiento al Sol allá á las profundidades del espacio; supongamos que se aleja cada vez mas de la Tierra. ¿Qué apariencia presentará ante nuestra vista?

Veremos disminuir poco á poco el diámetro aparente del astro sin que pierda su vivacidad el brillo intrínseco de su luz. Llegado á los últimos límites conocidos del mundo planetario, esto es, á la distancia de Neptuno, su disco no subtenderá mas que un ángulo 50 veces menor; de $52' 5'' 6$, que es su valor medio actual, se reducirá á $1' 4''$; lo cual representa todavía una dimension bastante apreciable. En cuanto á la intensidad de su luz y de su calor, si bien reducida á 1,000 veces menor, aun excederá enormemente á la de las estrellas mas brillantes, porque la luz del Sol ilumina á la Tierra como veinte y dos mil millones de estrellas iguales á la de primera magnitud Alfa del Centauro (J. Herschel).

Si continuando su marcha aun mas allá de los confines del mundo planetario que calienta y alumbrá, franqueara el Sol en este viaje el abismo que hoy le separa de la estrella mas próxima, reducido su diámetro á me-

nos de una centésima parte de segundo, resultaria completamente imperceptible, y los micrometros mas perfectos no alcanzarian á determinar sus dimensiones. A la distancia correspondiente á una paralage anual de $4''$, equivalente á 206,000 veces casi su actual distancia de la Tierra, la extincion de su luz seria tal; que se veria, á lo mas, como una estrella de primera á segunda magnitud: su brillo, disminuido en la relacion del cuadrado de 206,000 á la unidad, se veria en efecto reducido á la $42,500.000,000^a$ parte de su valor, que es poco mas ó menos la mitad del del Alfa del Centauro. Se ha evaluado el brillo de Sirio en cuatro veces como el de esta última estrella, de manera que trasportado el Sol á la distancia de las estrellas mas prócsimas, resultaria ocho veces menos brillante que Sirio.

¿Qué sucederia si se alejara todavia hasta la distancia del mismo Sirio, que es casi seis veces mas considerable que la que acabamos de suponer? La estincion de su luz seria 36 veces mayor, y en efecto, Sir John Herschel considera el esplendor intrínseco de Sirio como igual á 225 veces el del Sol.

La fotometría estelar, ó sea el estudio comparativo de las intensidades luminosas de los astros, es todavia muy imperfecta, y las cifras numéricas que acabamos de transcribir, solo alcanzan un grado de precision harto débil, aunque bastan para probar de una manera incontestable que nuestro Sol no representa en el mundo sideral otro papel que el de una simple estrella de mediana magnitud. Por otra parte, las mismas consideraciones inducen á reputar á las estrellas como manantiales luminosos propiamente dichos: á las distancias tan enormes que nos separan de las mas cercanas, no es posible que la luz con que brillan sea reflejada. Son pues soles como el nuestro, y puede muy bien decirse, si se quiere, que el Sol es una estrella, ó que las estrellas son soles.

Estas ideas que arrojan tanta luz sobre la constitucion del universo, acaban de recibir su confirmacion por medio del estudio comparativo de las luces estelares con la luz del Sol. El método conocido en física con el nombre de análisis espectral, permite clasificar los focos lumi-

nósoş segun las particularidades que ofrecen sus luces descompuestas por el prisma. Ya tendremos ocasion de ver mas adelante cuál es la significacion de esas líneas oscuras que surcan al espectro solar, y cómo revelan la presencia de cierto número de cuerpos simples, metálicos ó de otra especie, que la incandescencia reduce al estado de vapor en la atmósfera del astro: pues bien, los espectros de las estrellas, estudiados por el mismo método, nos han demostrado que hay analogía de constitucion entre la mayor parte de ellas (solo han podido analizarse hasta hoy unas sesenta de las mas brillantes) y nuestro Sol. Las rayas oscuras que surcan esos espectros indican tambien que la luz estelar, antes de difundirse en el espacio, atraviesa una atmósfera de vapor absorbente, si bien las sustancias químicas que caracterizan á cada una de ellas, varian de una á otra: el sodio y el magnesio existen en gran número de ellas, mientras que en las otras se revelan el hidrógeno, el hierro, el bismuto el mercurio, etc.

Existe indudablemente en esos mundos lejanos una variedad infinita: sus dimensiones reales, el brillo intrínseco de su luz, sus colores, la naturaleza química y el número de las sustancias de que están formados, varian; pero lo que está demostrado es la analogía que existe entre la mayor parte de ellos y nuestro mundo solar.

¿Existen tambien al rededor de cada estrella como al rededor del Sol, cuerpos semejantes á los planetas, á sus satélites ó á los cometas?

La probabilidad es grande; pero son tan considerables las distancias, que no es fácil esperar que puedan confirmarse estas conjeturas por medio de la observacion directa; lo que si es cierto que situado un observador en una de las estrellas que brillan en las profundidades del cielo y dirigiendo su vista en direccion de nuestro mundo, le veria como una simple estrella confundida entre la multitud de los puntos luminosos estelares.

§ 2.—*El Sol es una estrella de la Via lactea.*

¿Cuál es la posición del Sol en el mundo estelar?—La Via láctea, su forma, su constitucion.—El Sol es una estrella de la Via láctea; su posición en la nebulosa, segun W. Herschel.

¿Cuál es la posición del Sol en el universo sideral?

Puesto que es una de las estrellas de que se compone este universo, ¿no tiene con las otras relaciones de situación y de movimiento? no forma parte de algunos de esos grupos que descubre el telescopio, esparcidos acá y allá en profundidades, digámoslo así, infinitas?

Cierto es que un gran número de estrellas no se encuentran aisladas: entre las que aparecen sencillas á la simple vista hay millares que se manifiestan dobles y triples en los telescopios; y esto no sucede á menudo por un simple efecto óptico de la perspectiva, sino que se ha acreditado en un gran número de parejas los movimientos de revolucion de una de las componentes alrededor de la otra. Sábese además que un gran número de nubecillas celestes, á que se ha dado el nombre de *nebulosas*, no son otra cosa que masas ó aglomeraciones de estrellas que la prodigiosa inmensidad de su distancia á nuestro mundo hace aparecer condensadas en un espacio aparentemente pequeño: ¿no es el mismo Sol una estrella de un grupo semejante?

A esta pregunta, la ciencia, desde W. Herschel puede contestar por la afirmativa. Este grande astrónomo, este laborioso y profundo observador ha demostrado una verdad que habia sido además adivinada por Kant, por Lambert y por otros muchos sabios; esto es: que el Sol forma parte de esa inmensa aglomeracion estelar que rodea todo el cielo y que se llama Via lactea.

Esa gran zona, en efecto, se desarrolla sobre el fondo del cielo siguiendo con corta variacion la circunferencia de un gran círculo de la esfera estrellada, se entiende, con abstraccion de las irregularidades de su forma y de las desigualdades que presenta su anchura en los distintos puntos de su perifería; y divide el cielo en dos partes que no ofrecen la misma estension por completo,

y una de las cuales, la menor, es la que comprende los Peces y la Ballena, esto es, las constelaciones próximas al punto equinoccial de la primavera.

Así pues, resulta claramente de esta apariencia general, que la Via lactea rodea por todas partes el sitio que nuestro mundo, y por consiguiente el Sol, ocupan en el espacio.

A la simple vista, lo mismo que con el telescopio, la Via lactea no tiene en todas partes el mismo brillo: el fondo nebuloso que la constituye, representa diversos grados de intensidad, y como quiera que esta apariencia es debida á la condensacion de una multitud de estrellas diminutas, esta condensacion resulta bastante irregular en sus distintas partes. Para estudiar la riqueza de estrellas en esas partes mismas, Herschel ha empleado su método de los aforos que consistia en contar el número de estrellas visibles en el campo de su telescopio, á medida que el movimiento diurno hacia destilar por él las regiones sucesivas de la zona; en cuyo experimento empleaba instrumentos cada vez de mayor potencia, y que tenian, como dice el mismo, medios de penetracion en el espacio progresivamente mas considerables. De esta suerte reconoció que la estension de la Via lactea aumenta con la potencia amplificadora de los instrumentos, y que en muchos puntos es realmente insondable: su corta amplitud con relacion á sus otras dimensiones, demuestra que está formada por una capa de soles distribuidos en masas irregulares y comprendidos entre dos planos casi paralelos, que dan al conjunto la figura de una rueda de molino achatada y menos voluminosa en cerca de la mitad de su circunferencia.

En el centro, poco mas ó menos, de esta gigantesca aglomeracion de soles, hácia la mitad de su espesor y cerca de la region en que se verifica la separacion de la zona en dos capas ó láminas principales, es donde se encuentra, perdido en ese torbellino de mundos, nuestro pequeño mundo solar, cuyas proporciones nos parecieron al pronto tan grandes, que una segunda ojeada al universo estelar nos ha presentado como una estrella de segundo ó tercer orden, y que ahora ya resulta ser

nada mas que un átomo en el polvo luminoso de la Vía láctea.

La posicion del Sol en la zona esplica el aspecto general de todo el firmamento, demostrando además que todas las estrellas acá y allá diseminadas y alejadas en la apariencia de la gran nebulosa, forman verosimilmente parte de ella.

Y en efecto, cuando desde el punto S, en el cual nos hallamos situados (fig. 24), se dirige el rayo visual en el sentido Sf. de la longitud de la capa estelar, encuentra séries por decirlo así, indefinidas, de estrellas y de masas estelares que dan á la Vía lactea su densidad y su brillo máximo. Si por el contrario se mira en direcciones cada vez menos inclinadas, tales como Sa, el rayo visual atraviesa capas cada vez menos espesas, y la densidad debe decrecer entonces con una gran rapidez. En fin, en el sentido de Sb perpendicular al espesor de la capa, las estrellas deben aparecer dispersas, como sucede en los puntos del cielo mas alejados en apariencia de la gran zona nebulosa. «Del mismo modo dice J. Herschel en sus *Outlines of Astronomy*, que una bruma débil distribuida en la atmósfera en capas de un pequeño espesor aparecer en el horizonte como un banco nebuloso de una densidad muy pronunciada, por el simple efecto del acrecentamiento rápido del rayo visual.»

La figura 24, que representa, segun las opiniones de Herschel, un corte de la Vía lactea, perpendicular á su espesor y en sentido del diámetro mayor que pasa por el lugar del Sol, viene á facilitar mas todavía la comprension de la esplicacion que precede. Por nuestra parte, y en apoyo de esta concepcion tan racional, mencionaremos el decrecimiento rápido de esa profusion tan rica en estrellas de las regiones celestes, que desde la Vía láctea se estienden desde una y otra parte hasta los dos polos del gran círculo que sigue la zona nebulosa. Los polos de la Vía láctea se encuentran situados en esta forma: el polo Norte cerca de la Cabellera de Berenice, y el polo Sur en la constelacion de la Ballena. Cuando desde el uno ó desde el otro de esos dos puntos se avanza progresivamente hácia la Vía lactea, el número medio de

las estrellas va en aumento, al principio con lentitud, y despues, á partir de la proximidad al plano galáctico, con una rapidez muy grande, de suerte que viene á ser treinta veces casi mas considerable en este plano, que en las regiones polares de que hablamos.

Hasta el presente solo tenemos una idea general sobre la forma de la Vía lactea y sobre la posicion que ocupa el Sol en el seno de la inmensa nebulosa. Para completar lo que se sabe acerca de su estructura, es necesario agregar algunas nociones sobre sus dimensiones reales.

Comparando el brillo fotométrico de las estrellas de los diversos órdenes de magnitud con el de sus distancias probables, W. Herschel ha llegado hasta las mas asombrosas consideraciones sobre las dimensiones de la Vía láctea.

Las estrellas visibles á ojo desnudo, comprenden, como es sabido, los seis primeros órdenes de magnitud. El ilustre astrónomo de Sloúg asegura que por término medio las de sesta magnitud, esto es, las estrellas mas pequeñas, perceptibles á la simple vista, se hallan 12 veces mas distantes que las de primera magnitud: partiendo pues de esta base y calculando el alcance de penetracion de sus telescopios en el espacio, llega hasta la consecuencia de que pueden percibirse en las profundidades del cielo estrellas situadas á una distancia 2,500 veces mas considerable que la distancia média de las de primer órden. Y sin embargo, Herschel reconoció que la estension visible de la Vía láctea en algunas de sus regiones no hacia mas que aumentar con la potencia de los instrumentos, y que aun con el auxilio mismo de su gran telescopio de 40 pies, no pudo llegar á los límites de la nebulosa, que tuvo que declarar *insondable*.

Ahora recuérdese la asombrosa distancia á que nos hallamos de la estrella mas próxima á nuestro mundo, distancia tal que la luz necesita años para atravesarla; y llegaremos á esta conclusion prodigiosa, á saber: que un rayo de luz, para atravesar de un extremo al otro la estension de la Vía láctea, en la direccion de las re-

giones mas lejanas accesibles á nuestra vista, necesaria emplear mas de diez mil años. Por lo mismo, cuando aplicando el ojo al ocular de uno de los grandes instrumentos astronómicos, percibimos allá sobre el fondo oscuro del cielo los puntos luminosos mas débiles; recibimos en la retina la impresion de un movimiento ondulatorio nacido diez mil años há de la masa incandescente de soles semejantes al nuestro, y que forman parte comò è el mismo grupo sidereal.

Calculando el espesor de la Via láctea, segun su amplitud aparente, Herschel se ha convencido de que ese espesor es cerca de 80 veces mas considerable que la distancia de las estrellas de primera magnitud; de modo que la capa estelar escede mucho en tal sentido á la estension de la simple vista, sobre todo, en la direccion de sus polos se dilata tres veces mas lejos que la distancia de las últimas estrellas perceptibles á la simple vista; de todo lo cual se deduce esta consecuencia sentada ya mas atrás: que «no solamente nuestro Sol, sino todas las estrellas que podemos distinguir á la simple vista, se hallan profundamente incrustadas en la Via láctea, y constituyen una porcion integrante de ella. (Struve, *Estudios de Astronomía estelar*).

§ 5.—*Movimiento de traslacion del Sol en el espacio.*

Opinion de Lalande sobre la probabilidad de un movimiento de traslacion del Sol: enlace de este movimiento con la rotacion.—Cálculo de Lambert.—W. Herschel resuelve el problema; punto hácia el cual se dirige el sistema solar.—El movimiento universal.

Sabemos ya no solamente que el Sol es una estrella, sino ademas su situacion en el universo sidereal: forma ciertamente parte de esa inmensa aglomeracion de estrellas, de esa masa de estrellas y de nebulosas á que se ha dado el nombre de Via láctea.

Falta saber ahora si permanecemos inmóviles ó en movimiento en ese hormiguero de estrellas, y digo si permanecemos, porque la Tierra y todos los planetas, si se mueve el Sol, le siguen necesariamente en su peregrinacion, interestelar.

Ya hemos visto que el Sol tiene un movimiento propio de rotacion sobre sí mismo: pues bien, ese solo hecho hubiera bastado, á falta de la observacion directa, para hacer completamente probable el movimiento de traslacion del cual vamos á ver que se halla animado. En 1776 Lalande habia sospechado ese movimiento, y trató de demostrar su enlace necesario y lógico con el movimiento de rotacion; y hé aquí en qué términos expresaba esta opinion en *l'Encyclopedie methodique*:

«La rotacion del Sol, decia, indica un movimiento de traslacion ó una mudanza del Sol, que podrá constituir acaso un dia un fenómeno muy notable en la cosmologia. El movimiento de rotacion considerado como el efecto físico de una causa cualquiera, es producido por un impulso comunicado fuera del centro; pero una fuerza cualquiera impresa á un cuerpo y capaz de obligarle á girar en torno de su centro, no puede dejar tampoco de hacer variar de sitio el centro, ni podria concebirse una cosa sin la otra. *Es por lo tanto evidente que tiene el Sol un movimiento real en el espacio absoluto*; si bien como necesariamente arrastra en su evolucion á la Tierra, y lo mismo á todos los planetas y los cometas que se mueven en su derredor, no podemos advertir ese movimiento, á no ser que con el trascurso de los siglos se haya aproximado sensiblemente el Sol mas cerca de las estrellas que están á un lado, que de las opuestas; y entonces las distancias aparentes de las estrellas entre sí habrán aumentado en una parte y disminuido en otra, lo cual nos demostrará hácia qué lado se efectúa el movimiento de traslacion del sistema solar. Pero data hoy de tan poco tiempo la observacion y la distancia de las estrellas es tan considerable, que tardará mucho en justificarse la importancia de este movimiento de traslacion.»

Fontenelle, Bradley, Tobias Mayer y Lambert, habian entrevisto igualmente como una hipótesis probable el movimiento de traslacion del Sol, aunque sin formularla de una manera tan precisa. «Cada estrella fija, dice Lambert en sus *Lettres cosmologiques*, tiene en las llanuras del espacio su órbita trazada, y la recorre arras-

trando en pos todo su séquito de planetas y de cometas. Si se pudiera demostrar que todo cuerpo que gira sobre su eje, debe moverse igualmente en una órbita, no podría disputarse á nuestro Sol este último movimiento, dada la existencia del primero. Existe la apariencia de que el mecanismo del mundo exige el enlace de estos dos movimientos, por mas que no alcancemos distintamente la causa; pero lo cierto es que el Sol cambia de lugar.....» Hablando despues de los movimientos propios de las estrellas, añade: «Como quiera que esa traslacion aparente de las estrellas fijas depende del movimiento del Sol tanto como del suyo propio, puede acaso deducirse de ahí hácia qué region del cielo camina nuestro Sol. Pero, ¡cuánto tiempo habrá de trascurrir antes que la revolucion del Sol nos sea conocidal! ¿Nos bastaria acaso un año platónico? (26,000 años). Tal vez en ese período no alcance á recorrer mas que un signo de su zodiaco.»

En todo esto ya se ve que solo se trata de previsiones teóricas y de congeturas. Estaba reservado á W. Herschel el ser el primero que las apoyase sobre la base sólida de las observaciones, y es menester confesar que esta era una empresa mas árdua todavía que la de concebir la misma hipótesis, por muy elevada que fuese en la época en que se dió á conocer por la vez primera.

Y en efecto, ¿de qué se trataba? De separar enmedio de los movimientos aparentes ó reales, inherentes á las estrellas, el movimiento de conjunto que debe producir, para un observador terrestre la traslacion supuesta y todavía desconocida en direccion del sistema solar por el espacio. La precesion de los equinoccios, la nutacion, el movimiento anual de la Tierra alrededor del Sol, y la aberracion de la luz son otras tantas causas que modifican en un sentido ó en otro la posicion de las estrellas que en otro tiempo se suponian fijas sobre la bóveda estrellada; cada una de ellas tiene probablemente ademas un movimiento propio, como se ha acreditado en cierto número de ellas, que indica una verdadera traslacion en el espacio. Supongámonos que se ha determinado la parte que obedece á cada una de esas causas,

asignándole su verdadera magnitud: despues de prescindir de ella, ¿qué quedará? Nada si el Sol está inmóvil; pero si por el contrario, es arrastrado en su evolucion con toda su corte de planetas hácia una region determinada del cielo, quedará necesariamente por residuo de todas las demás traslaciones reales ó aparentes, un movimiento de conjunto. En la direccion de la region estelar, hácia la cual avanza, las estrellas parecerán alejarse las unas de las otras, prolongándose sus distancias angulares á medida que el sistema solar se aproxima, al paso que por la otra parte habrá un movimiento de convergencia: las estrellas estrecharán sus distancias aparentes por el sólo hecho de alejarnos cada vez mas nosotros de ellas.

Asi un viajero que desde el centro de una vasta llanura, avanza en línea recta hácia un camino que conduce á dos puntos extremos del horizonte, ve delante de él todos los objetos aproximarse al principio y separarse luego poco á poco, mientras que los que deja detrás de él, se acercan progresivamente por un efecto de la perspectiva, fácil de comprender. Por los lados los árboles parecerán huir en sentido inverso de su marcha: todos estos movimientos aparentes en sentidos diversos, tienen entre si, y con la direccion del camino y la celeridad del viajero, relaciones determinadas en términos que si no tuviera esta conciencia de su propio movimiento, la correlacion de que se trata bastaria para hacérselo conocer.

Se ve pues que si el problema planteado era teóricamente muy sencillo, la solucion por la observacion directa era por el contrario de una gran complejidad. Con su resolucion y su perseverancia ordinarias W. Herschel lo abordó, y en 1783 anunció que la cuestion quedaba resuelta, ó por lo menos ampliamente bosquejada: habia deducido del exámen de los movimientos propios de un reducido número de estrellas, que el Sol marcha en direccion de la estrella λ de la constelacion de Hércules en un punto del cielo que en esa época marcaba 257° de ascension recta y 25° de declinacion boreal.

Cincuenta años mas tarde Argelander (1) fijaba sobre

(1) Astrónomo prusiano contemporáneo.

nuevos datos mas numerosos y precisos, la determinacion del punto de convergencia. Despues vinieron Bravais, Otto, Struve, Gauss y Galloway, cuyas investigaciones no hicieron mas que confirmar las de Herschel y de Argelander. Los cálculos combinados de Struve y de Argelander dan al punto en cuestion la posicion siguiente en la época de 1840:

Ascension recta. . . . 259° 55',4
 Declinacion boreal. . . . 54° 35',6

Struve consiguió ademas determinar la rapidez del movimiento de traslacion. Visto de frente desde un punto situado á la distancia media de las estrellas de primera magnitud, el camino recorrido por el Sol en un año, tendrá un valor angular de 0'', 34, lo cual equivale á la cifra numérica 1,625, tomando por unidad el rádio medio de la órbita terrestre. En resumen:

«El movimiento del sistema solar en el espacio, se dirige hácia un punto de la bóveda celeste, situado sobre la línea recta que une las dos estrellas de tercera magnitud π y μ de Hércules á una cuarta parte de la distancia aparente de esas estrellas mismas, á partir de π . La celeridad de este movimiento es tal, que el Sol con todos los cuerpos que de él dependen, avanza anualmente en la indicada direccion 1,625 veces; el rádio de la órbita terrestre, ó sean 240.000,000 de kilómetros. Esto equivale á cerca de 660,000 kilómetros por dia, ó de 7^k, 6 por segundo; y de este modo la observacion ha legitimado una vez mas las inducciones de la teoría. La realidad del movimiento que arrastra al mundo solar por las profundidades del éter, queda probada: resta ahora acertar á conocer la naturaleza de este movimiento, si el Sol se mueve periódicamente alrededor de un centro desconocido, si forma parte de un sistema estelar particular, fragmento del gran sistema de la Vía láctea, ó si es tal vez el satélite de otro sol. Acaso el movimiento de que se halla animado, no es mas que el efecto de las perturbaciones que experimenta por parte de las masas estelares que le rodean á irregulares distancias, y que

se hallan irregularmente diseminadas en el espacio.

En la primera hipótesis, esto es, en la de un movimiento periódico, el elemento rectilíneo de la marcha seguida por el sistema solar hácia las regiones de la constelacion de Hércules, solo es una porcion muy reducida de la órbita solar, y todo lo que puede deducirse es que el foco desconocido se halla en una direccion rectangular con la del movimiento. Con el tiempo, es decir, con el trascurso de los siglos, podrá averiguarse el cambio de direccion, y de él deducirse la curvatura de la órbita, el sentido de su concavidad, teniendo en definitiva una idea del punto de convergencia de los rayos vectores y de la distancia del foco de movimiento. Al coordinar los movimientos propios del Sol y de las estrellas, como si tuvieran un foco comun, Argelander ha examinado el grado de verosimilitud que ofrece la hipótesis, de que la constelacion de Perseo sea el centro general de sus gravitaciones. Mædler se fija en Alcione, la mas brillante de las Pléyadas, como el Sol central, en cuyo alrededor gravitamos, y las mismas Pléyadas, como el grupo, cuya masa determina nuestro movimiento. Es bien evidente que estas no pasan de ser hipótesis, interesantes sin duda alguna, pues que fijan, por decirlo así, nuestras ideas, dando un punto de direccion á las investigaciones futuras; pero que en absoluto no pueden admitirse ni rechazarse, cuando faltan los elementos suficientes para decidirse con conocimiento de causa.

El descubrimiento del movimiento propio del Sol, completa las analogías que le han hecho asimilar sucesivamente á todas las demás estrellas; porque á medida que la astronomía sideral se perfecciona, el número de esos astros, cuyo movimiento es perceptible á nuestras medidas, se hace mayor, llegándose á la conclusion irresistible de que todo se mueve perpétuamente en el universo, y que ninguno de sus puntos se halla en un reposo absoluto: solo la inmensidad de las distancias da una fijeza aparente á esa multitud de cuerpos celestes que brillan por sí mismos con fulgor bastante para que su luz llegue hasta nosotros. Solo que han transcurrido años, millares, millones de años desde la época en que

las vibraciones que agitan su sustancia, han alterado las primeras capas del eter que nos circunda, habiéndose operado en realidad hace mucho tiempo los movimientos que ahora presenciarnos.

Con respecto á la ruta que seguimos en el espacio, es probable que no la conozcamos jamás de una manera absoluta, pudiéndose decir otro tanto de todos los demás cuerpos del mundo solar. La Luna circula en torno de la Tierra, pero la elipse que describe solo nos da un movimiento relativo, porque al mismo tiempo gira la Tierra alrededor del Sol, y supuesto este inmóvil, resulta entonces que nuestro satélite describe una curva con inflexiones variadas, una especie de cicloide que aun complican las perturbaciones planetarias. Pero puesto que el Sol se mueve, la misma curva de la órbita lunar es atraída en este movimiento, y su forma real se complica de nuevo en el espacio. ¿Quién sabe dónde se detiene esa intrincada complicacion de curvas, esa combinacion de órbitas, de las cuales la última conocida no es sin duda mas que aparente? El Sol se encuentra en la Vía láctea, que parece ser una aglomeracion de sistemas de mundos, y es probable que forme parte de uno de esos sistemas particulares; pero el conjunto de los astros que lo constituyen, es solicitado por las gravitaciones de todos los demás, resultando sin duda un movimiento total acaso en el plano principal de la gran nebulosa. La misma Vía láctea con sus millones de estrellas, ¿qué es en el universo visible sino un archipiélago en el Océano? Pero un archipiélago en marcha, que navega por las profundidades infinitas, como todas las demás vías lácteas, cuya existencia han señalado los telescopios. ¿Cuando el pensamiento penetra en esos abismos, experimenta vértigos y pierde pie con la ciencia misma que ha sabido abrirle esas perspectivas en lo infinito del tiempo y del espacio!

CAPITULO VI.

Constitucion fisica y química del Sol.

§ 1.—*Opiniones antiguas sobre la naturaleza del Sol.*

Dimensiones y naturaleza física del Sol, según los antiguos: Anaxágoras y Eudoxio de Cnido.—Primeras hipótesis producidas por el descubrimiento de las manchas solares.

Los antiguos no tenían ni podían tener más que ideas muy vagas acerca de la naturaleza del Sol, esto es, sobre lo que se llama hoy su constitución física: la duda en que, como ya veremos, están todavía en este punto los astrónomos modernos después de tantas investigaciones y descubrimientos interesantes, justifica suficientemente el cargo de ignorancia que podría tenerse la tentación de dirigirles. A falta de medios de observación exactos, solo podían aventurar conjeturas, naturalmente muy erróneas, sobre la distancia y dimensiones del globo de fuego, que suponían ser un satélite de la Tierra; de modo que, según Anaxágoras, el Sol no era apenas mayor que el Peloponeso.

Un siglo después Eudoxio de Cnido calculaba su diámetro, como equivalente á nueve veces el de la Luna; apreciación que se aproximaba más á la verdad, si es que tenía el astrónomo griego sobre las verdaderas dimensiones de la Luna, ideas más positivas que respecto á las del Sol.

Si hemos de creer á Cleomedes, que, como los pitagóricos, colocaba al Sol inmóvil en el centro del mundo, los filósofos epicúreos de su siglo (el de Augusto) solo atribuían al astro sus dimensiones aparentes, lo cual

prueba por su parte una ignorancia de la geometría, muy inconcebible tres siglos despues de Arquímedes.

Por lo demas, mientras que la verdadera distancia del Sol fué desconocida, solo pudieron aventurarse conjeturas sobre su volúmen, sucediendo lo mismo con mucha mas razon con respecto á su naturaleza física. Los epítetos de *antorcha del mundo* (lucerna mundi), de *vidente universal* (omnia intuens), de *dios visible* (visibilis deus) y en fin de *espíritu, gobernador del mundo*, (mens, rector mundi) són otros tantos testimonios de admiracion ó de adoracion religiosa, y en ningun modo de opiniones astronómicas. La idea de que el Sol es fuego puro y el principio mismo del calor y de la luz, enlazábase naturalmente con la de la incorruptibilidad de los cielos y de todos los astros que parecen como incrustados en las diversas esferas imaginadas por los antiguos astrónomos y teósofos. Asi es que cuando Anaxágoras tuvo el atrevimiento de enseñar que el Sol era una masa de materia inflamada, fué acusado de impiedad y condenado al destierro, debiendo á la influencia de Pericles, su amigo y discípulo, la suerte de librarse del último suplicio.

No debemos por lo demas estrañar ni los errores de una época tan lejana, cuando veinte y cuatro siglos mas tarde y tres con posterioridad á la inauguracion del método de observacion esperimental, tantas ideas falsas predominan aun en la inmensa mayoría del público; ni tampoco las persecuciones que los novadores esperimentaron entonces, cuando aun hoy mismo no es siempre prudente espresar en alta voz opiniones contrarias á las predominantes sobre determinados puntos que solo se relacionan con la filosofía y con la ciencia: sorprendámonos mas bien al ver, aunque en forma de conjeturas, emitirse hipótesis que solo podia demostrar una ciencia muy avanzada.

Una de esas hipótesis es la inmovilidad del Sol en el centro del mundo planetario, y fué propuesta por la escuela de Pitágoras. Cinco siglos antes de la era vulgar, Arquelaos, discípulo de Anaxágoras, sostenia que el Sol era una estrella que escedia en magnitud á todas las de-

más. Heraclides, que creía en la rotacion de la Tierra y algunos otros filósofos de la escuela de Alejandria, enseñaban, segun Plutarco, que cada estrella constituia un mundo allá en las profundidades de los cielos, rodeado como el nuestro de una tierra, y de planetas. Estos filósofos se adelantaban de este modo á Kepler, que en sus atrevidas hipótesis sobre la constitucion del universo, mas de una vez se adelantó á la observacion ó á la demostracion rigurosa. He aqui lo que decia efectivamente en su *Epítome*:

«Es posible que el Sol no sea mas que una estrella fija, mas brillante á nuestros ojos solamente por su proximidad, y que las demas estrellas sean igualmente soles rodeados de mundos planetarios. (Arago, *Astronom. pop.* II, 162.)»

Efectivamente, ya hemos visto antes que la astronomía moderna ha asimilado completamente el Sol á las estrellas, y que las estrellas son otros tantos soles que tienen puntos de semejanza con el nuestro, y analogías que permiten considerarlas como astros de igual naturaleza.

La invencion de los anteojos y el descubrimiento de las manchas solares á principios del siglo XVII, han hecho pasar bruscamente el problema de la naturaleza física del Sol, del dominio de la pura hipótesis ó de la imaginacion, al de la hipótesis científica, es decir, de la hipótesis basada en hechos é imaginada con el objeto de obtener su esplicacion, de acuerdo con los preceptos conocidos de los fenómenos similares. Antes de entrar en detalles que facilitarán la comprension de las diversas teorías propuestas, vamos á citar una opinion singular que nos probará que los hechos no bastan á contener la imaginacion en la pendiente del absurdo: esta opinion data de fines del siglo XVIII; y no seria difícil darle una gran comitiva reuniendo todas las ideas ridiculas é insensatas que se han espuesto y aun se esponen todavía en nuestro siglo sobre el mismo punto ó sobre otros análogos. Nos permitiremos trasladar el hecho de que se trata de la revista inglesa *The Reader*.

«De todas cuantas teorías estrañas se han inventado

sobre la naturaleza del Sol, la mas estravagante es sin contradiccion la que contiene un «Tratado sobre la ciencia sublime de la heliografía, donde se demuestra con una evidencia satisfactoria que la grande esfera luminosa, el Sol, no es otra cosa que una masa de hielo;» por Carlos Palmer, gent. Lóndres, 1798. El sol es un cuerpo frio, dice el autor, pues que la temperatura decrece á medida que nos aproximamos á él. Ademas, un lente convexo de vidrio tiene la propiedad de reunir en un foco todos los rayos que caen sobre él; pues bien, un lente de hielo produce el mismo efecto. Por lo mismo cree que el Sol es una enorme masa convexa de hielo que recibe los rayos de luz y de calor procedentes del Todopoderoso mismo, reuniéndolos en un foco sobre la Tierra.»

§ 2.—*Estudio de la superficie del globo solar.*

Las manchas del Sol; aspecto general.—*Núcleos* y penumbras.—Manchas brillantes ó *fáculas*.—Formas y dimensiones de las manchas; manchas perceptibles á la simple vista.

Copérnico y Kepler, al establecer sobre sus verdaderas bases la geometría del cielo, abrieron el camino á una concepcion mas elevada de los movimientos de los astros, facilitando la mecánica celeste; de la cual fueron fundadores Huygens, Galileo y Newton. La astronomía matemática fué de este modo creada.

Restaba aun otro ramo de la ciencia adivinado únicamente ó entrevisto por los antiguos, y que no podia nacer sino con posterioridad á la invencion de un medio nuevo y potente de exploracion del cielo; es decir, el que tiene por objeto el estudio particular de los astros, de su forma, de sus dimensiones, de los detalles visibles en su superficie, y en una palabra, de su constitucion física. La aplicacion de las leyes de la óptica á la construccion de los anteojos, fue el punto de partida de este nuevo ramo de la astronomía. «Al siglo de los grandes descubrimientos realizados en la superficie de nuestro planeta, dice Humboldt, sigue inmediatamente la toma de posesion por medio del telescopio de una parte

considerable del dominio celeste: la aplicacion de un instrumento que tiene poder para penetrar en el espacio, y hasta pudiera decirse, la creacion de un nuevo órgano, evoca todo un mundo de ideas desconocidas.»

Esto es lo que sucedió cuando Fabricio, Galileo y Scheiner dirigieron hácia el disco solar el nuevo y maravilloso instrumento; y aunque en esta época era muy limitada todavía su potencia, reveló por la primera vez la existencia de las manchas, y sugirió inmediatamente las únicas hipótesis verdaderamente fecundas, las que están basadas en los hechos y en las observaciones positivas.

Los primeros anteojos de Galileo aumentaban 4 y hasta 7 veces, y el mas poderoso que construyó el ilustre filósofo, producía solamente un aumento de 52 diámetros; de modo que la superficie del disco solar podía de este modo llegar á una amplificacion desde 16 hasta 1,024 veces. Desgraciadamente no se cuidaron al pronto de adaptar al ocular vidrios negros ó coloreados, para debilitar el brillo de la luz del astro, y por eso, como ya hemos visto, solo era posible observar el astro en el extremo del horizonte por la mañana y al caer la tarde, ó bien al través de nieblas y de nubes ligeras. Esto no obstante bastó á Galileo, no solamente para observar las manchas negras, con los movimientos y alteraciones ó cambios que experimentan, sino tambien para distinguir en la superficie del Sol puntos cuyo brillo escede al de las partes próximas, manchas luminosas llamadas *fúculas*. Como quiera que estas manchas son impulsadas lo mismo que las otras, por un movimiento comun que se efectúa desde Occidente á Oriente, no fue ya posible sostener que las manchas negras fueran cuerpos independientes del Sol, hallándose de esta suerte el movimiento de rotacion irrecusablemente demostrado.

Vengamos ahora á la descripcion detallada de las manchas solares, tales como permiten observarlas los telescopios modernos de mayor potencia.

Al primer aspecto distingúense en una mancha dos tintas con bastante precision marcadas como se vé en las figuras 20 y 21.—La una consiste en uno ó en va-



Fig. 20.—Manchas del Sol, según las observaciones de sir J. Herschel.

rios núcleos que parecen negros con relacion al brillo general del disco; la otra es una tinta gris ó parduzca que rodea los núcleos, y que suele llamarse con harta impropiedad la *penumbra*. Se notan tambien, aunque raras veces, algunas manchas negras ó núcleos despro-

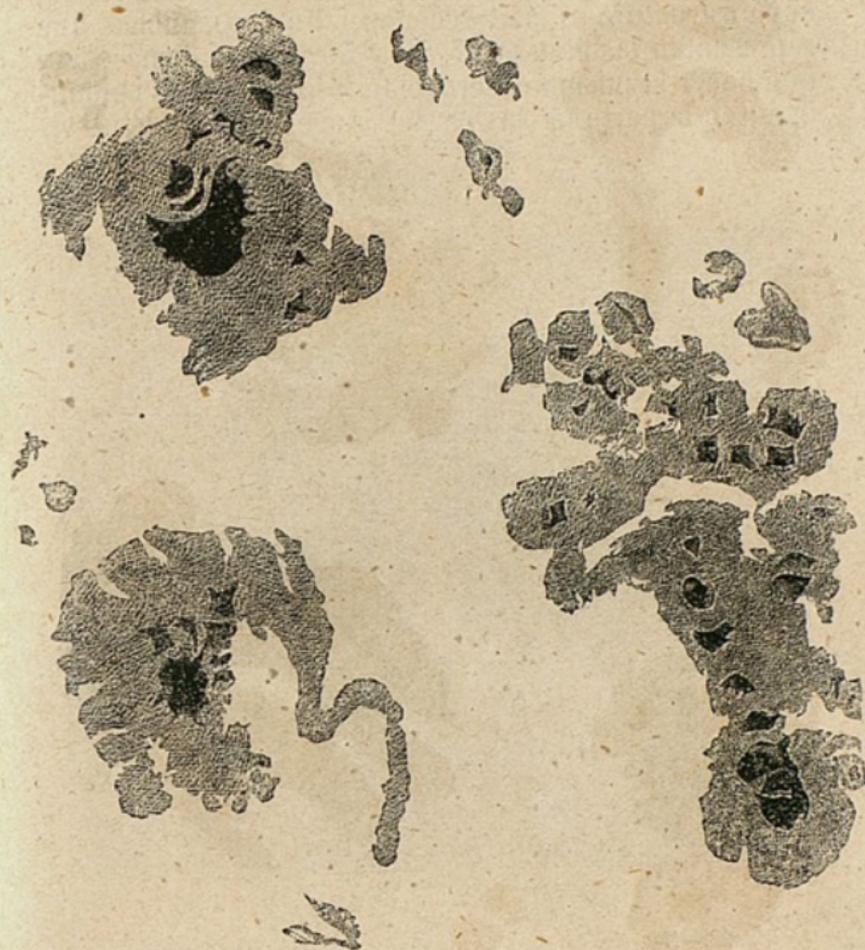


Fig. 21.—Manchas solares , según J. Herschel.

vistos de penumbra , como asimismo tambien penumbras, en cuyo interior no se perciben núcleos.

Examinados mas detalladamente están muy lejos esos núcleos de tener el mismo matiz en todas sus partes, por mas que estén siempre claramente determinados sus

contornos. Sobre un fondo sombrío percíbense como depresiones ó agujeros mas negros que dicho fondo, cuya estructura es fácil reconocer en las manchas que representan las figuras 27, 29 y 30. Por lo demas, hay que hacer la misma observacion respecto de las penumbras; en la parte de sus bordes que está en contacto vi-

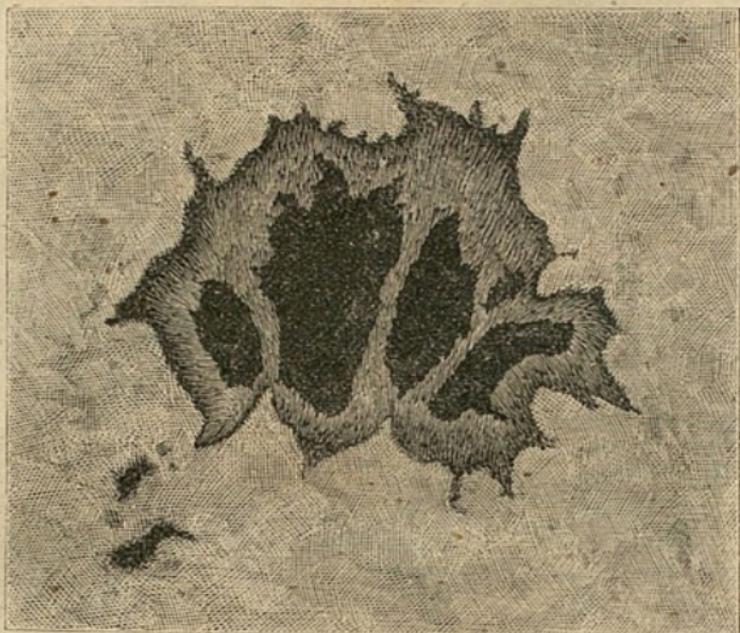


Fig. 22.—Manchas del Sol, segun Nasmyth.—Puentes luminosos.

sible con la superficie brillante del disco, es donde el color gris se presenta ordinariamente mas sombrío, sea por efecto de contraste, ó bien porque en realidad haya una verdadera diferencia en los matices, (fig. 22). Además, las penumbras se ven á menudo surcadas por líneas que descienden del borde exterior hasta el núcleo, ya rectas, ya curvas, aunque lo mas frecuentemente normales á

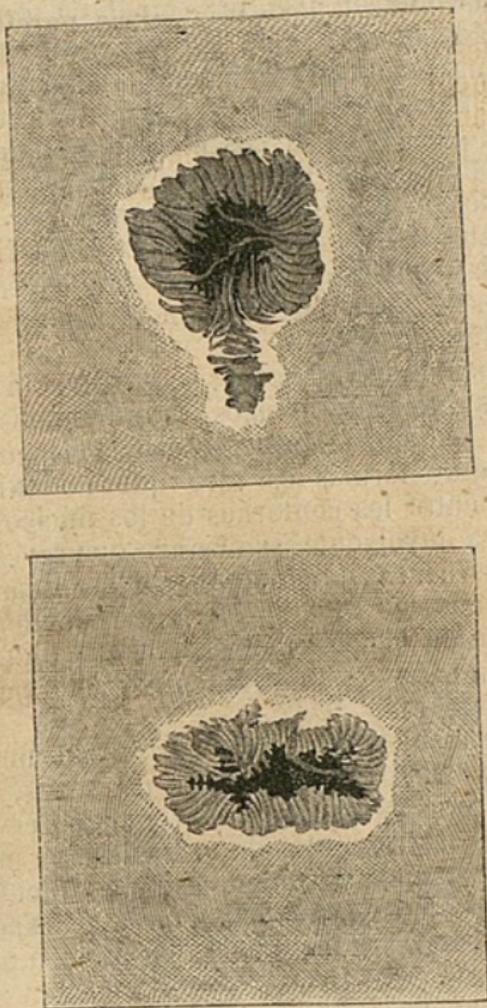


Fig. 25.—Manchas solares, según Capocci. Estrias de la penumbra.

las líneas del contorno del núcleo y de la penumbra (fig. 25); diríase que son lechos de una multitud de arroyos que han socavado los declives ó escarpas que representa la penumbra, para ir á precipitarse en el abismo que representa el núcleo. Decimos esto simplemente,

por dar una idea sin aventurar hipótesis, de que se tratará mas adelante.

La misma penumbra ya hemos dicho que envuelve á menudo muchos núcleos; pero estos aparecen separados á veces los unos de los otros por fragmentos angostos de materia parduzca ó brillante, como si fueran un solo núcleo dividido en fragmentos por esas especies de filetes transversales, á los cuales dá Herschell el nombre de *puentes luminosos* (*luminous bridges*). Las figuras 20, 21 y 22 presentan mas de un ejemplo de esa estructura.

Las formas de las manchas, segun se nota en los varios dibujos que reproducimos, segun las observaciones auténticas, son sumamente variadas. Pero cualesquiera que sean esas formas es raro que no exista cierta semejanza entre los contornos de los núcleos y los de la penumbra envolvente, semejanza que revela la identidad de las causas productoras de las unas y de las otras. Los núcleos difícilmente son redondos, y en la mayor parte de los casos sus contornos figuran líneas poligonales en ángulos entrantes cuya forma reproducen las penumbras.

Las dimensiones de las manchas no son menos variadas que sus formas, y las hay tan pequeñas, que parecen puntos apenas perceptibles, aun observadas con ayuda de los instrumentos de amplificación mas considerables, y entre ellas es donde con mas frecuencia suelen hallarse los núcleos sin penumbras, ó las penumbras sin núcleos. Las figuras 20 y 21 dan un ejemplo de una cosa y de otra.

Ciertas manchas han presentado dimensiones enormes. «Hácia mediados de 1763, dice Lalande, observé la mas grande y la mas negra que jamás habia visto, y tenia una longitud por lo menos de 4'» es decir, la 32^a parte próximamente del diámetro solar. Arago cita una mancha de 167'', casi tres veces mas larga que la de Lalande, Schröter ha medido una, cuya superficie equivalia á diez y seis veces la superficie de un círculo de igual rádio que el de la Tierra, y cuatro veces igual por consiguiente á la superficie entera de nuestro glo-

ho, midiendo por tanto un diámetro medio de 12,000 leguas. W. Herschel observó en 1779 una mancha que

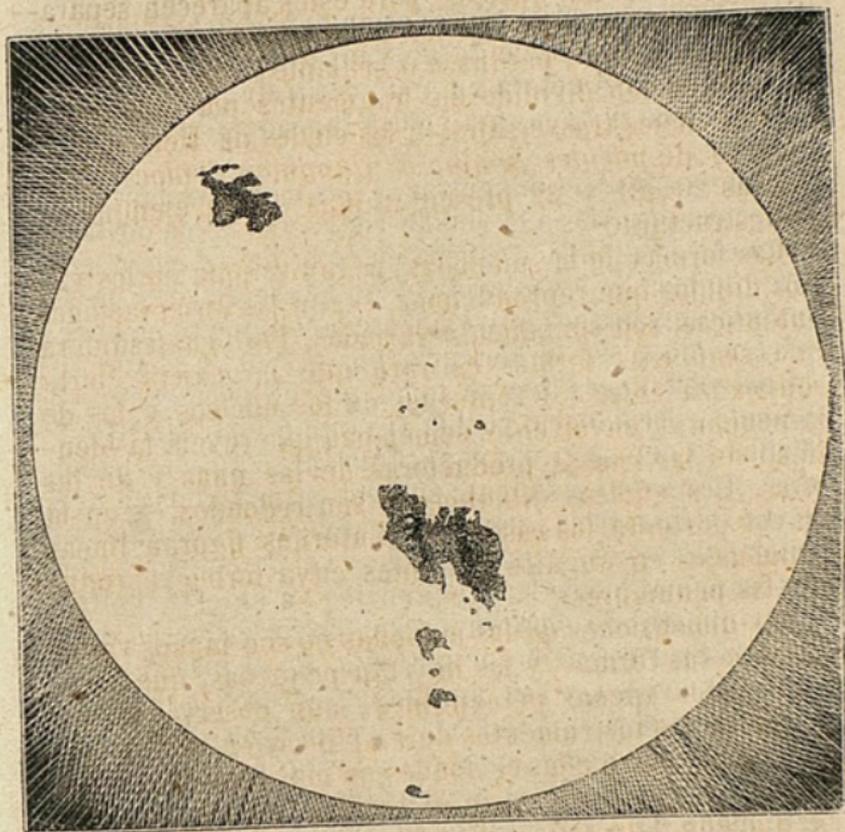


Fig. 24.—Grandes manchas solares observadas en 50 de agosto de 1859 por el capitán Davis.

tenia 17,000 leguas de diámetro, y las que dejamos aquí reproducidas, (fig. 24) segun un dibujo del capitán Davis, demuestran las dimensiones tan enormes que alcanzan á veces esta clase de accidentes en la superficie del Sol. Medida en la escala del diámetro real, la de mayor estension de estas manchas, formada verdaderamente de un doble núcleo, no tenia menos de 500,000

kilómetros en su longitud máxima: su superficie, inclusa la penumbra era de 200 millones de miriámetros cuadrados. Si, como ya veremos mas adelante, las manchas son rasgaduras profundas de la envoltura luminosa del Sol, ¡qué capacidad tan enorme deben presentar tales concavidades, especie de abismos gigantescos, en cuyo fondo la Tierra entera no aparecería sino como un simple peñasco ó como una piedra lanzada al cráter de un volcan!

Con semejantes dimensiones, las manchas deben aparecer perceptibles á la simple vista, y el único obstáculo para esta visibilidad, estriba en el brillo del disco solar, brillo que puede atenuarse, como queda dicho. Con esta clase de fenómenos háy evidentemente que relacionar el pretendido paso de Mercurio por el Sol en el año 807; la mancha negra que se tomó por el disco oscuro del planeta, permaneció visible durante 8 dias. En 840 fue Venus lo que se creyó ver así durante 91 dias, habiéndose percibido igualmente en 1096 otros signos en el Sol *signa in sole*. Pero ignorábase entonces la naturaleza de estos fenómenos, al paso que desde el descubrimiento de las manchas, no es facil engañarse ya en este punto, y gran número de observadores citan varios casos de visibilidad sin el auxilio de anteojos. En el mes de agosto de 1612 Galileo y sus amigos observaron á la simple vista hácia la salida del Sol una mancha de 4' por lo menos de diámetro, que permaneció así durante tres dias consecutivos: otra mancha perceptible tambien de este modo en 1779, es lo que movió á W. Herschel á estudiar la constitucion física del Sol. M. Schwabe que ha estudiado durante tantos años las manchas solares, las observó frecuentemente de una magnitud capaz de hacerse visibles al ojo desnudo. «Las principales, dice, aparecieron en 1828, 1829, 1831, 1836, 1837, 1838, 1839, 1847 y 1848. Yo califico de grandes manchas las que comprenden por lo menos 50'' desde cuyo limite es solamente cuando empiezan á hacerse visibles para las vistas de buen alcance, sin el auxilio del telescopio.» En 28 de junio del año último, 1868, se notó en el disco una mancha de la cual un observador de New-York,

M. W. S. Gilman, ha dado la descripción, añadiendo estas palabras: «Spot visible to naked eye,» *mancha perceptible á la simple vista*. Esta clase de observaciones todavía sería mas frecuente, si se fijase mas la atencion.

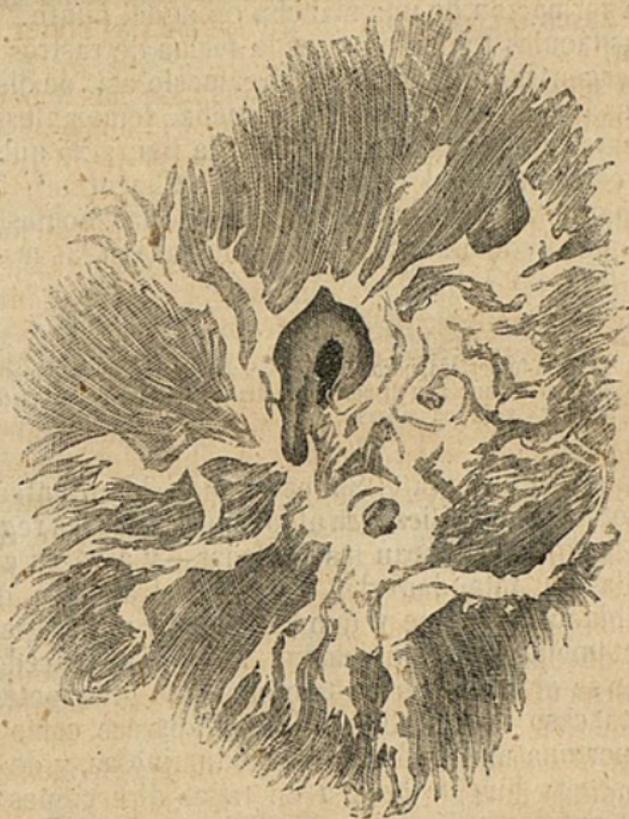


Fig. 25.—Fáculas en la proximidad de una mancha, segun J. Chacornac.

Las *fáculas* ó manchas luminosas se observaron por la primera vez, como ya digimos, por Galileo: acompañan frecuentemente á las manchas, dejándose ver en los bordes exteriores de la penumbra, de modo que pudiera creerse que no hay allí mas que un simple efecto de contraste entre el colorido sombrío de la mancha y el brillo deslumbrador de las partes del disco que se la

aproximan; pero no sucede así, puesto que además de que las fáculas no rodean de una manera uniforme la penumbra, de la cual se hallan desprovistas ciertas manchas, se ven aparecer con harta frecuencia fáculas aisladas, cuya presencia por otra parte en una region del disco solar, es casi siempre un indicio de la inmediata formacion de una mancha en aquel punto.

Las fáculas toman á veces la forma de rastros de luz convergentes que confluyen, digámoslo así, de distintos puntos hácia los bordes de la mancha, semejantes á torrenteras de una materia brillante: la figura 25 que debo á la cortesanía del observador M. Chacornac, da un ejemplo notable de esta disposicion de las fáculas, bien diferentes, como se ve, de las que rodean las manchas de la figura 23.

Estructura de la fotosfera; poros ó granulaciones de las partes luminosas del disco —Hojas de sauce; su disposicion en la proximidad de las manchas y en el interior de las penumbras.

Quando se observa el Sol con ayuda de un anteojito de una potencia amplificadora algo débil, todas las regiones del disco que no ocupan las manchas—y á veces carece de ellas la totalidad del disco—se presentan de un color blanco uniforme y dan la idea de una superficie perfectamente lisa y nivelada, lo cual no sucede así cuando se observa con un telescopio de gran potencia. En este caso la superficie brillante aparece como surcada por una multitud de arrugas luminosas, y de otras mas oscuras que se cruzan en todas direcciones y le dan la apariencia, como se ha dicho muchas veces, del punteado del fondo de un grabado. Las figuras 22, 26 y 27 dan una idea de ese aspecto del disco solar. Esos puntos mas sombríos de la superficie han recibido el nombre de *poros* ó de *lúculos*, y son perceptibles en todas las regiones del disco, mientras que las manchas y las fáculas solo aparecen, como ya veremos, en una zona limitada de cada lado del ecuador solar. Hay que exceptuar no obstante las mismas fáculas y los núcleos de las manchas cuyas tintas son casi uniformes;

pero las partes de las manchas que con sus tintas variadas constituyen las penumbras, examinadas con un instrumento de bastante amplificación, ofrecen una estruc-

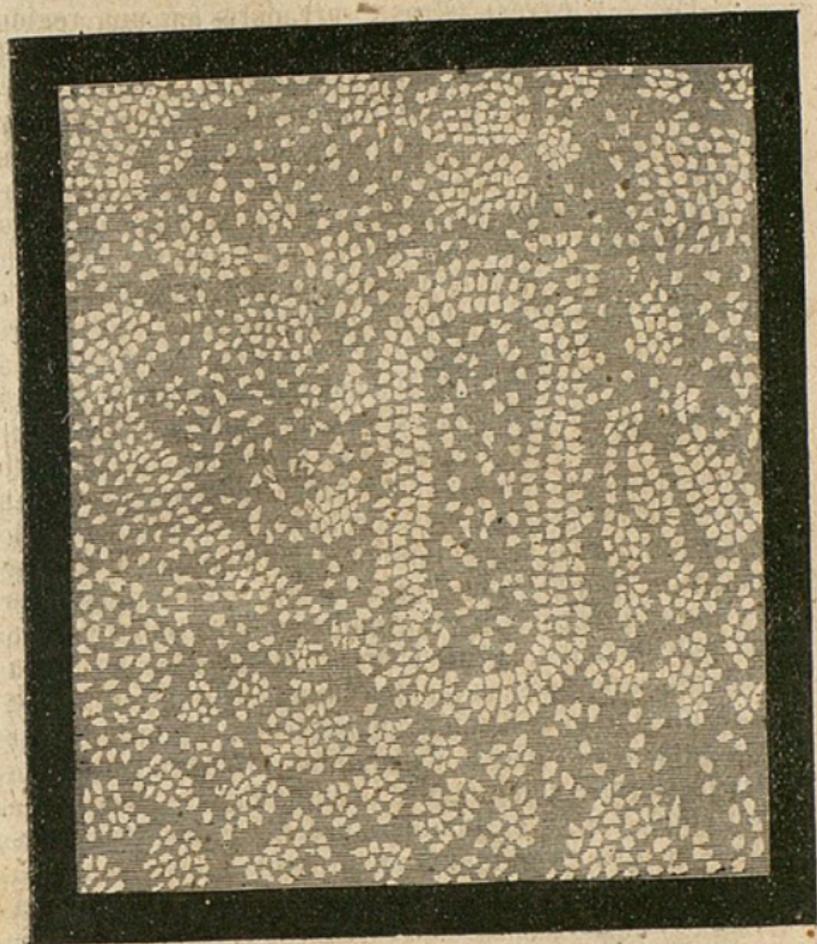


Fig. 26.—Poros ó granulaciones de la superficie del disco solar, según W. Huggins.

tura que tiene la mayor analogía con la superficie granulada del disco. La diferencia parece consistir sobre todo en que los intersticios ó los poros son mucho mas grandes, hasta el punto que las partes relativamente bri-

llantes de la penumbra parecen destacarse las unas de las otras sobre un fondo mas sombrío, y su forma prolongada las ha hecho dar por un astrónomo inglés contemporáneo, Mr. Nasmyth, la denominacion de *hojas de saúce*, (*willo-wleaves*). Otros observadores han reconocido la existencia de esos fragmentos mismos luminosos, comparandolos, Mr. Dawer á pajitas recortadas, M. Stone á granos de arroz, al paso que M. Huggins les llama simplemente *granulaciones*. Hé aquí cómo el director del Observatorio romano, el P. Secchi, describe el aspecto que presenta la superficie del disco fuera de las manchas, sobre sus bordes y en la penumbra, cuya observacion hacia con un gran telescopio refractor de Mers, provisto de un ocular diagonal. «El fondo luminoso del Sol se presenta como una verdadera red ó enrejado sembrado de una multitud de puntos blancos mas ó menos prolongados y separados por una malla mas sombría, cuyos nudos parecen agujeritos negros. Las penumbras de las manchas son mas notables: véñse sobre todo una gran cantidad de cuerpos blancos prolongados, que colocados unos junto á los otros, forman como filamentos, á semejanza de los que yo he titulado *corrientes* en mis observaciones precedentes. Sin embargo esta configuracion no es constante, y los cuerpos blancos no se hallan siempre separados en las penumbras. Es difícil encontrar un objeto con que compararlos, aunque yo los compararia con masas de algodón prolongadas, de todas las formas imaginables, confundidas á veces unas con otras, y á veces tambien aisladas y dispersas. Hay casos en que estas masas se presentan bien contornadas y detalladas, mientras que en otros están dilatadas y mal determinadas: su cabeza ó extremo se mira en general vuelta hácia el centro del núcleo, pareciéndose á toques de pincel de un matiz blanco bastante pronunciado hácia la cabeza, y mas decreciente ó débil hácia la cola ó extremo opuesto. El fondo general, sobre el cual se hallan dispersos esos cuerpos, es una luz débil que constituye la penumbra, y se prolonga en rastros bastante desvanecidos, con toda la apariencia de nuestros cirros en la atmósfera, mientras que otras partes se

ofrecen como los cúmulos: el contorno mismo de la mancha general está formado por las cabezas de esos cuerpos blancos que le dan el aspecto de una cremallera de dientes prominentes.»

La figura 27 es la reproducción de un dibujo original que debemos á la amabilidad de Mr. Nasmyth; y en él se pueden ver todos los detalles de un grupo de manchas solares: los núcleos están formados de dos tintas superpuestas. La una completamente negra, es semejante al fondo de un abismo; la otra un poco menos oscura, parece indicar menos profundidad: alrededor se extiende la penumbra cubierta, ó mas bien formada enteramente de *hojas de saúce* colocadas en series convergentes hácia los núcleos. Las unas, las mas brillantes, parecen ser la continuacion de los poros que acibillan la superficie luminosa que los circunda. Esta se asemeja á una red muy apretada de esos elementos singulares, parte de los cuales, hallando junto á la abertura un espacio donde pueden con mas libertad moverse, son impelidos hácia el interior, mientras los otros aparecen sobre él bajo la forma de puentes luminosos. Ya tendremos ocasion de ver mas adelante si estos fenómenos obtienen una esplicacion satisfactoria en las teorías que tienen por objeto la constitucion física del Sol.

Tal es en resúmen la apariencia que ofrece el disco del Sol, observado con los telescopios: una superficie luminosa de un brillo casi uniforme, aparte de la diferencia que dejamos señalada entre las regiones centrales y las de los bordes; esta superficie es la que llaman los astrónomos *fotoesfera*, cualquiera que sea la divergencia de opiniones sobre la naturaleza física de esa envoltura misma. La fotoesfera está cubierta de *poros* ó de puntos menos luminosos que los intervalos que los separan: preséntanse las manchas acá y allá; las unas formadas de un núcleo negro rodeado de la penumbra, y las otras brillantes con un fulgor mas vivo que el resto de la fotoesfera. acompañan a las manchas sombrías: estas son las *fáculas*.

Digamos ahora algunas palabras sobre la aparicion, las trasformaciones y la desaparicion de las manchas, so-

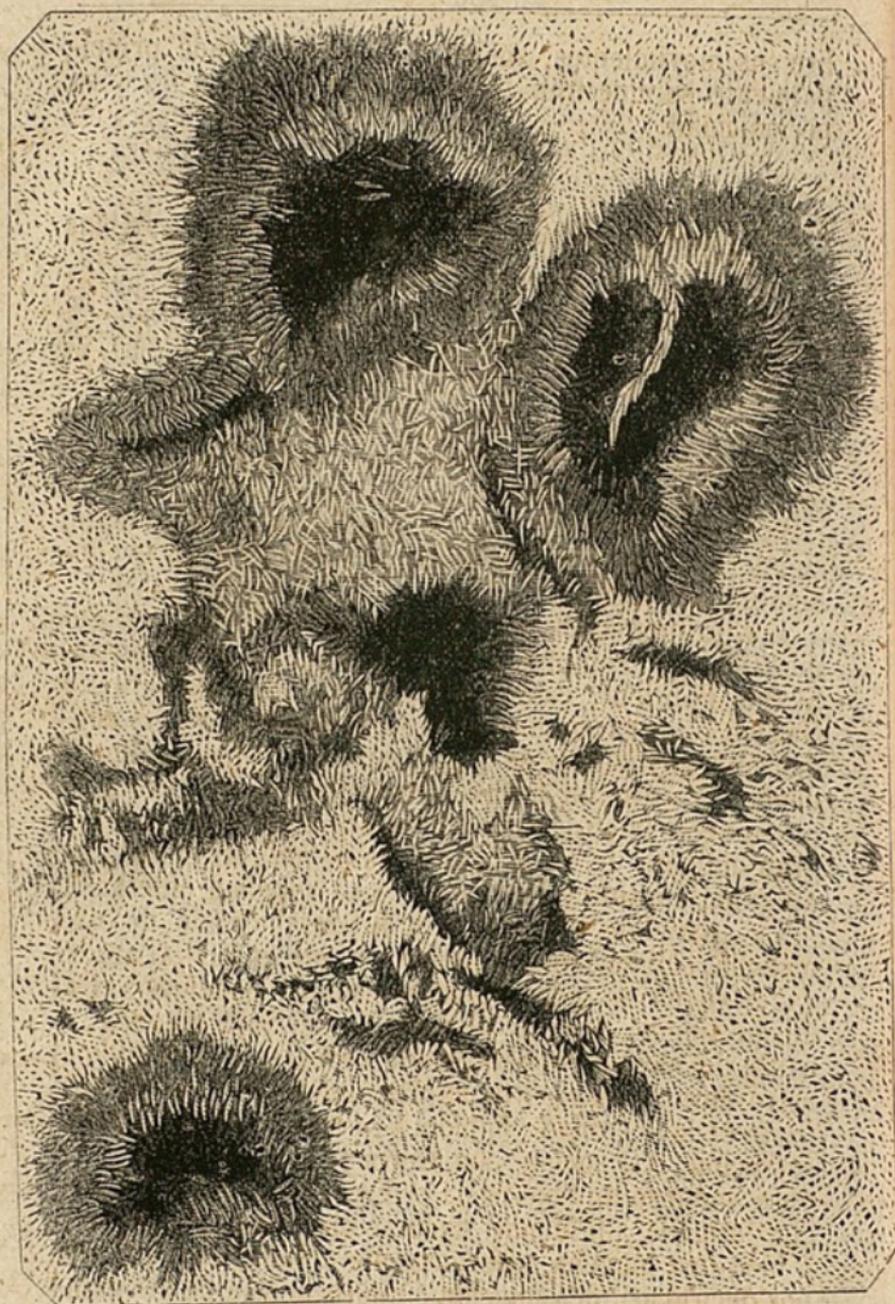


Fig. 27.—Grupos de manchas observadas y dibujadas el 5 de junio de 1864 por Nasmyth

bre sus movimientos, sobre las regiones donde principalmente se muestran, y sobre su número en fin y su periodicidad.

§ 5.—*Apariciones, movimientos y transformaciones de las manchas solares.*

Su número y periodicidad.—Relación entre dicha periodicidad, la temperatura terrestre, los movimientos de los planetas Júpiter y Venus, y las perturbaciones de la aguja imantada.

Las manchas del Sol no son, como las que se notan en la superficie de la Luna, permanentes sobre el disco; cada una de ellas aparece, se transforma y desaparece, siendo á la vez muy variable la duracion de sus evoluciones sucesivas.

Los primeros observadores de las manchas han demostrado por completo los cambios que experimentan. Segun Fabricio, cambian de celeridad y de forma:» Galileo observa «que no son permanentes, que se condensan ó se dividen, se aumentan ó se disipan.» Por lo demás, era este un hecho bien fácil de reconocer, pues que á veces la observacion presenta al disco ocupado por gran número de manchas, al paso que otras no tiene ninguna, durante el período de una rotacion entera.

La aparicion, el cambio y la desaparicion de una mancha, son fenómenos que no siempre es fácil al observador seguir en todas sus fases: nunca podemos ver al mismo tiempo los dos hemisferios del Sol; además, á causa del movimiento terrestre diurno, solo es visible el astro durante una parte del dia, mientras que por otra parte el cielo nublado impide á veces tambien toda observacion. Así sucede con frecuencia que al dirigir el observador su antejo hácia el disco, distingue una mancha formada allí donde nada se obserbava poco antes; ó bien una mancha anteriormente notada, encuentrase, por decirlo así, desconocida á consecuencia de los cambios de forma y de posicion que ha experimentado ó bien otra mancha ha desaparecido sea porque se haya

desvanecido en efecto, ó porque la rotacion solar la haya llevado al hemisferio invisible.

Ya dejamos dicho que las fáculas se ven con mas frecuencia en la proximidad y sobre el perfil de las manchas. Hay entre ellas una correlacion mas íntima, que es la que espresa así Schwabe, uno de los mas constantes observadores de las manchas solares. «Es indudable, dice, que existe una relacion muy íntima entre las manchas y la formacion de las fáculas: con harta frecuencia veo aparecer fáculas ó lúculos en el punto donde ha desaparecido una mancha, como asimismo aparecer nuevas manchas en las fáculas.

Parece que las grandes manchas no nacen espontáneamente con sus dimensiones máximas. Segun J. Chacornac, en las épocas en que el disco solar se halla mas libre de manchas, es cuando suele verse aparecer un gran número de ellas, pequeñas al principio, aisladas y sin penumbras, y que á medida que se agrandan, van rodeándose poco á poco de esa tinta gris que caracteriza la penumbra. Las mas aproximadas de esas pequeñas manchas negras están unidas entre sí por partes de penumbra, se confunden por fin en una penumbra comun y los núcleos agrandados constituyen una sola mancha de gran dimension. Parece que se precipitan estas las unas sobre las otras, y en realidad, cualquiera que sea la hipótesis que se adopte sobre la naturaleza de las manchas solares, es indudable la existencia efectiva de los movimientos de que hablamos. A los primeros observadores, Scheiner y Galileo sorprendió la rapidéz de las trasformaciones de las manchas; Derham, Wollaston y W. Herschel las han estudiado, y este último astrónomo ha podido ver perfectamente nacer las grandes manchas por medio de la aparicion y dilatacion de un pequeño punto negro que constituía el núcleo, como tambien designa su desaparicion por medio de una contraccion prévia del núcleo, que suele dividirse entonces en varios núcleos distintos. «Entonces, dice, la materia luminosa del Sol parece estenderse como un puente sobre la cavidad de la mancha.»

Arago en su *Astronomía popular* cita un pasaje de

Wollaston, donde este observador hace mérito de la repentina division de una mancha, y compara el fenómeno que ha presenciado con el que tiene lugar «cuando despues de haber arrojado un pedazo de hielo á la superficie de un estanque helado, los distintos fragmentos en que se ha subdividido el hielo, saltan, deslizándose en todas direcciones. Claro es que esta comparacion no debe tomarse á la letra, pues que Wollaston solamente se



Fig. 28.—Mancha observada por Dawes en 28 de octubre de 1859.



Fig. 29.—La misma mancha observada en el 29 de octubre.

ha propuesto dar una idea de la rapidez relativa de la trasformacion que ha experimentado la mancha.

Laugier, que habia medido las situaciones relativas de dos manchas, dedujo que una de ellas habiase alejado de la otra que se creia inmóvil, con una celeridad de 111 metros por segundo.

Segun las observaciones recientes de Chacornac, varias manchas pequeñas se precipitan sobre las grandes con una celeridad que alcanza á veces hasta á 550 metros por segundo. Poco tiempo despues de la aparicion

de un grupo de manchas, es cuando tienen lugar las más rápidas y considerables alteraciones de su forma primitiva, y esta última observación podría explicar la diferencia, más aparente que real, existente entre las manchas que experimentan variaciones rápidas, y aquellas cuya permanencia puede anunciar manchas observadas después del período del cambio ó alteración de que hablamos; así es que en julio de 1863, una gran



Fig. 30.—La misma mancha anterior en el 31 de octubre.

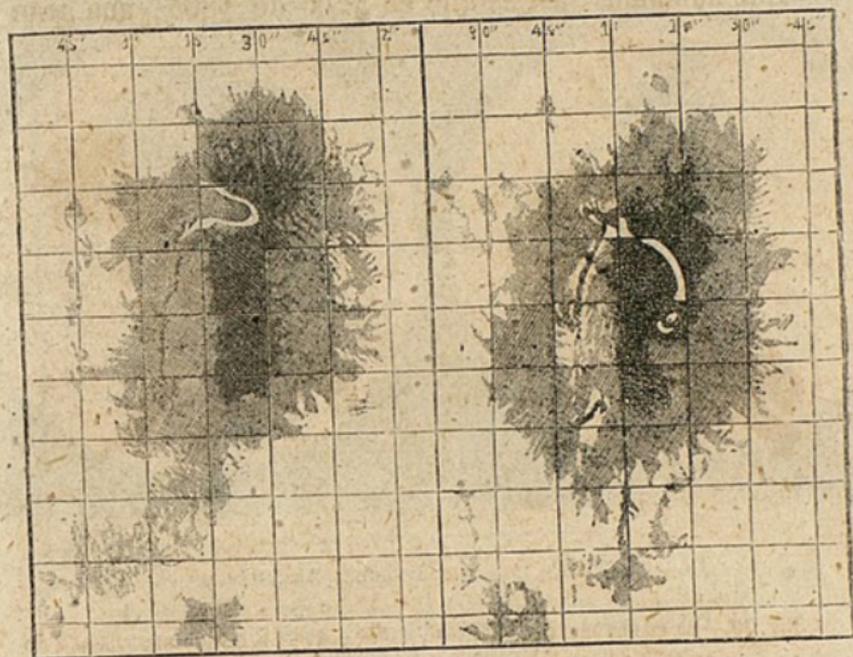


Fig. 51.—La misma mancha el 2 de noviembre.

mancha circular, conservó su forma y sus dimensiones todo el tiempo que duró su aparición, desde el 7 hasta el 20 de dicho mes, mientras que un grupo que ocupaba en esta última fecha el centro del disco, sufría cambios de una gran rapidez en su forma y dimensiones (J. Chacornac).

Las figuras 28 hasta la 35 representan manchas cuyas variaciones han podido seguirse en distintos intervalos: las primeras denotan lo que viene á ser una mancha solar observada cada dos días; y en las dos siguientes se ven así mismo los cambios sufridos con un

dia de intervalo por una mancha observada y reproducida por un astrónomo inglés, M. Howlet, en octubre de 1865. Por último, en las figuras 54 y 55, pueden apreciarse las trasformaciones que se operan en distintos grupos de manchas solares durante el intervalo en-



15 octubre 1865, 8^h 50^m

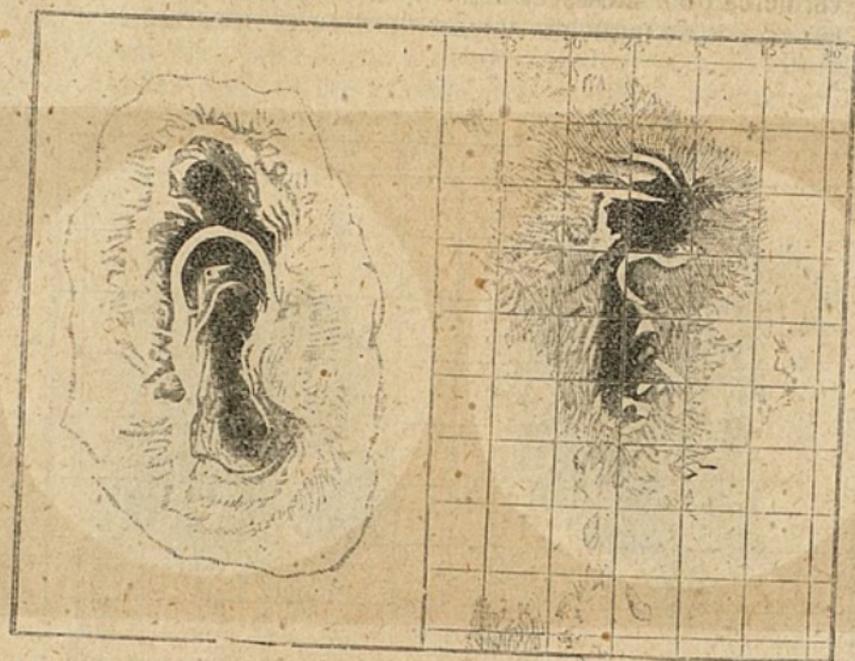
14 octubre, 9^h 0^m

Fig. 52.—Cambios ó alteraciones de una mancha; observaciones de M. Howlet.

tero de una rotación; siendo á la vez el indicio de los movimientos propios considerables que han producido un cambio en la situación respectiva de los grupos, y la prueba de las trasformaciones íntimas que se han operado también en cada uno de ellos.

Se vé, pues, que las manchas solares varían continuamente de posición y de forma: la duración de su

persistencia en la superficie del Sol, es igualmente muy variable: las unas—y éstas son ordinariamente las mas



15 octubre, 10^h

16 octubre, 8^h 50^m

Fig. 55.—La misma mancha precedente observada en el 15 y 16 de octubre por M. Chacornac y M. Howlet.

pequeñas—no hacen mas, por decirlo así, que aparecer y desaparecer, y su duracion no representa mas en todo caso que una fraccion de los 25 dias y $\frac{1}{2}$ que forman el tiempo de una rotacion. Las otras por el contrario, permanecen visibles durante muchas rotaciones sucesivas, y con mas frecuencia durante una ó dos de ellas. Casini decia en 1740: «No se ha visto jamás una que haya permanecido visible tanto tiempo como la que se observó en los meses de noviembre y diciembre de 1676, y en el de enero de 1677, que permaneció sobre el disco del Sol mas de 70 dias.» Pero la gran mancha

de 1779 permaneció visible durante 6 meses, y en 1840 Schwabe observó una que reprodujo la rotacion 8 veces, y cuya duracion, por tanto, se alargó á 200 dias, esto es, cerca de 7 meses.

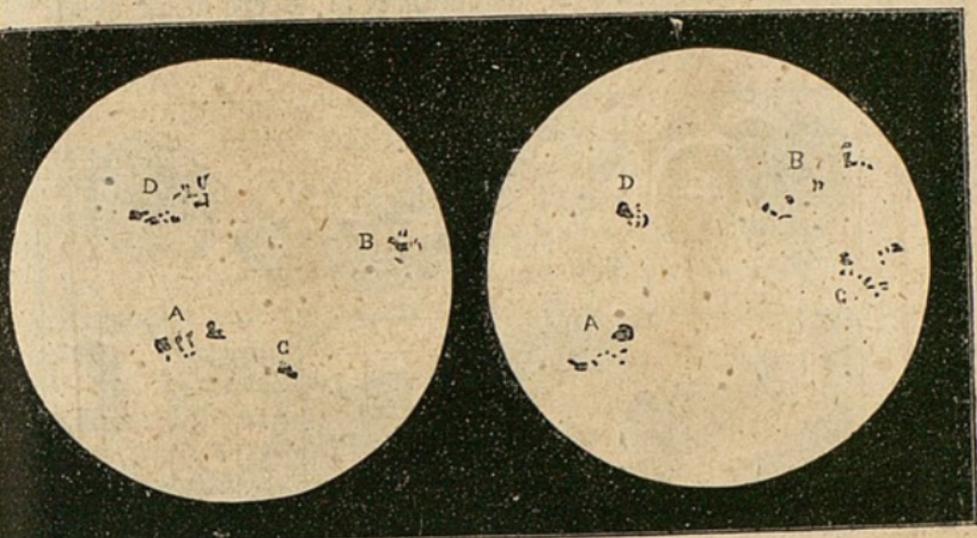


Fig. 54.—Transformaciones de grupos de manchas durante el intervalo de una rotacion, segun Pastorfi; 24 de mayo y 21 de junio de 1828.

¿Es cierto que despues de haber desaparecido algunas manchas durante un periodo mas ó menos largo, reaparecen de nuevo en el mismo sitio del disco como, creyeron Casini y Lalande? Casini tuvo por idénticas una mancha observada en mayo de 1695 y otra que apareció en el mismo punto en mayo de 1702, y Lalande asegura tambien positivamente que manchas grandes reaparecen en los mismos puntos físicos del disco solar. Segun R. C. Carrington, que ha hecho durante 7 años consecutivos tan larga série de observaciones sobre las manchas solares (1), es bastante difícil decidirse so-

(1) *Observations of the Spots on the Sun, from november 8, 1853, to march 24, 1861, made at Redhill.*

bre la identidad de las manchas que se manifiestan en las mismas regiones. Cita un considerable número de casos en que la reproducción de las mismas manchas ofrece algún punto de probabilidad, siendo el más notable el de cuatro grupos, de los cuales el primero fue visible desde el 24 al 30 de setiembre de 1857; el segundo desde 16 á 28 de octubre, el tercero desde el 13



Fig. 55.—Detalle de dos grupos A y B, con sus alteraciones durante el intervalo de una rotación.

al 28 de noviembre y el cuarto el 19 de diciembre del mismo año; pero á causa de los cambios de forma y de ligeras variaciones en las posiciones de los grupos, mira como casi imposible establecer la certidumbre de su identidad.

Lo cierto, y lo que los primeros observadores han reconocido perfectamente, es que no se presentan indistintamente las manchas en todas las regiones del disco solar: Galileo asegura que se hallan limitadas á una zona comprendida entre los 29° de una y otra parte del Ecuador. Esta zona es de 50°, según Scheiner y Hevelio, habiéndose dado en aquella época el nombre de *zona real* á la region solar que tenía el privilegio de

presentarse oscurecida por las manchas; privilegio monárquico, como el que mas.

Por lo demás, la estension de la zona se dilata á medida que las observaciones se multiplican: así Messier vió en 1777 una mancha á los 51° del Ecuador solar; Mechain y Lalande notaron otra en 1780, cuya latitud alcanzaba á los 40° ; y hácia el año 1840 Laugier observó muchas que ocupaba el 41° , al paso que un grupo descubierto por R. C. Carrington en julio de 1858, hallábase situado en el 45° de latitud austral. Los ejemplos de manchas mas distantes todavía del Ecuador, son bastante raros, y entre ellos citaremos la que observó Schwabe á 50° , otra por Peters (de Hamilton College) á $50^{\circ} 55'$, y en fin, la que describió La Hire á los 70° de latitud Norte, y que como dice, y con razon, Humboldt, «puede figurar como una de las mayores rarezas.

Por lo demás, las manchas solares están lejos de distribuirse de una manera uniforme en la zona misma de aparicion cuyos límites se acaban de marcar; si no se les ve jamás en los polos y son raras más allá del 45° de latitud, son tambien poco comunes en el mismo Ecuador y en algunos grados de cada lado de esta línea. Para dar una idea de esto mismo, citemos algunos casos. Entre las 5,290 observaciones de Carrington, con relacion á 954 grupos de manchas, solo hallamos 50 grupos en la proximidad del Ecuador; 20 entre 0° y $+4^{\circ}$ de latitud; 50 entre 0° y -4° , cortando realmente una sola el Ecuador. Los demás grupos se distribuyen sobre poco mas ó menos de este modo: unas 200 próximamente á $+10^{\circ}$ y -10° ; 640 se hallan comprendidas desde estas dos latitudes hasta los á 50° al Norte y al Sur, y mas lejos apenas podrá haber mas de 60; resultando, por consiguiente, que las manchas se manifiestan en mayor cantidad entre los 10° y 50° .

Segun John Herschel, el Ecuador actual del Sol se halla con menos frecuencia ocupado por las manchas que las zonas adyacentes de cada lado, existiendo una diferencia característica respecto á su número y sus dimensiones entre los dos hemisferios Norte y Sur, pues

las manchas boreales son mayores y en mayor número que las australes. Abundan las manchas de grandes dimensiones y de larga duración con especialidad en la zona comprendida entre 11° y 15° de latitud Norte. En-

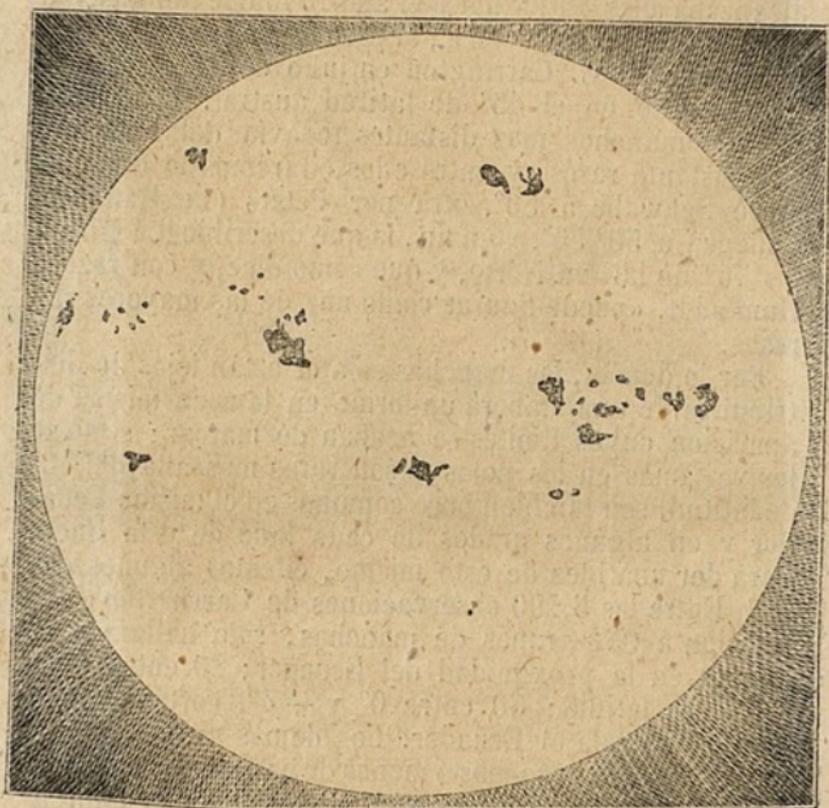


Fig. 36.—Manchas del 2 de Setiembre de 1859, segun el capitán Davis.

frente de esta opinion, que reproduce Humboldt en el *Cosmos*, bueno será poner las numerosas observaciones de Carrington que de 954 grupos de manchas, colocan 436 de ellas en el hemisferio Norte, y 518 en el hemisferio Sur; cuyo resultado contradice, al menos

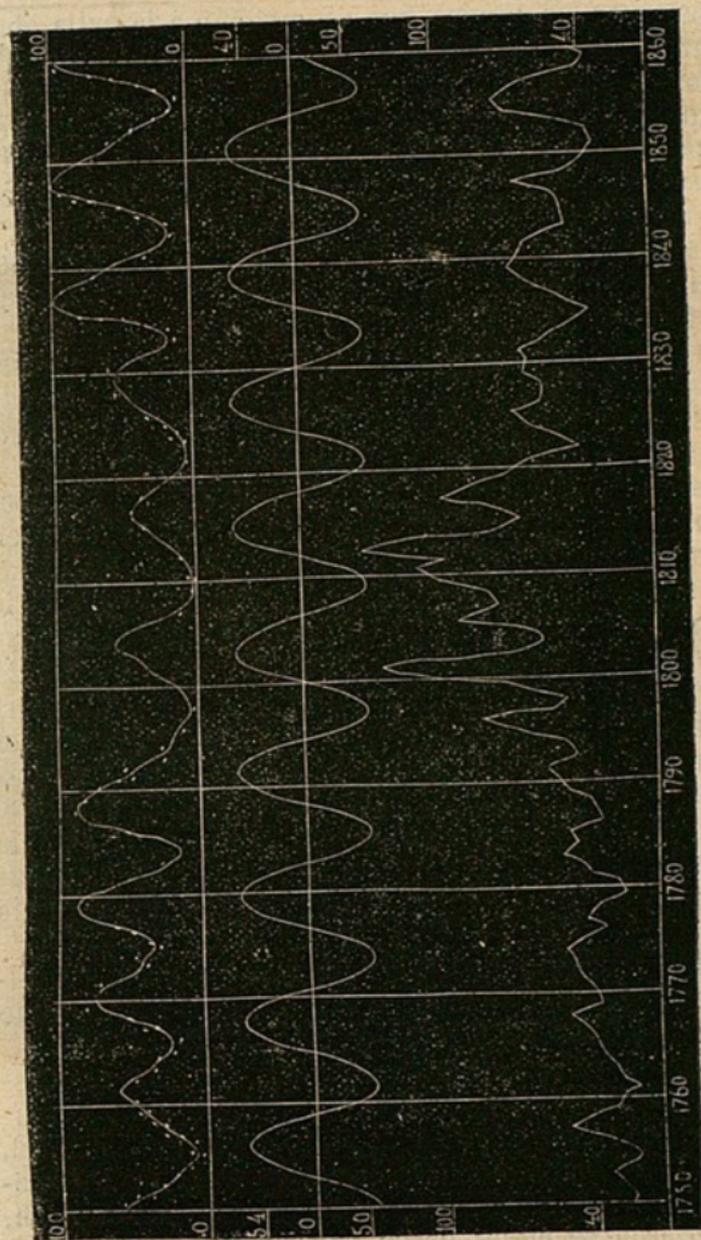


Fig. 57.—Curvas que representan: 1.º Las variaciones del número de manchas desde 1750 hasta 1860.—2.º las variaciones de las distancias desde Júpiter al Sol.—3.º Las variaciones en el precio del trigo.

bajo el punto de vista de la frecuencia ó del número, la afirmacion de los dos sabios ilustres, al paso que,

á juzgar por los dibujos que acompañan á la bella obra de Carrington, las grandes manchas parecen haber sido igualmente numerosas en cada hemisferio; pero tén-gase presente que se trata de distintas épocas: tal vez hay períodos en que las manchas son mayores en número y tamaño en un hemisferio y otros en que lo son en el opuesto.

En efecto, de las observaciones de Carrington resulta que el número de los grupos observados disminuye desde 1855 á 1856, época en que ha alcanzado su minimum: despues toma una marcha rápidamente ascendente hasta 1860 y 1861; habiéndose elevado en 1860 al número de 297, trece veces mayor que en 1856, en que solo alcanzaba á 25.

Desde el principio de las observaciones, los astrónomos han señalado las grandes diferencias que existen en la frecuencia de la aparición de las manchas; segun las épocas. Scheiner habla de 50 manchas observadas á la vez en el disco en 1711, habiendo sido igualmente numerosas desde 1700 á 1710. En 1716 se observaron 21 grupos, de los cuales 8 eran distintamente visibles á la vez. Desde 1717 á 1720, viéronse todavía en mayor número, y mas todavía en 1719, en cuya época notábase un verdadero cinturón ecuatorial de manchas en el disco, y en 1740, y en octubre de 1759 fueron todavía mas frecuentes. Schræter observó una vez 68 manchas visibles, y en otra época posterior 81. W. Herschel vió 50 en 1801, y 40 en noviembre de 1802.

La figura 56 revela cuán numerosas son á veces simultáneamente las manchas sobre el disco, presentando siempre considerables dimensiones.

Por otra parte parece que fueron bastante raras desde 1650 á 1670 y de 1676 á 1684, al paso que ningunas se vieron desde 1695 á 1700, ni desde 1711 á 1712, habiéndose percibido una sola en 1710 y en 1715. Segun la Correspondencia astronómica del baron Zach, trascurrieron 29 meses desde 1821 á 1825 sin que se notaran manchas, las cuales volvieron á reaparecer de nuevo solamente el 10 de julio del citado año 1825.

Reuniendo y comparando todos estos resultados y

agregando sus propias observaciones desde 1826 á 1850, M. Schwabe, de Dessau ha puesto fuera de duda la existencia de una periodicidad casi regular en la frecuencia de las manchas; pero es probable que el período de 10 á 11 años que resulta de sus investigaciones sufra algunas alteraciones. Los grandes trabajos de Carrington que dejamos ya mas de una vez citados, las continuas observaciones del Observatorio de Kew y las que prosigue Schwabe, concluirán de fijar definitivamente este punto tan importante de la física solar.

Para poder comprender á primera vista el máximo y el mínimo por los cuales han pasado las manchas durante mas de un siglo, dejamos ya reproducida (fig. 57), la curva que traza Carrington en su grande obra, segun sus propias investigaciones, y las del profesor Wolf, (de Zurich) para las antiguas series de observaciones. Debajo se ven otras dos curvas cuyas sinuosidades siguen con mas ó menos regularidad á las de la primera. Una de ellas indica las variaciones de la distancia desde Júpiter al Sol, pues se ha creido notar que existe una relacion entre la proximidad del planeta y las reapariciones mas frecuentes de las manchas solares. La masa relativamente considerable de Júpiter, ¿podrá alcanzar sobre los fenómenos solares una influencia comparable á la de la masa lunar sobre las mareas terrestres? Esta es una cuestion no resuelta todavía, pero que merece examinarse con detencion (1).

En la tercera curva de la figura se notan las oscilaciones que ha sufrido el precio del trigo durante el mismo intervalo de tiempo en Inglaterra; y hé aquí la causa que ha dado lugar al trazado de esta curva y á la comparacion hecha con la de la frecuencia de las manchas del Sol. W. Herschel, conducido por sus ideas teó-

(1) MM. W. de la Rue, Stewart y Lœwy, han estudiado tambien la influencia probable de los planetas Júpiter y Venus sobre la distribucion de las manchas solares en latitud. Creyeron notar que cuando uno de estos planetas se encuentra en la época de su paso por el plano del ecuador solar, determina una especie de compresion de la zona de las manchas hácia el ecuador, y que por el contrario, esta misma zona se dilata hácia los polos cuando el planeta se aleja del plano del ecuador del Sol. (V. *Monthly notices*, nov. 1866).

ricas sobre la constitucion física del Sol, habia llegado á suponer que las manchas son el principio de un aumento en la emision de calor y de luz en las regiones de la superficie donde se manifiestan. Si así fuese, la radiacion, sería mas intensa en las épocas en que son numerosas las manchas, que en las que es mínima su cifra, y la temperatura media de la Tierra, debería necesariamente resentirse de esas variaciones. Para convencerse de esto el ilustre astrónomo, que no tenia entonces á su disposicion bastantes observaciones meteorológicas, buscó otro elemento, el precio medio del trigo, como término de comparacion; y creyó notar que este precio, durante un periodo casi de dos siglos, habia alcanzado un tipo de elevacion tanto mayor, cuanto menos numerosas habian sido las manchas solares.

La cuestion no tardó luego en reproducirse. Gautier (de Ginebra), Arago y Barral, han formado unos cuadros mas completos utilizando las numerosas observaciones meteorológicas modernas, y sus resultados se hallan por cierto en contradiccion con los de Herschel: por lo demás, no es fácil resolver la cuestion si no es acumulando los elementos de comparacion. Si existe en realidad alguna conexion entre el número de las manchas del Sol y la temperatura de la Tierra, solo se podrá averiguar por la reunion de las temperaturas medias de un gran número de paises situados en todas las latitudes y en todas las partes del mundo. Como dice Arago, con mucha razon, «en estas materias hay que guardarse de generalizar, antes de contar con un gran caudal de observaciones.»

La periodicidad de las manchas ha sido tambien examinada con relacion á otro fenómeno terrestre, los movimientos de la aguja imantada. Las variaciones diurnas de este aparato están sujetas á máximum y á mínimum periódicos, cuyo período parece ser decenal y corresponder al período de las manchas solares. Resulta de las observaciones de Wolf (de Zurich) y del padre Sechi, de Sabina, que las épocas en que las manchas solares se presentan en su mayor número, son tambien las mismas en que se producen en nuestro globo las per-

turbaciones magnéticas mas considerables. Sin embargo, segun Wolf, hay tres períodos distintos, ya para las manchas, ya para las perturbaciones magnéticas, y sobre todo para las auroras boreales: uno de 11 años y 40 dias, el otro de 55 años y medio, y el tercero de 166 años. ¿Son estas relaciones fortuitas, ó la coincidencia de estos dos órdenes de fenómenos es debida, como parece mas probable, á una influencia real del Sol sobre el estado magnético de nuestro globo?

§ 4. — *¿Qué son las manchas solares?*

Distintas hipótesis sobre la constitucion física del Sol.—Teoría de Wilson y de W. Herschel.—Las manchas son cavidades.—La fotosfera es una sustancia gaseosa en estado de incandescencia.

Hasta ahora hemos estado bajo el dominio de las observaciones, esto es, de los datos positivos de la ciencia: vamos á entrar ahora en el de las conjeturas y de las hipótesis, tratando de contestar á una pregunta inevitable que á bastantes personas, sábias é ignorantes, ha podido ocurrirse ya antes que á nosotros, y que á cada uno de nuestros lectores se habrá ocurrido tambien probablemente ya mas de una vez al leer este pequeño volúmen:

¿Qué es el Sol?

Si la astronomía alcanzara á poder resolver este gran problema, seria bien fácil de resolver tambien el de la constitucion del universo entero, por lo menos bajo el punto de vista general en que la ciencia se coloca, puesto que ya hemos visto que preguntar lo que es el Sol, es lo mismo que preguntar:

¿Qué es una estrella?

Como es de suponer, todas las teorías imaginadas desde hace 250 años, que viene observándose el Sol con anteojos se hallan basadas en la esplicacion del fenómeno de las manchas. Para comprenderlas bien, era pues esencial describir detalladamente todas las particularidades de su estructura, de su generacion, de sus movimientos reales y aparentes, de su periodicidad y

de su distribución en la superficie de la inmensa esfera. Esto es lo que hemos hecho hasta aquí: pasemos ahora revista á las hipótesis de que se trata.

Probado ya bien—y con harta facilidad por cierto—que las manchas pertenecen al Sol mismo, como parte integrante de él, cada uno de los diferentes observadores presentó su dictámen.

Galileo calificó al principio las manchas como una especie de humareda de nube ó de espuma formada en la superficie del Sol y flotando en un océano de materia sutil ó fluida. Hevelio siguió la opinion del gran florentino. Otros consideraron tambien las manchas como flotantes en la superficie del Sol; pero unas veces las juzgaban materias betuminosas lanzadas por volcanes subyacentes, y otras veces las miraban como cuerpos sólidos é irregulares sumergidos en el fluido, y que aparecen en determinados periodos en la superficie. Véase ademas como Cassini II resumia en 1740 las diversas interpretaciones que á la sazón corrian, y entre las cuales no creyó prudente decidirse por ninguna.

«Los unos, dice, han creído que el Sol es un cuerpo opaco, que tiene eminencias y desigualdades semejantes poco mas ó menos á las de la Tierra y que estan cubiertas de una materia fluida y luminosa que lo rodea por todas partes; que este fluido, recargado en ciertos puntos mas que en otros por una causa relacionada con la de las mareas, deja entrever algunas veces uno de esos picachos ó peñascos que forman la apariencia de las manchas, en torno de los cuales se forma una especie de espuma que representa esas nebulosidades, (las penumbras) y que estas manchas desaparecen cuando las cubre el fluido, reapareciendo de nuevo cuando ese fluido mismo se traslada á otro punto; lo cual esplica perfectamente la causa de no vérselas reaparecer en los mismos sitios del disco del Sol despues de cierto número de revoluciones.»

Esta primera opinion es de La Hire, reputada aun en 1764 por Lalande como la mas probable. Hoy que el movimiento propio de las manchas en la superficie del Sol queda ya probado por tan numerosas

observaciones, parece supérfluo detenerse á refutar una opinion que exige forzosamente su inmovilidad, y que se halla en abierta contradiccion con las apariencias de las penumbras, mas oscuras cerca de los bordes que junto al núcleo.

Otros, continúa Cassini, han creido tambien que en el centro del Sol hay una especie de núcleo ó cuerpo opaco, envuelto enteramente en una materia fluida y luminosa; que en ese mismo cuerpo opaco hay volcanes semejantes á los del Vesubio y del Etna, que arrojan de vez en cuando materias betuminosas sobre la superficie del Sol, donde toman la apariencia de manchas, semejantes al nuevo islote que se ha formando en el Archipiélago, cerca de la isla Sentorin y el que ha aparecido despues hácia las Azores; que esa materia betuminosa está alterada por la que cubre al Sol, que la va consumiendo poco á poco y forma las nebulosidades y variaciones que se notan en las manchas, las cuales dejan de aparecer cuando queda esta materia enteramente destruida, y reaparecen de nuevo en los mismos puntos del disco del Sol, cuando esos volcanes vomitan nuevas materias.

Algunos han juzgado que el Sol estaba compuesto de una materia fluida, en la cual habia sin embargo algunos cuerpos sólidos é irregulares que por el gran movimiento de este fluido, quedaban luego al cabo de algun tiempo sumergidos en el interior del astro y reaparecian despues en la superficie, donde tomaban la apariencia de manchas, que variaban de figura siguiendo las superficies irregulares que nos presentaban esos cuerpos.

Otros en fin han supuesto que el Sol está formado de una materia sutil que se halla en una agitacion continua; que las materias heterogéneas y mas groseras que se hallan contenidas en él, se separan á consecuencia del movimiento rápido de ese fluido, precipitándose hácia la superficie del Sol, donde se reunen á semejanza, poco mas ó menos de la espuma que sobrenada en el metal fundido ó bien de otra cualquier materia hirviente; que esas espumas estan agitadas por la materia del Sol, lo cual las hace aparecer bajo la diferente configuracion

que se nota en las manchas, donde, independientemente de las reglas de la óptica, se las vé aumentar ó disminuir en su magnitud aparente, aproximarse y alejarse algun tanto las unas de las otras; y que esas manchas mismas desaparecen en fin por completo, despues de haberse disipado por causa de la agitacion continua de la materia sutil de que se compone el Sol.»

Estas esplicaciones primitivas de las manchas solares solo son interpretaciones groseras de los fenómenos, tales como fueron observados al principio: aun no se habian estudiado las manchas en todos sus detalles de movimiento y de estructura, ni se experimentaba la necesidad de buscar la razon de particularidades todavía desconocidas. Se notará que las dos primeras hipótesis suponen implícitamente que las manchas se forman siempre en las regiones mismas de la superficie, como que deben ser montañas ó escorias vomitadas por los orificios volcánicos, y por consiguiente fijas. Las otras dos hipótesis concuerdan en un punto con las primeras, pues que las manchas son ya cuerpos sólidos ya escorias; pero se diferencian en otro punto esencial, pues que esos cuerpos son móviles, pudiendo por esta razon formarse ó presentarse indistintamente en cualquiera de las regiones de la superficie del Sol.

Es inútil por lo demás detenernos mas tiempo en estos bosquejos de teoría: el lector, despues de la descripcion detallada de los fenómenos que se observan hoy en la superficie del Sol, no puede dejar de notar su principal defecto, quiero decir, de su insuficiencia.

Tratemos ahora de una teoría imaginada por el astrónomo inglés Wilson, modificada y completada por Bode, por W. Herschel y despues en nuestro siglo, adoptada y perfeccionada por un gran número de sabios. A pesar de las profundas objeciones de que ha sido recientemente objeto, cuenta aun con ilustrados partidarios: dejemos pues la historia bastante instructiva, por otra parte de las facces por donde ha pasado esta teoría, y limitémonos á esponer lo que de ella dijo Arago veinte años há en su *Astronomía popular*.

En lo que se distingue particularmente de las anterio-

ses teorías, es en que considera las manchas, no ya como cuerpos emergentes ó flotantes sobre la fotosfera, sino como aberturas ó cavidades que existen momentáneamente en la envoltura luminosa, permitiendo ver las partes interiores menos brillantes del globo solar; el cual estaria formado todo él de la manera siguiente:

«En primer lugar es en la parte interior un núcleo esférico relativamente oscuro y rodeado á cierta distancia de una primera atmósfera comparable á la atmósfera terrestre, cuando esta es el sitio de una capa continua de nubes opacas y reverberantes. Si se pone además, encima de esta primera capa una segunda atmósfera luminosa á la cual daremos el nombre de *fotosfera*, esta fotosfera, mas ó menos alejada de la atmósfera nebulosa interior, determinará con sus contornos los límites visibles del astro.»

Veamos ahora cómo se esplican por esta hipótesis las apariencias que ofrecen las manchas solares y las partes sombrías ó luminosas del disco.

Suponiendo que en la superficie del núcleo oscuro se forman de tiempo en tiempo masas gaseosas, cuya alta temperatura produce la deflagracion, ó si acaso existen en la misma superficie focos de erupciones volcánicas, los torrentes lanzados por esos focos, al rasgar sucesivamente las dos atmósferas del Sol, producirán aberturas de una estension mas ó menos considerable, y vacíos, al través de los cuales podrá verse el núcleo central.

Esas aberturas deben tener generalmente mas bien la forma de un cono irregular dilatado en su parte superior, y que permite ver en su mas estrecha base la parte sólida y oscura del Sol, mientras que alrededor se estiende una atmósfera nebulosa de color gris y de ahí se originan las manchas negras rodeadas de sus respectivas penumbras.

Pero puede suceder que la abertura practicada así en la fotosfera, tenga menor estension que la de la atmósfera nebulosa, y en tal caso solo será visible el núcleo negro, con lo cual pueden esplicarse á su vez los núcleos saltos de penumbra. Por el contrario, si la rasgadura de la primera capa gris viene á cerrarse an-

tes que la de la fotosfera, entonces no puede ser perceptible el cuerpo oscuro, y esto permite explicar con facilidad las penumbras desprovistas de núcleo. Cuando se produce en una masa gaseosa como la fotosfera una rasgadura violenta y súbita, debe existir alrededor de la abertura una condensación de la misma materia de que está formada, y por consiguiente una intensidad luminosa mas grande todavía. Tal sería el origen de las fáculas que rodean casi siempre las manchas.

Esta teoría de la constitución física del Sol, viene á explicar de una manera bastante satisfactoria los detalles de los fenómenos observados. En ella encuentran una explicación muy natural la variación de forma de las manchas, su desaparición y su movilidad misma. Comprendese maravillosamente el hecho frecuentemente acreditado de la disminución progresiva del núcleo hasta desvanecerse como un punto que deja subsistente la penumbra algun tiempo despues de su desaparición; y así es como poco á poco deben irse estrechando, para llegar á aproximarse enteramente los declives ó escarpas móviles de las dos atmósferas, á medida que la causa que les ha dado origen disminuye en energía y desaparece. Comprendese tambien cómo despues de la desaparición de una mancha, aun deben subsistir las fáculas, presentándose á la vez mas intensas, puesto que es necesario el trascurso de cierto tiempo para restablecer la perfecta homogeneidad de las capas gaseosas; y para que las materias gaseosas, precipitándose en el vacío formado primitivamente por el núcleo y la penumbra, se condensen en él naturalmente, y se hagan así mas luminosas.

Ademas de las corrientes ascendentes, cuya rapidez es tan poderosa que alcanza hasta rasgar las capas atmosféricas del Sol, comprendese que exista una agitación continua en las capas gaseosas y en la superficie de la fotosfera. Esta superficie no es lisa, sino accidentada de rugosidades, de repliegues, de elevaciones y depresiones en todos sentidos, como las olas del Océano; y de ahí las arrugas luminosas y las arrugas sombrías que

constituyen los lúculos, de ahí tambien esa multitud de poros que dan al Sol el aspecto punteado de que ya hemos tratado antes.

Todas estas esplicaciones de los fenómenos de las manchas solares estan basadas en dos hipótesis: la primera es que las manchas son escavaciones abiertas en una cubierta luminosa; y la segunda que el núcleo interior del Sol es oscuro y que la luz de la fotosfera es la de un gas en estado de incandescencia. Falta ahora saber si estas dos hipótesis pueden estar apoyadas en observaciones positivas.

En primer lugar, ¿las manchas son aberturas, cavidades, ó depresiones, si se quiere, de la fotosfera?

Para simplificar las ideas, consideremos una mancha de forma circular, cuyo fondo negro se halla rodeado de una penumbra de amplitud casi igual por todas partes, y supongamos tambien por un momento que no cambia en realidad de dimensiones ni de forma durante todo su trayecto aparente sobre el disco, comprendido desde el borde oriental al borde occidental. Unicamente en el centro es donde se presentará al observador en su verdadera forma, esto es, en la de dos círculos concéntricos, ó, si se quiere, de un círculo negro rodeado de un anillo gris. Antes de llegar al centro y despues de haberlo traspasado, la perspectiva altera necesariamente la mancha, conservando sus verdaderas dimensiones paralelas al eje de rotacion, pero reduciéndolas en el sentido de su anchura; y esto tanto mas cuanto que la mancha esté mas cerca del uuo ó del otro borde; resultando entonces un compuesto de dos óvalos concéntricos.

Si la mancha y su penumbra son dos accidentes completamente superficiales de la fotosfera tintas mas oscuras de su superficie, ¿qué debe observarse? Evidentemente esto: el anillo gris que constituye la penumbra, se presentará menos ancho por la parte donde es mayor la oblicuidad de los rayos visuales, esto es, por la parte de los bordes del Sol; y esta desigualdad de anchura será tanto mas sensible, cuanto mayor sea la proximidad de la mancha hácia un borde ó hácia el otro.

Si la mancha es un objeto saliente que resalta sobre la superficie de la fotosfera, el efecto de perspectiva que acabamos de describir, se acentuará mas todavía, y el núcleo negro, velando por la parte del borde la penumbra, la hará desaparecer, mientras que la penumbra del centro permanecerá visible.

En fin, si por el contrario, la mancha es una cavi-

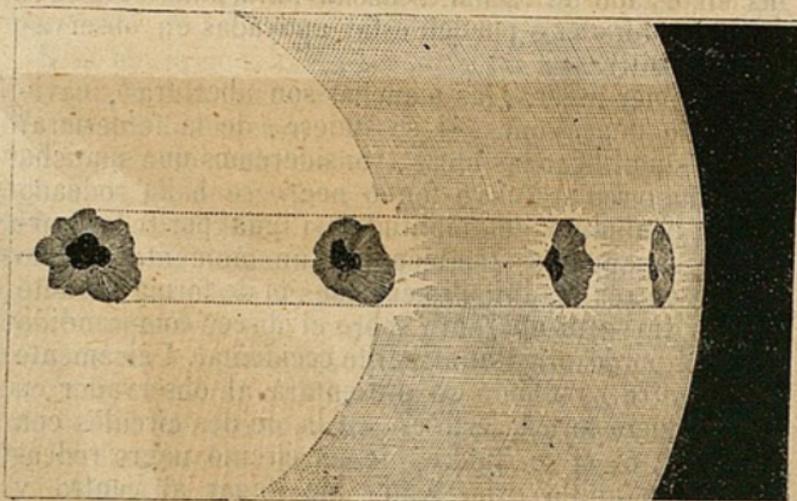


Fig. 58.—Cambio aparente en la forma de una mancha solar, durante su movimiento desde el centro al borde del Sol.

dad, cuya penumbra forma las escarpas ó declives, debe producirse un efecto inverso, el mismo que presenta la figura 58, donde puede observarse el cambio aparente de una mancha que el movimiento de rotacion lleva desde el centro al borde del Sol. La porcion de la penumbra vuelta hácia el centro, es la primera que disminuye en anchura, concluyendo en fin por desaparecer por completo; mientras que la otra parte, presentándose á la vista bajo incidencias menos oblicuas, á medida que el movimiento la impele hácia el borde, parece aumentar en dimensiones. Aproximándose todavía mas al borde, llegará un momento en que el núcleo que constituye

el fondo de la cavidad, se ocultará á la vista, y despues la misma penumbra, adelgazándose progresivamente, llegará á hacerse invisible antes de haber llegado al borde del Sol.

Tal es precisamente la apariencia que Wilson observó en noviembre de 1769, y que le sugirió la hipótesis que dejamos ya espuesta: con posterioridad numerosas observaciones y nuevos argumentos que nos parecen decisivos, han venido á confirmar este punto especial,

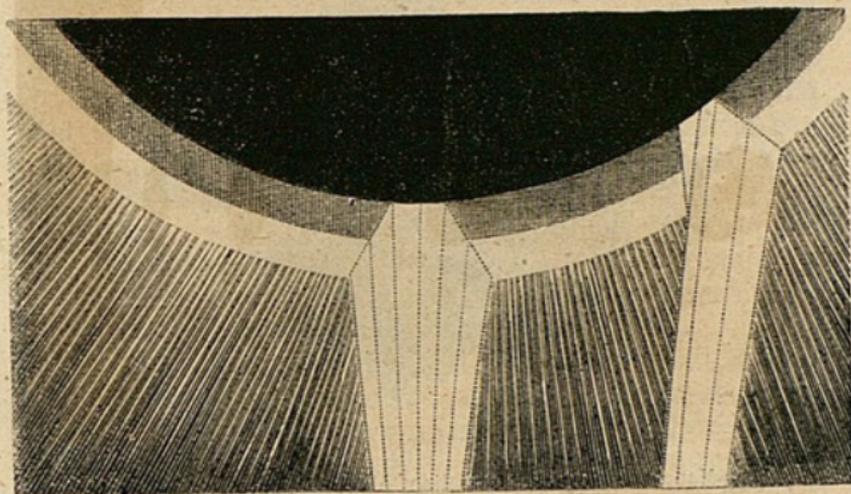


Fig. 59.—Esplicacion del cambio de forma del núcleo y de la penumbra, en la hipótesis de Wilson.

probando que las manchas son en realidad otras tantas aberturas en la fotosfera.

Al enumerar M. Faye todas estas pruebas, cita con particularidad una observacion de Galileo, que se ha reproducido despues á menudo. Percíbense en el centro del disco dos manchas próximas, separadas solamente por un estrecho intervalo luminoso. Si lá mas cercana al centro fuese un cuerpo saliente, no tardaría en velar el filete luminoso, pero no sucede así, sino que este subsiste hasta los bordes, no disminuyendo en

anchura, sino en la proporción que requiere la perspectiva.

M. Chacornac me escribía en 1865, insistiendo sobre el hecho de que en la hipótesis de las manchas en resalte, de nubes ú otros objetos, «jamás debería desaparecer una mancha antes de llegar á los bordes del

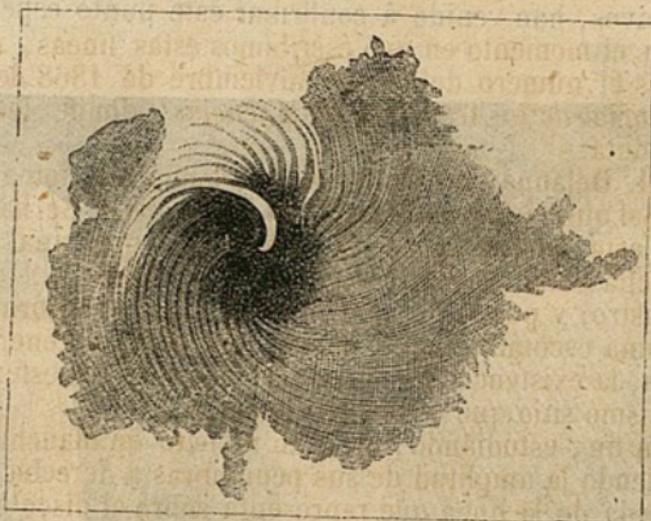


Fig. 40.—Mancha en forma de remolino, observada por Secchi el 5 de mayo de 1857.

disco;» y sin embargo esto es lo que sucede generalmente.

Admitida una vez la tesis de que las manchas solares son escavaciones ó rasgaduras de la envoltura luminosa fotosférica, no es fácil por cierto sustraerse á la ilusión que hace ver naturalmente un agujero central en una mancha negra que se destaca sobre un fondo blanco, y que en la figura 40 muestra un torbellino gigantesco, embudo ó cráter, en cuyo fondo se precipita la materia de la fotosfera. Tales ilusiones, sin embargo, no podían bastar siempre ni suplir á las observaciones. Una esperiencia muy curiosa de Warren de la Rue convierte

esta ilusion de óptica en un argumento que la transforma en una realidad incontestable. El sabio é ingenioso astrónomo tomó vistas fotográficas de una misma mancha con dos dias de intervalo, con objeto de obtener el ángulo visual necesario para la vision en relieve ó estereoscópica. Pues bien, examinadas con el estereoscopio, ambas imágenes, parecen revelar con una precision admirable la forma de embudo de la mancha fotografiada.

En el momento en que escribimos estas líneas, recibimos el número del 16 de noviembre de 1868 de las *Memorias de la Academia de Ciencias*, donde leemos esta nota:

«M. Delaunay presenta á la Academia una fotografía del Sol que le ha remitido M. W. de la Rue. Se ha hecho esta fotografía en el instante en que una gran mancha solar llegaba exactamente al borde del disco del astro; y puede notarse en un punto del contorno del Sol una escotadura que indica, sin ningun género de duda, la existencia de cierta cavidad en la fotosfera en el mismo sitio que ocupaba la mancha.

En fin, estudiando, un gran número de manchas, y midiendo la amplitud de sus penumbras á derecha é izquierda de la línea que representa sobre el disco el eje solar, los astrónomos de Kew han obtenido un resultado completo en favor de la hipótesis de que se trata.

De 603 casos diferentes, 73 no han suministrado indicacion alguna, es decir, que las penumbras de las manchas marcaban una estension igual por la parte del centro y por la del borde; de los 530 restantes, 456, ó sea el 86,04 por 100, han sido favorables á la hipótesis de Wilson, siendo mas anchas las penumbras por la parte del borde mas próximo, que por la del centro, y 74, ó 13,96 por 100, únicamente presentaban la apariencia contraria (1). Al medir tambien la anchura de las penumbras en el sentido del eje en manchas situadas á ambas partes del Ecuador, los autores de las inves-

(1) *Researches on solar physics, by Warren de la Rue, Balfour Stewart and Benjamin Loewy, 1.^a serie, 1865.*

tigaciones que acabamos de citar, han hallado que el efecto de contracción ó de perspectiva era el mismo que exige la hipótesis de Wilson: 81 manchas por 100 tenían sus penumbras mas estensas hácia los polos que por la parte del centro.

En resúmen, parece claramente probado que las manchas y sus penumbras son agujeros ó cavidades que aparecen temporalmente en la fotosfera, y este primer punto de la teoría propuesta parece incontestable. Réstanos ahora saber si el segundo admite tanta probabilidad, es decir, si el globo del Sol está formado de un núcleo oscuro, envuelto á determinadas distancias en dos capas, la una no luminosa por sí misma, pero reflejando al través de los desgarrones de la capa exterior la luz que de esta recibe; y la otra luminosa por sí misma, constituyendo la periferia visible del cuerpo del Sol y el foco de las radiaciones luminosas químicas y caloríficas.

En primer lugar ¿es la fotosfera, como lo supone la teoría, un gas elevado por su alta temperatura hasta la incandescencia? ¿Hay, por el contrario, razones para suponer que es un océano líquido, una masa en fusión ó tal vez un cuerpo sólido incandescente?

Si las manchas son realmente cavidades, es necesario desechar las dos últimas suposiciones, porque si esas cavidades pueden producirse en un líquido, parece de todo punto increíble que puedan subsistir tanto tiempo hasta el extremo de que el equilibrio de las masas que forman los declives permanezca alterado días y hasta meses enteros, y que, en una palabra, esas escavaciones tan enormes no se llenen con mas rapidez. Por último, si la fotosfera es un cuerpo sólido incandescente, es preciso reputar las manchas como otros tantos cuerpos esteriorés en relieve sobre la superficie del globo solar.

Estas no son sin embargo otra cosa mas que pruebas negativas. Arago ha dejado sentado un argumento decisivo en favor de la naturaleza gaseosa de la fotosfera. Segun el resultado de sus esperimentos, la luz que emana de un cuerpo líquido ó sólido incandescente bajo un ángulo muy reducido, ofrece constantemente señales

de polarización (1). La luz que nos llega de los bordes del Sol, debería estar, pues, parcialmente polarizada, si fuera una masa líquida ó sólida; al paso que al penetrar en el antejo polariscópico, debería descomponerse en dos haces coloreados, teñidos de dos matices complementarios. Esto no sucede así, y la observación demuestra que cualquiera que sea el ángulo de emisión y cualquiera la región del disco que se examine, la luz de la fotosfera se halla siempre en su estado natural, guardando semejanza por tanto con la que emana de una sustancia gaseosa incandescente, como, dice Arago. precisando el concepto, la que ilumina en la actualidad nuestras calles y nuestros establecimientos mercantiles.»

Este experimento, que parece decisivo en favor de la naturaleza gaseosa de la fotosfera, ha sido no obstante contradicho recientemente por otro experimento de óptica no menos importante que vamos á esponer, y en el cual se ha tratado de fundar una nueva teoría sobre la constitución física del Sol.

§ 5.—*Hipótesis contemporáneas sobre la constitución física del Sol.*

Análisis espectral de la luz solar, y teoría propuesta por MM. Kirchoff, Bunsen y Mitscherlich.—Teoría de M. Faye.

Descompuesta la luz del Sol por su tránsito al través de un prisma de sustancia refringente, produce una imágen teñida de distintos matices colocados en un órden constante y conocida con el nombre de *espectro solar*. Este espectro solar se halla además surcado de una multitud de líneas oscuras ó negras, algunas de ellas mas pronunciadas, y mas sutiles las otras, como que no suelen ser perceptibles, á no adoptarse para ello determinadas precauciones.

Toda luz producida por otro foco que no sea el Sol, da

(1) Para la comprensión del significado de las palabras *polarización*, *luz polarizada* y *luz natural*, consúltese el libro III de nuestra obra titulada: *Los fenómenos de la física*.

tambien un espectro cuando se la descompone por el prisma; pero segun sea la naturaleza del foco, los espectros obtenidos se distinguen entre sí por caractéres especiales, y los físicos los clasifican hoy en tres distintos órdenes:

Un *espectro de primer orden* forma una zona ó faja coloreada continua, sin ninguna interrupcion, producida por rayas oscuras ni por rayas brillantes. La luz que lo constituye procede de un cuerpo sólido ó líquido en estado de incandescencia, pero opaco. La cal, el hierro, la magnesia fundidos á la temperatura suficiente para llegar á ser luminosos, producen espectros de primer orden.

Un *espectro de segundo orden* se halla formado por rayas luminosas y coloreadas separadas por grandes intervalos oscuros. Proviene este espectro de focos de luz en estado gaseoso, y el número, la posicion y el color de las rayas varian segun la naturaleza química del gas: de ahí la posibilidad de estudiar químicamente los gases de una llama por las líneas que se notan en su espectro. Ultimamente, un *espectro de tercer orden* es aquel en el cual rayas negras ó sombrías interrumpen la continuidad de la banda coloreada que lo forma; en una palabra, es un espectro análogo al que produce un haz de rayos de luz solar. Ahora bien, algunos años há, dos físicos y químicos alemanes, llamados Kirchhoff y Bunsen, han explicado la causa de la produccion de líneas negras sobre la zona luminosa, probando que las líneas brillantes que constituyen el espectro de una sustancia gaseosa, se trasforman en líneas oscuras cuando se coloca detrás de la llama otro foco luminoso mas intenso, capaz de producir un espectro continuo.

Así, la luz de Drummond, producida por la incandescencia de la cal en el oxígeno, da por sí sola un espectro continuo: la llama debilísima de un mechero de gas ó de un quemador de Bunsen, en la cual se viertan algunas gotas de alcohol salado, produce por sí sola un espectro en forma de una línea amarilla correspondiente á la línea D de Fraunhofer del espectro solar, que es la raya característica del sodio. Colocando ahora esta úl-

tima llama entre el ojo del observador y la luz Drummond, se ve aparecer instantáneamente en el espectro continuo de ésta la raya negra D. Tal es el fenómeno que Kirchhoff ha titulado el *inversion del espectro de las llamas*, fenómeno cuya existencia ha comprobado en un gran número de sustancias metálicas. Un espectro de tercer orden es, pues, el que produce una luz emanada de un líquido ó de un sólido incandescente, pero que ha debido atravesar una masa gaseosa, una atmósfera de vapores absorbentes.

Generalizando estos curiosos resultados de la experiencia, los sabios físicos han deducido de todo lo dicho que las rayas negras de que está surcado el espectro solar, denotan la inversion de otras tantas líneas brillantes por la interposicion de una capa gaseosa colocada delante de la luz de la fotosfera del Sol. Esta fotosfera representa para nosotros la luz Drummond del experimento que se acaba de referir; y una atmósfera gaseosa, que segun ellos debe envolverla y contener en suspension los vapores de ciertas sustancias metálicas, es la que representa el quemador de Bunsen con las partículas de sódio.

De ahí se deriva la consecuencia sorprendente de que el estudio de las 2,000 y tantas rayas negras del espectro solar, puede servir para analizar químicamente la atmósfera del Sol, y por tanto para conocer los metales ú otros cuerpos simples que forman la materia de su globo. Por ejemplo, las 70 líneas brillantes del hierro distintas en color, en amplitud y en intensidad, coinciden bajo todos estos puntos de vista y de una manera tan precisa con las 70 líneas sombrías del Sol, que es imposible ya dudar que hay en la atmósfera solar, hierro en estado de vapor metálico. Encuéntrase tambien en el espectro un gran número de líneas que coinciden con las rayas brillantes de muchos otros metales y cuerpos simples, tales como el cobre, el zinc, el cromo, el níquel, el magnesio, el calcio, el sódio y el hidrógeno: probablemente contiene tambien el Sol cobalto, estroncio y cadmio, mientras que por el contrario no tiene oro, plata ni platino, siendo extraño por cierto que el astro, al cual con-

sagraron el oro los alquimistas, no contenga ese rey de los metales (1).

Estos resultados del análisis de los espectros de los focos luminosos han conducido á considerar al espectro solar como de tercer orden, como producto por consiguiente de un foco capaz de dar un espectro continuo y delante del cual se interpone una atmósfera gaseosa absorbente. De aquí la teoría siguiente, propuesta por Kirchhoff, para espesar la verdadera constitucion física del Sol.

«La parte visible del Sol, la que se halla limitada por los contornos del disco, y cuya superficie forma la fotosfera, es una esfera sólida ó líquida incandescente.

»Ese núcleo, cuya temperatura es muy elevada, está rodeado de una atmósfera muy densa, formada de los elementos constitutivos del globo incandescente, que la intensidad de la temperatura mantiene en el estado de vapores.»

Si esto es así, las manchas no pueden ser otra cosa que accidentes exteriores á la fotosfera en relieve sobre su superficie. ¿Cómo, pues, se esplican en la nueva teoría? De este modo.

M. Kirchhoff admite que bajo la accion de causas desconocidas, pueden producirse enfriamientos parciales en distintos puntos de la atmósfera del Sol. ¿Qué sucederá entonces? Que se formarán en esos mismos puntos precipitaciones análogas á las nubes de vapor acuoso de la atmósfera terrestre; y aglomeraciones muy densas de vapor en estado vesicular, y nubes sombrías que obstruyan ó intercepten los rayos luminosos del cuerpo solar, nos parecerán manchas sobre su disco. Una nube, una vez formada, puede considerarse como una especie de pantalla para las regiones superiores; y de ahí resulta un enfriamiento en esas regiones mismas, y la nueva formacion de una capa nebulosa mas ligera, me-

(1) Sin embargo, esta última conclusion de los análisis de Kirchhoff, es demasiado absoluta. De las investigaciones mas recientes de Mitscherlich, resulta que la presencia de determinadas sustancias en una llama puede evitar la produccion de los espectros de otras sustancias, y extinguir sus principales líneas; y así es que cuando se impregna de cloruro de cobre y de amonio la llama del cloruro de estroncio, la línea azulada de este metal desaparece.

nos opaca, y que desde la Tierra tendrá la apariencia de las penumbras que rodean las manchas. En esta hipótesis las alteraciones aparentes que sufre una mancha en su movimiento desde el borde al centro ó viceversa, esplicanse igualmente por un efecto de perspectiva, segun puede verse en la figura 41. Vista en el centro ó de frente, la mancha parecerá ocupar el fondo central de la

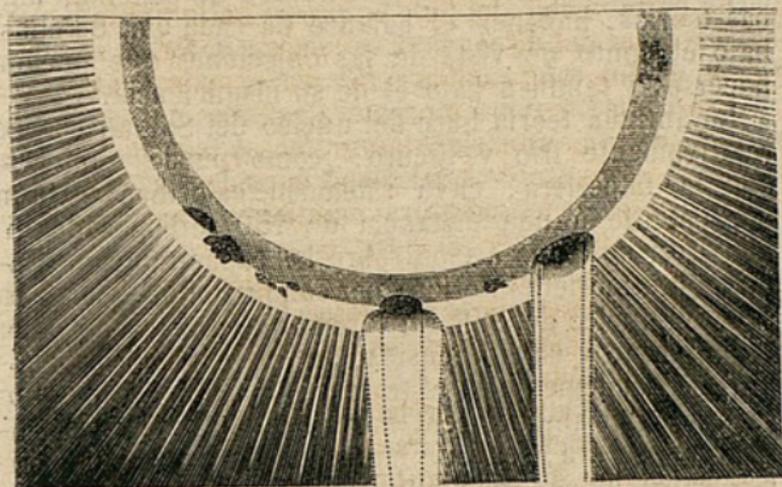


Fig. 41.—Esplicación de las manchas solares segun la hipótesis de Kirchhoff.
—Núcleo sólido ó líquido incandescente; nubes sobrepuestas.

penumbra; pero alejándose hácia el borde, la parte de la nube superior situada hácia el centro se proyectará sobre el núcleo sombrío, confundiéndose con él, al paso que la porcion de la misma nube situada hácia el borde se dilatará, dejando ver en su espesor la capa nebulosa que domina la nube negra.

Tal es la nueva teoría, en completa contradicción con la primera, la de Wilson, de Herschel y de Arago. Por una parte la observacion prueba que las manchas son aberturas de la fotosfera, mientras que M. Kirchhoff, volviendo á la primera hipótesis de Galileo, las atribuye a nubes suspendidas en la atmósfera del Sol: por otra

parte, el análisis polariscópico demuestra, según Arago, que la fotosfera es un gas incandescente, mientras que el análisis espectral de los físicos alemanes prueba que no puede ser otra cosa que un sólido ó un líquido igualmente en el estado de incandescencia. Hay una contradicción entre estas dos explicaciones, que ha vuelto á poner en cuestión de la manera más completa todo lo que concierne á la constitución física del Sol.

Antes de decir como se han tratado de conciliar ambas teorías, hagamos el balance de cada una de ellas, bajo el punto de vista de las objeciones que pueden hacerse, y también bajo el de su insuficiencia.

La antigua teoría hace del núcleo del Sol un cuerpo relativamente frío y oscuro; ¿cómo puede explicarse que la fotosfera, cuya radiación calorífica es aun tan potente á una distancia de 150 millones de kilómetros, no tenga acción sobre las capas tan inmediatas de la atmósfera interior y por conductibilidad también sobre el núcleo del Sol? En verdad que un foco de calor tan intenso, y cuya intensidad, no parece haber disminuido sensiblemente en el trascurso de millones de años separado por algunos centenares de leguas de una masa fría y oscura, sería un fenómeno poco menos que inexplicable, en el estado actual de las ciencias físicas. Según las leyes del equilibrio del calor, en un recinto dado, parece fuera de toda duda que la temperatura del foco interno debe ser por lo menos igual á la de las capas de la fotosfera.

Tampoco explica esa teoría las desigualdades que ofrecen las celeridades de rotación del Sol, según se presentan por medio de las manchas ecuatoriales ó por las de latitudes crecientes, ni tampoco explica la desigualdad en la distribución de las manchas en las dos zonas de su aparición, situadas en una y otra parte del Ecuador.

Pero la teoría nueva, preciso es decirlo, está también sujeta á objeciones, por lo menos tan graves como la anterior; si, como la primera, alcanza á explicar la escentricidad del núcleo y de la penumbra hacia los bordes del Sol, en cambio se encuentra en abierta contra-

dicción con las observaciones tan positivas como numerosas que nos demuestran la invisibilidad del núcleo antes de llegar al borde del astro: ni tampoco explica las fáculas, los poros ni las granulaciones conocidas con el nombre de hojas de sauce, ni menos, en fin, la causa de no formarse jamás las manchas en las regiones polares, mientras que tan frecuentes son en las dos zonas próximas al Ecuador.

Después de haber pesado todas estas dificultades, un astrónomo francés, M. Faye, entrando en la discusión de los hechos y de las teorías opuestas, ha llegado á proponer en estos últimos años una nueva teoría bastante comprensiva, según él, para explicar los fenómenos conocidos, sin dar lugar á las objeciones que acabamos de resumir rápidamente.

M. Faye parte de un hecho de observación que le parece incontestable, á saber: que las manchas del Sol son cavidades abiertas en la fotosfera del astro, y opone al propio tiempo á la explicación de M. Kirchhoff las objeciones mismas que ya dejamos indicadas, declarándose en este punto por la teoría de Wilson, y admitiendo igualmente con los partidarios de ella la naturaleza gaseosa de la fotosfera, á la vez que reconociendo como demostrativas las observaciones de M. Arago acerca de la no polarización de la luz del Sol en los bordes. Pero donde se separa completamente de la opinión de W. Herschel, es en la constitución de todo el núcleo interior, que considera como enteramente gaseoso: la hipótesis de un núcleo frío le parece, como á los físicos alemanes, una imposibilidad física. Pero en tal caso, ¿cómo pueden explicarse las manchas negras y sus penumbras? Para comprender bien la teoría propuesta por M. Faye, y de la cual deduce la explicación de las manchas, de su formación y de sus movimientos, hay precisión de tomar con él las cosas desde más alto.

El Sol, y todos los astros que brillan en las profundidades del espacio, y que según las ideas generalmente adoptadas por los astrónomos modernos, en nada se distinguen de nuestro Sol, deben de haber sido originariamente formados por la reunión sucesiva de la materia en

grandes masas ó aglomeraciones, bajo la fuerza de atracción, de materiales primitivamente diseminados en el espacio; y de ahí pueden deducirse dos consecuencias inmediatas: 1.^a la destruccion de una cantidad enorme de fuerza viva, reemplazada por un gran desarrollo de calor; 2.^a un movimiento de rotacion mas ó menos lento para la masa entera.»

Semejante masa gaseosa homogénea, cuyo calor interno escede mucho de la temperatura en la cual empiezan á producirse las acciones químicas, teniendo una potencia emisiva muy débil, pues que todas sus radiaciones deben ser superficiales, y una conductibilidad igualmente poco intensa, no puede experimentar en su equilibrio sino lentas modificaciones. «A no ocurrir otras circunstancias, no se concibe el modo con que esta masa pudiera emitir esa cantidad de calor tan grande y que no parece experimentar disminucion alguna con el trascurso de los siglos.» Para resolver esta dificultad, M. Fa-ye hace notar que las medidas de intensidad de la radiacion solar prueban que la temperatura de la superficie del astro está muy lejos de alcanzar la elevacion de la temperatura interna que atribuye á las capas profundas; de modo que la accion de las fuerzas moleculares y atómicas, de la cohesion y de la afinidad, nula en el interior, puede muy bien reaparecer en la superficie; y de ahí precipitaciones y nubes de partículas no gaseosas, capaces de incandescencia. Bien presto estas partículas, atraídas por la gravedad, caerán sobre las capas inferiores donde concluirán por encontrar la temperatura de disociacion, y serán reemplazadas en las capas superficiales por masas gaseosas ascendentes que vendrán á sufrir la misma suerte. El equilibrio general se perturbará así únicamente en el sentido vertical por medio de un cambio incesante desde el interior á la superficie que hubiera sido imposible en la fase precedente; y como la masa interna puesta de este modo en relacion con el exterior es enorme, se concibe que laemision superficial, surtiéndose incesantemente del gran depósito del calor central constituya una fase de muy larga duracion y de una gran constancia.» La existencia de la fotosfera

queda así explicada: su formación es una simple consecuencia del enfriamiento. Resta ahora explicar las manchas.

Segun M. Faye, las manchas son producidas por corrientes verticales ascendentes y descendentes: allí donde las primeras tengan una intensidad predominante, se hallará momentáneamente disipada la materia luminosa de la fotosfera. «Al través de esa especie de abertura, no es el núcleo sólido, frío y oscuro del Sol lo que se percibirá, sino la masa gaseosa, ambiente é interna, cuya fuerza emisiva á la temperatura de la mas viva incandescencia, es tan débil comparada con la de las nubes luminosas de partículas no gaseosas, que la diferencia de esas fuerzas basta á explicar el contraste tan asombroso de los dos matices observados con nuestros vidrios oscuros.»

M. Faye demuestra á continuacion que la regla derivada de las observaciones de M. Carrington, segun la cual las distintas zonas de la fotosfera sufren durante el trascurso de su rotacion retardos que son próximamente proporcionales á los cuadrados de los senos de su latitud, es una consecuencia de la ruptura del equilibrio producida por las corrientes (1). Por fin tiende á demostrar que los esperimentos de Arago sobre la no polarizacion de la luz emanada de los bordes y los de Kirchhoff sobre las rayas del espectro, no son tal vez contradictorios. Arago hablaba de un gas análogo al del alum-

(1) «Las masas ascendentes, dice, salidas de una gran profundidad, llegan arriba con una celeridad lineal de rotacion menos considerable que la de la superficie, porque las capas de donde proceden tienen un radio menor. De ahí una disminucion general en la rapidez del movimiento de la fotosfera, aunque ese retardo debe estar compensado para la masa total por las corrientes descendentes, de modo que quede cumplida la regla fundamental de las áreas. Si la fotosfera experimenta retardo sobre la rotacion general, las capas profundas, por compensacion, deberán hallarse adelantadas sobre este movimiento; resultando de esa oposicion que mientras la fotosfera tendrá una débil tendencia á aproximarse hácia el eje de rotacion, deslizándose superficialmente hácia los polos, la tendencia contraria se manifestará en las capas inferiores, que se trasladarán hácia el ecuador. Los efectos se producirán, como si los puntos de partida de las corrientes verticales se encontraran en una superficie interna mas distante de los polos que del ecuador; y si esta superficie ideal de emision fuese esferoidal, por ejemplo, su profundidad, y por consecuencia el retraso de las zonas sucesivas de la fotosfera, variarian con corta diferencia como el cuadrado del seno de la latitud.» (*Actas de la Academia de Ciencias. 1865, I*).

brado, en que las partículas sólidas incandescentes producen el brillo luminoso, y no de la llama oscura de un gas simple; mientras que por otra parte los sabios que de los ensayos experimentales de M. Kirchhoff han deducido la liquidez de la fotosfera, «tal vez no han tenido en cuenta que moléculas incandescentes difundidas en un medio gaseoso elevado también á un alto grado de temperatura, darían un espectro continuo, con escepcion de las líneas negras debidas á la absorcion de ese medio.»

Desde 1852 M. Chacornac designó la tendencia de las manchas del Sol á formar grupos prolongados en sentido del movimiento de rotacion del astro; la que tiene mas grande el núcleo y mas negro, y que persiste mas tiempo, precede á menudo á una série de manchas dispuesta paralelamente en direccion al Ecuador solar; y cuando desaparece el grupo por la invasion de las fáculas colocadas detrás, la mancha mas avanzada en el sentido de la rotacion es la última que se desvanece. Esta disposicion de las fáculas detrás de las manchas, esto es, colocadas hácia la izquierda, se halla confirmada por las investigaciones de Balfour-Stewart y de Warren de la Rue, los cuales, entre 1157 manchas solares acompañadas de fáculas, han probado que 584 tenían sus fáculas á la izquierda, y 45 únicamente á la derecha, mientras que las 508 restantes tenían fáculas á cada lado de la direccion del movimiento.

M. Faye se apodera de las observaciones precedentes como de otros tantos testimonios en apoyo de su teoría: en todo caso prueban un enlace evidente entre los fenómenos observados y el movimiento de rotacion de la fotosfera. Si como los astrónomos ingleses afirman, se halla fuera de duda que se encuentran las fáculas á un nivel mas elevado que el nivel general de la superficie fotosférica, el retraso de las materias brillantes que las forman se explica naturalmente por la combinacion del movimiento que las ha elevado á ese nivel con el de la rotacion.

Tal es, en resúmen, la nueva teoría, ó mas bien, tal era en su primer bosquejo. Como se ve por la breve idea que acabamos de dar, esta teoría explicaba cierto núme-

ro de fenómenos generales, sin alcanzar á explicar los hechos de detalle, por ejemplo: las granulaciones conocidas con el nombre de hojas de sauce, de granos de arroz, y no estaba libre de algunas objeciones graves. En primer lugar, difícilmente puede formarse idea de una masa tan considerable y de la regularidad de su forma, en la hipótesis de no ser otra cosa que una agregacion de gas á una temperatura escesivamente elevada; pero el análisis aplicado á la solucion del problema de la figura de los cuerpos celestes, cuyas moléculas integrantes se hallan sometidas á la ley de la atraccion, girando alrededor de un eje con un movimiento uniforme, viene á dar una solucion independiente del estado físico, ó mas bien supone que este estado era originariamente fluido, es decir, líquido ó gaseoso. En cuanto al valor de la densidad del Sol, igual, como ya se ha visto, á la cuarta parte de la densidad media de la Tierra, y por consiguiente escediendo mas de un tercio de la densidad del agua, nada tiene de incompatible con el estado gaseoso. Los esperimentos debidos á Cagniard de Latour, prueban que la densidad de una masa gaseosa, puede alcanzar un valor considerable cuando se halla sometida á una gran presion, á una temperatura que esceda bastante á la del punto de liquefaccion de la sustancia.

Una objecion mas grave aun se ha hecho á la teoría de M. Faye por M. Kirchhoff. M. Faye dice se figura que el núcleo rodeado por la fotoesfera es tan cálido, más cálido todavía que la misma fotoesfera, pero oscuro. Según él, este núcleo es gaseoso: teniendo en cuenta la potencia emisiva tan débil de los gases, M. Faye reputa estas dos propiedades como compatibles en el núcleo gaseoso del Sol. De la relacion existente entre la potencia emisiva y la potencia absorbente de los cuerpos, resulta de una manera absolutamente cierta que cuando en realidad la luz emitida por el núcleo solar no es perceptible á nuestra vista, ese núcleo, cualquiera que sea por otra parte su naturaleza, alcanza una trasparencia perfecta, en tales términos, que por una abertura situada hácia la mitad de la fotoesfera vuelta hácia nosotros y al través de la

masa del núcleo solar, podríamos ver la cara interna de la otra mitad de la fotosfera, y experimentaríamos la misma sensación luminosa que si no existiera tal abertura.» (*Actas de la Academia de las ciencias*, 1867, I, página 400).

Sin abandonar su teoría en lo que tiene de esencial, M. Faye, para resolver las objeciones precedentes, ha tenido que introducir algunas modificaciones en su explicación de los fenómenos solares. Según él, es imposible explicar estos fenómenos, especialmente la ley de rotación, según la latitud, así como la constancia de la radiación, sin admitir un cambio continuo y mútuo entre las capas profundas y las capas superficiales del astro. Este cambio es producido por las corrientes verticales ascendentes y descendentes: las primeras formadas por «masas gaseosas espelidas de la capa profunda, donde las moléculas sólidas incandescentes de las corrientes que descienden, vienen á descomponerse y trasformarse en vapores, destruyendo así el equilibrio de esa misma capa (1).»

Consideraciones de termodinámica, en cuyos detalles no podemos entrar, le obligan á deducir que debajo de la fotosfera existen capas menos cálidas que la materia incandescente de la fotosfera, y mucho menos sobre todo que la region central de la masa solar: de ahí la oscuridad relativa de las partes descubiertas por las aberturas de las manchas, y la absorcion de las radiaciones que provienen, bien de la masa interna bien de las regiones de la fotosfera opuestas á la direccion del rayo visual. En este punto desaparece la objecion capital de Kirchoff. Por otra parte, según M. Faye, la fotosfera

(1) Según M. Faye, una mancha es una especie de cráter, sitio de erupcion de gas cálido. M. Balfour-Stewart y M. Lockyer la reputan, por el contrario, como producida por una corriente descendente cuya materia proviniendo de capas mas elevadas y mas frias, produce el enfriamiento y la estincion de las partes de la fotosfera que invade esa corriente. ¿Cuál de ambas hipótesis es la verdadera? Esta es una cuestion que ha estudiado recientemente M. Sourel por medio del exámen de los movimientos de las hojas de sauce en el interior de las manchas. Este sábio cree poder deducir de sus observaciones, que «las manchas son el sitio de corrientes descendentes;» pero estas corrientes son relativamente cálidas, y si estinguen la fotosfera, es volviendo á disolver los vapores condensados que encuentran.

es una envoltura muy poco luminosa por sí misma, como las capas subyacentes, pero en la cual se forma una multitud de pequeñas masas de materia incandescente, separadas por intervalos negros, con lo cual quedan explicados los poros y las granulaciones. La incandescencia de esas nubes luminosas será efecto principalmente de las acciones químicas que determina la presencia del oxígeno en las capas superficiales, en las cuales tiende á concentrarse ese gas, á causa de su poco peso específico y de su aptitud para conservar el estado completamente gaseoso bajo altas presiones. (Para mas detalles véanse las *Actas de la Academia de las ciencias*, 1868, II, p. 188.

§ 6.—*Las protuberancias del Sol vistas durante los eclipses totales:*

Protuberancias, gloria y aureola.—Naturaleza química de las protuberancias; análisis espectral de su luz; observaciones del eclipse total de 18 de agosto de 1868, por MM. Janssen, Rayet y Tennant.—Consecuencias deducidas de dichas observaciones, con relación á la constitución física del astro.—Capa continua de hidrógeno incandescente que cubre la fotosfera.—Relaciones entre las protuberancias, las fáculas y las manchas.

Los eclipses totales del Sol son debidos, como todos saben, á la interposicion momentánea del disco oscuro de la Luna nueva entre el observador y el astro. Nuestro satélite obra como una pantalla completamente opaca que interrumpe durante algunos minutos la radiacion de la luz solar, impidiéndola llegar, no solo á la superficie terrestre, sino tambien á toda la porcion de capas atmosféricas que se hallan sumergidas en el cono de sombra lunar.

Este fenómeno de tan alto interés, acaso por no haberse fijado en el la atencion de los astrónomos, solo ha suministrado durante mucho tiempo datos relativos á la mayor ó menor oscuridad que resulta en las regiones terrestres recorridas por la sombra de la Luna: sin embargo, desde principio del último siglo los observadores durante la fase de la oscuridad total, designa-

ron la aparición de una corona luminosa, ordinariamente de un blanco plateado y coloreado á veces, que rodeaba el limbo oscuro. Al otro lado de esa corona, cuya amplitud aparente solia variar entre $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{12}$ del diámetro de la Luna, iba disminuyendo la luz gradualmente, surcada á veces por rayos divergentes que daban al fenómeno el aspecto de la aureola de que los pintores rodean la cabeza de los santos, y que en el lenguaje técnico profesional suele titularse una *gloria*. Tambien se han observado en los eclipses totales recientes, penachos luminosos, distintamente contorneados, y á semejanza de los rayos de las glorias, distribuidos con irregularidad por el espacio que rodea al disco de la Luna; pudiendo verse en las figuras 40 á 45, ejemplos de esos diversos fenómenos de luz.

Existe hoy conformidad en no ver en la tinta debilitada gradualmente, en los rayos y en los penachos, nada mas que efectos de difraccion, que dependen probablemente del paso de la luz solar por los bordes dentados de la Luna. Pero en cuanto á la corona estrecha y regular que circunda al limbo durante la totalidad, se ha imaginado que podia indicar la existencia de una atmósfera solar, porque la hipótesis emitida al principio, que convertia esta corona en una atmósfera lunar vista por la iluminacion de los rayos del Sol, es inadmisibile. (Véase sobre este punto el capítulo de nuestra obra LA LUNA, que trata de la atmósfera hipotética de nuestro satélite.) Arago inclinábase á la opinion que considera la corona ó círculo como producto de una atmósfera que debiera rodear al Sol á una gran distancia; y con el objeto de comprobar esta hipótesis, trató de convencerse de si la luz estaba polarizada; pero tanto sus propias observaciones, como las de algunos otros sabios, fueron bien poco concluyentes. M. Liais descubrió en 1858 que la luz de la corona estaba polarizada, de donde dedujo la existencia de una atmósfera solar exterior á la fotosfera.

He aquí además otras razones que atestiguan tambien esa misma existencia. En las fotografías del Sol obtenidas en el observatorio de Kew, nótase una diferencia

bastante sensible de intensidad luminosa entre los bordes y el centro del disco solar: nosotros dejamos ya indicada esta diferencia, que se explica muy bien si los rayos de la fotosfera atraviesan una atmósfera absorbente, puesto que las capas atravesadas tienen necesariamente mucha más estension hacia los bordes que en el cen-

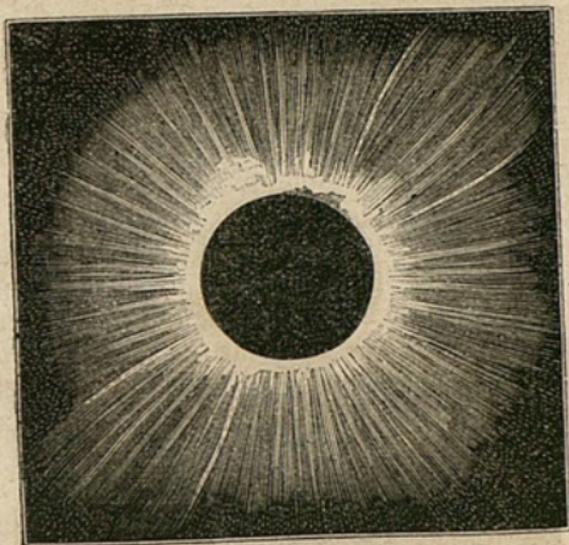


Fig. 42.—Eclipse total de Sol el día 8 de julio de 1842. Protuberancias; gloria

tro. «Es digno de notarse que la temperatura de esa atmósfera debe ser inferior á la de la fotosfera, porque de lo contrario la absorcion que produce, estaria contrabalanceada por su propia radiacion.» (*Researches on Solar physics* W. de la Rue, Balfour-Stewart y Laøwy.)

Llegamos ahora á tratar de los fenómenos observados desde 1842 en la mayor parte de los eclipses totales de Sol, fenómenos de una importancia tan capital para el estudio de la constitucion física del astro, como las mismas manchas solares.

Pueden verse en las figuras 40, 41 y 42, irregularmente situados al rededor del limbo oscuro de la Lu-

na, cierto número de apéndices, los unos en forma de montañas, de picachos ó de pirámides, y otros, elevándose como columnas ó agujas ya verticales, ya torcidas y ya en fin destacándose del contorno ó como suspendidas sobre él. A estos apéndices luminosos teñidos de un matiz rojizo ó rosado con mezcla de violado y blanco, es

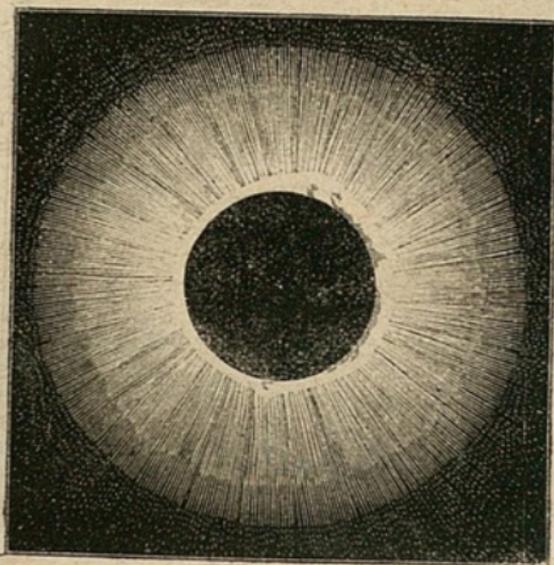


Fig. 43.—Protuberancias del eclipse total de Sol el 28 de julio de 1851, según Dawes.

a lo que se ha dado el nombre de protuberancias ó de *nubes rosadas* (*red flammes*, *llamas rojas*, dicen los astrónomos ingleses.)

¿Qué son en realidad esas apariencias singulares? ¿son acaso objetos reales ó simples fenómenos ópticos; pertenecen, en la primera hipótesis, á la Luna ó al Sol mismo? Todos estos problemas fueron diversamente resueltos al principio, pero hoy ha desaparecido la duda y sabemos que se trata ya con certeza de objetos reales, y que corresponden positivamente al mismo Sol, ó por lo menos á las regiones que rodean directamente la fotoes-

fera; de cuyo hecho existen pruebas completamente decisivas.

Desde luego, basta para pronunciarse en favor de esto mismo, el examen de las notables fotografías obtenidas en julio de 1860 por Warren de la Rue. (fig. 46). Efectivamente, dos de estos dibujos se refieren al fenó-



Fig. 44.—Eclipse total de Sol el 7 de Setiembre de 1858, según M. Liais; penachos y protuberancias.

meno observado, uno de ellos al principio de la totalidad y el otro un poco antes del fin de la misma fase; y puede verse que el disco oscuro de la Luna que ocultaba al principio las protuberancias por la parte donde había tenido lugar el primer contacto, permitiendo notar las de la parte opuesta, produjo un efecto inverso por su movimiento delante del disco del Sol; de suerte que hacia el fin de la totalidad las protuberancias que se habían visto primero quedaron ocultas á su vez, y las protuberancias opuestas se hicieron visibles. Este hecho sería inexplicable en el caso de pertenecer á la Luna los apéndices; y por el contrario, es muy sencillo si se supone que cubren la superficie misma del Sol.

Pero la prueba de que las protuberancias tienen una realidad objetiva, y de que pertenecen al globo solar, alcanza una certeza de todo punto incontestable, por las observaciones del magnífico eclipse total observado en las Indias el 18 de agosto del año 1868; debiéndose tan notable resultado al análisis espectral y al ingenioso método tan felizmente modificado por MM. Janssen y Lockyer. Con posterioridad y gracias á estos dos sabios astrónomos, el estudio de las protuberancias no se ha limitado á los breves momentos de los eclipses totales del Sol, que son tan raros, sino que pueden observarse en todas las épocas del año, y esta sola posibilidad prue-

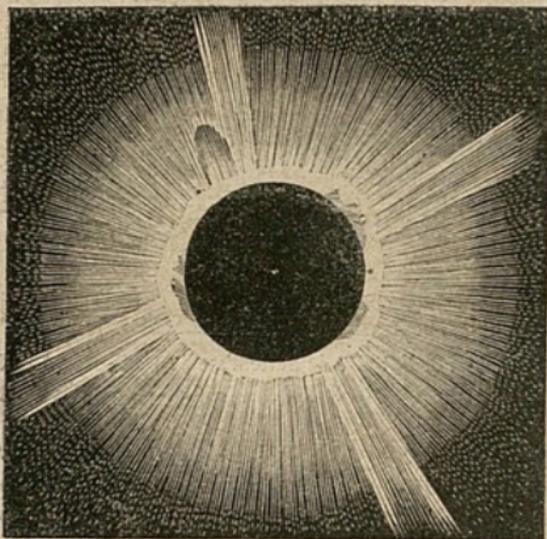
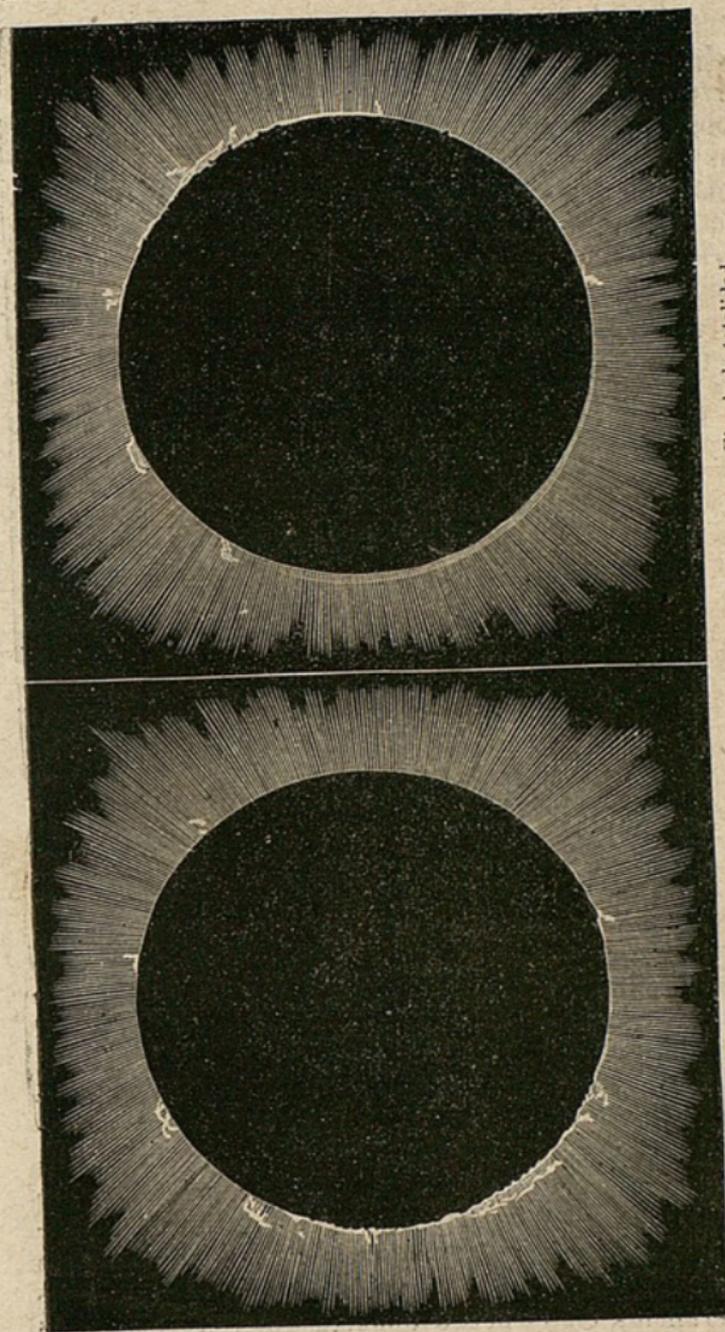


Fig. 43.—Eclipse del 18 de julio de 1860; brillo y corona de protuberancias, según Felitzch.

ba de una manera irrefutable que las protuberancias no son simples fenómenos ópticos debidos á la interposicion del disco lunar, y ademas, que pertenecen decididamente al Sol.

Vamos á dar ahora algunos detalles acerca de estas últimas é importantes observaciones.



Principio de la totalidad. Fin de la totalidad.
Fig. 46.—Protuberancias solares notadas durante el eclipse total del 18 de julio de 1860, según los dibujos y observaciones de Warren de la Rue.

Al fijar la vista en el dibujo de la figura 47, nótanse inmediatamente dos grupos de protuberancias, tales como se presentaron á los observadores del eclipse, desde Aden hasta la península de Malaca al principio de la fase de la totalidad. «Una de ellas sobre todo, dice M. Janssen, la de la izquierda, tiene la altura de

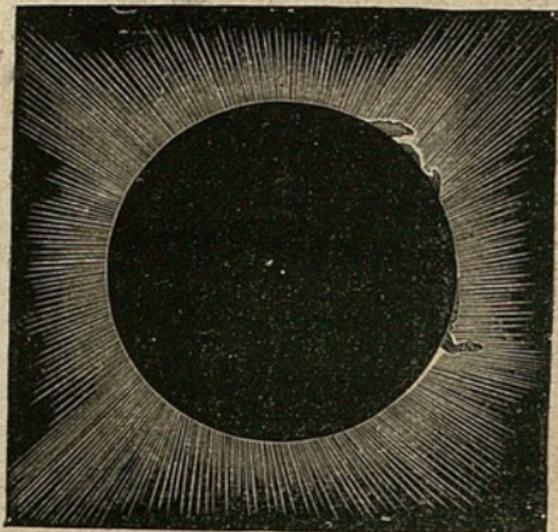


Fig. 47.—Eclipse total del 18 de agosto de 1868.—Protuberancias gaseosas vistas al principio de la totalidad, según los dibujos y observaciones practicados en Guntoor (India inglesa) por el mayor Tennant.

mas de $5'$; siendo su forma la de la llama de un fuego de fragua que brota con violencia de las aberturas del combustible empujada por la fuerza del viento. La protuberancia de la derecha (borde occidental) ofrece la apariencia de una aglomeracion de montañas nevadas, cuya base reposara en el limbo de la Luna é iluminadas por un Sol poniente. Cuando el movimiento del disco de la Luna hubo cubierto esas primeras protuberancias, y el eclipse en la fase de totalidad estaba á punto de tocar á su término, aparecieron otras nuevas protuberancias en el borde opuesto del Sol, y son las

mismas que representa la figura 48, y que forman en una gran estension del contorno del astro una capa dentada y casi continua. «En el gran telescopio dice otro observador, M. Stephan, las protuberancias se presentaban con una limpieza admirable, su color podia muy bien compararse con el del coral rosa ligeramente teñido de violado, y todas parecian estar unidas por una base perfectamente clara y no flotar á cierta distancia de la Luna, como se habia observado en 1851 y 1860.»

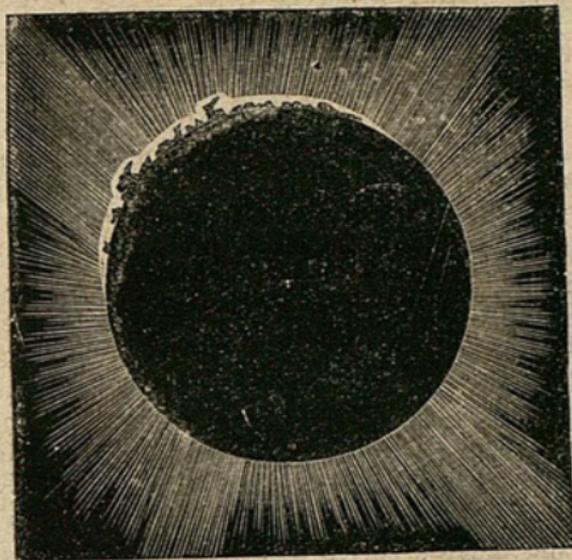


Fig. 48.—Eclipse total del 18 de agosto de 1868.—Protuberancias gaseosas notadas al fin de la totalidad, según los dibujos y observaciones obtenidos en Guntoor por el mayor Tennaut.

Además de la existencia de las protuberancias y de su enlace evidente con el disco solar, puntos determinados ya por las observaciones de los eclipses anteriores, se llegó á reconocer la presencia de una capa delgada y diáfana, muy brillante, que apareció inmediatamente después del segundo contacto, volviendo á reaparecer nuevamente algunos segundos antes del tercero. En 1860 un poco después del principio de la oscuridad total y un poco

antes del fin, habíase observado esta misma capa, que no debe confundirse con la corona: mientras que la luz de esta es blanca, la capa de que se trata parecía de un rojo purpúreo á los observadores del eclipse de 1860, (MM. le Verrier, Ismail), y su altura variaba entre 8, 10 y 15 segundos.

Llegamos ahora á la parte mas esencial por su importancia, de los fenómenos observados el día 18 de agosto y que mas llamó la atención de los astrónomos; esto es, al estudio, por medio del análisis espectral, de la luz y por consiguiente, de la naturaleza física y química de las protuberancias. Todos los observadores (MM. Rayet, Herschel, Tennant y Janssen) notaron que el espectro de esos singulares apéndices estaba formado por cierto número de rayas brillantes. El teniente Herschel pudo notar tres de ellas, una encarnada, otra anaranjada y otra azul; el mayor Tennant cinco, próximas á las líneas C D E F G del espectro solar; M. Rayet vió nueve, y entre ellas cinco particularmente intensas; y M. Janssen pudo distinguir cinco ó seis líneas muy brillantes, encarnada, amarilla, verde, azul y violada, reconociendo inmediatamente que la encarnada y la azul coincidían con las líneas C y F del espectro solar, líneas ó rayas características del gas hidrógeno.

Por lo demas, casi al mismo tiempo este último físico concibió y realizó la idea de observar las rayas de las protuberancias fuera de los eclipses; y desde la mañana del 19 de agosto, volvió á ver las rayas brillantes que revelaban la presencia de las protuberancias alrededor del disco del Sol. Por su parte M. N. Lockyer que habia hecho durante dos años varias tentativas é ideado un método para observar las protuberancias fuera de los eclipses, habiéndose convencido el 20 de octubre siguiente de que eran las mismas líneas ya observadas, consiguió en Lóndres, volver á ver muchas de ellas. En este intervalo M. Janssen continuó sus notables observaciones. Los observadores, prevenidos ya, entregáronse en todas partes al estudio, y hoy dia, aunque hay todavía muchos puntos dudosos en esta materia, pueden reputarse como perfectamente acreditados los siguientes:

1.º Que las protuberancias pertenecen decididamente al Sol; y si aun quedaran algunas dudas sobre este punto despues de las observaciones de los eclipses anteriores, las del 18 de agosto de 1868 y especialmente las que se practicaron despues del eclipse por MM, Janssen, Lockyer, Rayet y Secchi no permitirian ya dudar.

2.º Que las protuberancias son de naturaleza gaseosa; son, un gas incandescente, compuesto en gran parte de hidrógeno, aunque conteniendo indudablemente otras sustancias tal vez algunas desconocidas en la superficie de la Tierra, como parece probarlo la existencia de una línea brillante próxima á la línea amarilla del sódio, aunque no coincidiendo con ella ni correspondiendo tampoco, cosa curiosa, á ninguna de las rayas oscuras del espectro solar.

3.º Que la materia de las protuberancias existe en una grande estension, cuando no en toda la superficie de la fotoesfera. Esta materia forma una capa continua, cuyo espesor por término medio calcula M. Lockyer en 8,000 kilómetros, y las protuberancias no parecen ser otra cosa que porciones de esa misma capa elevadas á alturas mas ó menos considerables, unas veces destacadas de la masa otras veces suspendidas sobre ella. La gran protuberancia de la figura 47 no tenia menos de 54,000 leguas de altura vertical sobre la fotoesfera.

4.º Que esas prodigiosas acumulaciones incandescentes de gas sufren á menudo cambios de forma y de dimensiones, indicando que la capa de materia se halla constantemente agitada por movimientos, cuya causa es aun desconocida, y que acaso sea la misma que la que da lugar á la formacion de las manchas y de las fáculas.

Con posterioridad á la época de las observaciones practicadas durante el eclipse total de agosto de 1868, un gran número de hechos de detalle han venido á agregarse á los que dejamos descritos: los espectros de las protuberancias y las líneas brillantes de que se componen han sido analizados con ayuda del nuevo método, así como igualmente lo han sido los de las manchas. La *chromoesfera*, como se titula la capa continua de hidróge-

no de que se halla cubierta la fotosfera, parece contener, además de ese gas, vapores metálicos, entre ellos los del hierro, del bario y de magnesio, bien que únicamente en las regiones mas bajas. Los hechos, volvemos á repetir, son numerosos; pero hay aun entre los distintos observadores divergencias, demasiado grandes, ya sobre las observaciones mismas, ya sobre su interpretación bajo el punto de vista de la constitucion física del Sol, para que no sea prematuro deducir consecuencias. Además, restan por esclarecer muchos puntos todavía dudosos, muchas cuestiones que las observaciones antiguas como las modernas han sugerido y dejan indecisas.

Por ejemplo, ¿existe alguna relacion física entre las manchas, núcleos negros y penumbras y las protuberancias, como tenderian á demostrarlo las observaciones del padre Secchi? Antes del último eclipse se negaba, haciéndose notar que las protuberancias son visibles en todas las latitudes, mientras que las manchas se hallan comprendidas en una zona bastante reducida. Sin embargo se ha indicado la proximidad casi inmediata de fáculas existentes sobre los bordes del disco el 18 de agosto último (1) cerca de dos grupos de protuberancias. Igualmente en los dias 24 y 27 de febrero de este año (1869) el padre Secchi ha visto brillar unas protuberancias magníficas en el mismo sitio en que se hallaban dos fáculas muy vivas en el borde del disco. Estas manchas brillantes ¿no podrian ser el producto de la acumulacion de la materia rosada rechazada por la erupcion que produce las manchas? M. Lockyer ha observado la cromosfera cuando habia manchas próximas al limbo, y tan pronto le han parecido acompañadas de protuberancias como sin ellas. Pero, como nota este sabio observador, es posible que una mancha se halle acompañada constantemente de una prominencia en determinada época de su existencia, y que sea debida á una

(1) Nótese en este y en otros casos análogos de referencia de fechas que el autor escribía en 1869.

accion que en el mayor número de casos vaya asociada de una prominencia.

Ahora bien, la atmósfera incandescente y de nivel desigual que rodea toda la fotosfera, ¿es la única que existe alrededor del Sol? ¿Se elevan las protuberancias en el vacío ó en una atmósfera completamente trasparente? Fálta saber cuál es el medio que produce la inversion de las rayas por la absorcion de determinados rayos de luz fotosférica. ¿Es la capa rosada continúa mucho menos espesa que las partes que se levantan en forma de protuberancias ó de nubes, pero tambien mucho mas densa probablemente? La intensidad luminosa de la fotosfera, cuyo espectro se considera como continuo, no puede provenir segun las ideas científicas actuales, sino de partículas sólidas ó líquidas incandescentes; y de ahí la hipótesis de un núcleo sólido ó líquido propuesta por Kirchhoff, ó la de un núcleo gaseoso, cuya periferia esté cubierta de nubes de partículas en estado sólido ó líquido pulverulento, segun la teoría de M. Faye. Ahora bien, de los recientes esperimentos debidos á M. Frankland, pudiera muy bien inducirse que un espectro continuo puede ser producido por la luz de una masa gaseosa incandescente, luz tanto mas intensa, cuanto mas considerables sean la presion y la temperatura. Es tan fuerte la intensidad de la gravedad en la superficie del Sol, que la presion de una capa de algunos miles de leguas de espesor debe ser efectivamente enorme.

Todos estos problemas se encuentran á la vez planteados por los descubrimientos de tan alta importancia, que acabamos de resumir en sus puntos esenciales, y la constitucion física y química del Sol no puede menos de hacer próximamente grandes progresos. Pero no conviene apresurarse á sacar consécuencias (1); gracias al nuevo

(1) Por esta misma razon nos limitamos á mencionar aquí una hipótesis sobre la constitucion del Sol, cuyo autor es un astrónomo americano, M. W. Gilman, de New-York. Segun él, el núcleo del Sol es una masa sólida ó líquida incandescente rodeada de la fotosfera, y por encima de esta de una atmósfera únicamente visible en los eclipses, cuya corona forma. Las manchas son debidas á la presencia de masas de escorias que se reunen en la superficie del núcleo, y que determinan una accion eléctrica de muy grande in-

método de observacion, los hechos se acumulan; pero conviene esperar que sean suficientemente numerosos y concordantes para poder deducir las consecuencias. En estos momentos las diversas teorías propuestas se hallan en realidad sometidas á una revision que apenas dejará tal vez en pie mas que fragmentos.

tensidad; y de ahí esos agujeros en la fotosfera, producidos por la deflagración de las masas gaseosas y el nacimiento de las manchas, cuyo núcleo solamente parece negro por un efecto de contraste. Esta hipótesis, de la cual únicamente damos aquí una idea general, es intermedia, como se ve, entre las de Wilson y de Kirchhoff.

CAPITULO VII.

Conservacion de la radiacion solar.

§ 1.—*Del calor en la superficie del Sol y en el interior de su masa.*

Temperatura de las distintas regiones del globo solar.—Radiacion calorifica del centro y de los bordes de la fotosfera, de las fáculas y de las manchas.

La energia de la radiacion calorifica del Sol ha podido medirse con cierta aproximacion, como ya hemos visto; pero los datos asi obtenidos están bien lejos de ilustrarnos en un punto de tan grande importancia, cual lo es la temperatura intrínseca que reina no tan solo en la superficie del inmenso globo, sino tambien en las profundidades de su masa. Si llegara á resolverse este problema, se sabría si hay analogía entre ese foco tan prodigiosamente poderoso y los focos caloríficos que producimos en la superficie de la Tierra, y cuyo origen se halla en las acciones químicas ó eléctricas.

Desgraciadamente á falta de ciertos elementos, todo queda reducido á simples congeturas. Sería, necesario conocer la potencia emisiva del Sol, y todo cuanto puede hacerse, es suponerla comprendida entre ciertos límites. Esto es lo que ha hecho Pouillet, que ha llegado á la conclusion siguiente: Suponiendo la potencia emisiva del Sol igual á la unidad, su temperatura es por lo menos de $1,461^{\circ}$, ó, lo que es lo mismo, poco mas ó menos la de la fusion del hierro; y aun pudiera subir á $1,761^{\circ}$, si la potencia emisiva del Sol fuera análoga á la de los metales bruñidos.

En la hipótesis propuesta por M. Faye, que considera la masa entera del Sol como gaseosa, la temperatura de las capas internas escede bastante á la en que empiezan á ejercitarse las acciones químicas; pero segun él, cualquiera que sea esta temperatura, la potencia emisiva de la masa debe ser muy débil, y sus radiaciones, enteramente superficiales, toda vez que cada capa está dotada de un poder absorbente especial para los rayos emitidos por las capas inferiores. «En realidad la temperatura, dice, en la superficie del Sol, está lejos de ser tan elevada como su temperatura interna: de las medidas de M. Pouillet sobre la intensidad actual de la radiacion solar, deduce M. Thomson que el calor emitido no es mas que de 15 á 45 veces superior al calor que se engendra en el fogon de nuestras locomotoras.»

Por las observaciones espectroscópicas efectuadas durante el eclipse total del 18 de agosto de 1868 y con posterioridad al mismo, se sabe que existe sobre la fotosfera una inmensa capa de gas hidrógeno en el estado de incandescencia, y cuya altura media alcanza, segun Lockyer cerca de 8,000 kilómetros, y sobre esa misma capa suelen elevarse de vez en cuando columnas gaseosas de la misma naturaleza que constituyen eso que llaman protuberancias rojas. Si puede aplicarse á la combustion de esas masas lo que se sabe de la combustion del hidrógeno en la superficie de la Tierra, habrá que deducir que la temperatura del Sol, por lo menos en su periferia, no es menor de 2,500°.

Segun las observaciones del padre Secchi, hay fundamento para creer que las diversas regiones de la superficie solar no alcanzan la misma temperatura. Aparte de la diferencia que ofrece la radiacion de los bordes y la del centro, diferencia debida únicamente á la absorcion de la atmósfera, hay otra que caracteriza las regiones polares y las ecuatoriales, siendo estas mas cálidas que las primeras, y además, no tienen tampoco exactamente la misma temperatura los dos hemisferios boreal y austral del Sol. Herschel habia tambien sospechado que un hemisferio solar irradiaba menos calor y luz que el otro opuesto; pero contemplaba dos de las

fases que presenta sucesivamente el Sol á la Tierra, y no los hemisferios que separa el ecuador del astro.

El director del Observatorio romano, ha comparado la temperatura de las manchas con la de las partes luminosas de la fotosfera, y tambien con la de las fáculas, descubriendo que las manchas son las partes menos cálidas de la superficie, pero sin hallar diferencia apreciable entre las fáculas y la fotosfera. M. Chacornac ha reconocido igualmente la inferioridad de las manchas, bajo el punto de vista de la temperatura; pero segun este observador, las fáculas que suceden á una mancha, alcanzan por el contrario una temperatura mas elevada que la fotosfera.

No olvidemos por otra parte que en todo esto no se trata de la temperatura propiamente dicha de las regiones comparadas, sino de la intensidad de su radiacion calorífica, tal cual podemos apreciarla en la superficie de la Tierra, necesitariase conocer los diferentes poderes emisivos de la fotosfera en sus distintos puntos, así como tambien el de las manchas y el de las fáculas, para poder deducir de ellos el elemento de que se trata. Así es muy posible, como lo supone la teoria de M. Faye, que el interior de las manchas, sus núcleos marquen una temperatura mucho mas elevada que las partes luminosas de la fotosfera; para lo cual bastaria que ese interior estuviese compuesto de una masa gaseosa incandescente que tuviera una potencia emisiva muy débil ó casi nula.

§ 2.—*¿Se enfria el Sol con el trascurso de los siglos? Como se conserva la energía de la radiacion solar.*

La radiacion solar no puede ser el producto de una simple combustion.—Diferentes hipótesis; calor desarrollado por la rotacion.—Esplicacion del calor del Sol por la caída de los meteoritos.—Teoria de Helmholtz; origen de las radiaciones solares; trasformacion de la fuerza de la gravedad á consecuencia de la condensacion de las moléculas de la nebulosa primitiva.

Si el pensamiento se pierde en el cálculo de las miriadas de miriadas de siglos que representan el tiempo trascurrido desde la época en que la nebulosa solar se

ha encontrado condensada en una masa incandescente y tambien desde la época de la formacion de la Tierra hasta la actual; si los tantos centenares de miles de años de existencia probable de la raza humana no son mas que un segundo en la vida del Sol, ¿dónde buscaremos, dónde hallaremos un punto de apoyo que permita á nuestros descendientes convencerse de que el padre comun de nuestra legion planetaria se halla sometido á la ley que rige todo cuanto existe; que así como nació, se desarrolló, existió y existe todavía, vendrá un tiempo en que habiéndose ido disipando poco á poco en el espacio toda la potencia que posee pasará de la categoría de estrella radiante á la de astro oscuro, hasta llegar á su fin? ¿Será posible medir un dia por medio de algun fenómeno sensible y apreciable, una fase de esa existencia, un minuto de esa vida?

El Sol se nos presenta verdaderamente como un foco radiante primitivo que saca de sí mismo la energía de su poder calorífico y luminoso; pero no estamos ya en el tiempo en que se le consideraba como un *fuego puro*, inagotable é indestructible, en que se creia en eso que se llamaba la incorruptibilidad de los astros, *cæla incorrupta*. Sábese hoy que todo gasto de calor y de luz constituye una pérdida real, una disminucion para el foco de donde parten los rayos, y que, si nada viene á mantener la actividad de la combustion ó de la incandescencia, debe llegar un momento en que se extinguirá por completo ese foco.

Desde luego, segun los datos que se tienen sobre la radiacion solar, ¿puede decirse cuánto descende su temperatura en un año, en un siglo, en un periodo cualquiera? Pouillet se propuso este problema, si bien ha demostrado al propio tiempo que la solucion es para nosotros indeterminada. Para resolverlo necesitaríanse conocer dos elementos de la constitucion fisica del Sol, esto es, la conductibilidad de la sustancia de que se compone su globo, así como tambien su calor específico. En la hipótesis de una conductibilidad perfecta y en la suposicion de que el calor específico del Sol fuera equivalente á 153 veces el del agua, Pouillet ha llegado hasta la conse-

cuencia de que la temperatura del Sol descende $\frac{1}{1000}$ de grado por cada año, ó 1° por cada siglo. En el trascurso de 10,000 años llegaría pues á ser el enfriamiento total de 100 grados.

En la actualidad ¿se encuentra acaso realmente enfriado desde los tiempos históricos? Al alcance de nuestros conocimientos en este punto, nada viene á acreditar tal fenómeno en esos millares de años á que alcanza la memoria del hombre. Tal vez algun dia la historia del pasado de nuestro planeta podrá arrojar alguna luz sobre la cuestion asi propuesta; pero no debe perderse de vista que un cambio demostrado de los climas ó de la temperatura media de la Tierra, puede atribuirse lo mismo á modificaciones terrestres, que á una variacion en la intensidad de la irradiacion solar: el problema será siempre muy complejo.

Lo que si puede asegurarse es que ninguna disminucion apreciable se deja notar de esta intensidad despues del trascurso de millares de años, y por tanto hay que suponer necesariamente ó que el enfriamiento es mucho mas lento que lo que exige la solucion, por otra parte hipotética, de Pouillet, ó bien que el calor del Sol se conserva por medios, cuya naturaleza hay que indagar. Acabamos de ver que aun en el caso de que no reparase sus pérdidas, enfriaríase 100° en cien siglos; pero esto supone un calor específico enorme, y si este calor específico no escediese del de el agua, no sería ya de 100° sino de 14,000 el enfriamiento en ese mismo periodo: es decir, que su radiacion, despues del mismo intervalo, hallaríase estinguida por completo.

«Ninguna de las combustiones, ninguna de las afinidades químicas que conocemos, dice Tyndall, alcanzaria á mantener la radiacion solar: la energía química de estas sustancias sería muy débil, y se disiparía muy pronto en el espacio. Si fuera el Sol un trozo de ulla y se le suministrará la suficiente cantidad de oxígeno, para hacerle capaz de arder en el grado que exige la radiacion medida, se consumiría por completo en el espacio de 5,000 años.»

Queda pues en pie el problema, y es menester averi-

guar cómo se alimenta ese foco prodigiosamente intenso, cuya masa, por enorme que sea, no alcanza á esplicar la incandescencia permanente durante la série de los siglos, mientras se le considere simplemente como un cuerpo, cuya combustion solo halla alimento en su propia sustancia.

Pasemos ahora rápidamente revista á las distintas hipótesis propuestas y discutidas sobre el asunto.

Se ha dicho que girando el Sol sobre su eje en 25 dias, debe resultar de ese movimiento un roce ó frotacion de su superficie contra el medio en el cual se mueve, y además á causa de la trasformacion de ese mismo roce, un desprendimiento de calor y de luz; pero ¿qué materia es la que oprimiria como un freno la periferia del globo solar? ¿Es acaso el éter? Tal suposicion es evidentemente inadmisibile; porque la accion de ese medio dejaríase sentir con una energía mucho mayor en los planetas, cuyo movimiento de rotacion, y sobre todo, el de traslacion, son mucho mas rápidos. Se ha calculado además que si toda la fuerza de rotacion del Sol se convirtiera en calor, bastaría para compensar la radiacion durante mas de un siglo; pero tambien se gastaría completamente en menos de dos siglos. No hay pues que tener en cuenta esta hipótesis, que siendo completamente insuficiente, está además en contradiccion con las observaciones que no revelan desde hace dos siglos ninguna disminucion en la celeridad de la rotacion del astro.

Una segunda opinion brillantemente sostenida por Mayer, Waterston y W. Thomson, (1) esplica la conservacion de la radiacion solar por la caida de meteoros en la superficie del Sol.

Alrededor del Sol circula ó gravita una multitud de cuerpos: los unos, como sucede con los planetas actualmente conocidos, describen órbitas, cuyos ejes mayores, tienen dimensiones casi invariables, á lo menos invariables desde los tiempos históricos. Sábese tambien por la teoría de las perturbaciones reciprocas que producen los

(1) Véase Mayer, *Dynamik des Himmels*; Waterston, *Sesiones de la asociacion britanica*, 1855; W. Thomson, *Actas de la Sociedad de Edimburgo* 1854.

unos sobre los otros, que esa invariabilidad se encuentra asegurada para dilatadas series de siglos, lo cual prueba que el medio en que se mueven opone una resistencia casi nula á sus movimientos. Además de los planetas, cuyo número es en la actualidad de 116, hay una multitud de cometas que se cuentan probablemente por millones, los cuales describen órbitas mucho más prolongadas, y cuyas masas comparativamente muy pequeñas, pueden experimentar una resistencia sensible. El cometa de Encke, por ejemplo, se aproxima sensiblemente al Sol, á medida que disminuye la duración de su periodo, y si esta rapidez continúa, podrá llegar un día en que después de haber descrito una espiral el astro, vaya á sumergirse en el ardiente foco solar. Otros corpúsculos en un número mucho mayor todavía circulan constantemente alrededor del astro; son los mismos que vemos aparecer por enjambres en determinadas épocas del año, y que rozando la atmósfera terrestre con la rapidez de los planetas, se inflaman en ella y caen algunas veces en su superficie. Esos enjambres, cuyos rastros se han asimilado, sino identificado recientemente con las masas cometarias, (1) parecen describir, los unos curvas parabólicas indicando que vienen por la vez primera á visitar nuestras comarcas solares, y los otros elipses más ó menos prolongadas. Poco á poco esas masas individualmente muy pequeñas, experimentando la resistencia del medio que acelera el movimiento del cometa de Encke, se aproximan al Sol, y multiplicándose su número acrecientan por su reunión la densidad y la resistencia de ese mismo medio. Tal debe ser la causa de esa claridad conocida con el nombre de *luz zodiacal*, cuyo plano coincide poco más ó menos con el plano de la

(1) La bella teoría de un astrónomo italiano, M. Schiapparelli, director del observatorio de Milan, explica la periodicidad de los meteoros conocidos bajo el nombre de *estrellas errantes* por el paso de la Tierra al través de largos rastros de corpúsculos que la atracción solar ha obligado á describir órbitas parabólicas, análogas á las órbitas cometarias. Los cometas mismos serian nebulosidades de la misma naturaleza, algunos de los cuales concluyen por circular periódicamente alrededor del Sol, convirtiéndose en partes integrantes del mundo solar. En la 4.^a edición de nuestra obra *LE CIEL*, actualmente en prensa, se encontrará un resumen de esta nueva é importante teoría, sobre la cual decimos más adelante algunas palabras.

eclíptica ó del ecuador solar, y que se extiende bajo la forma de una zona lenticular á una distancia del Sol igual por lo menos á la distancia media de la Tierra.

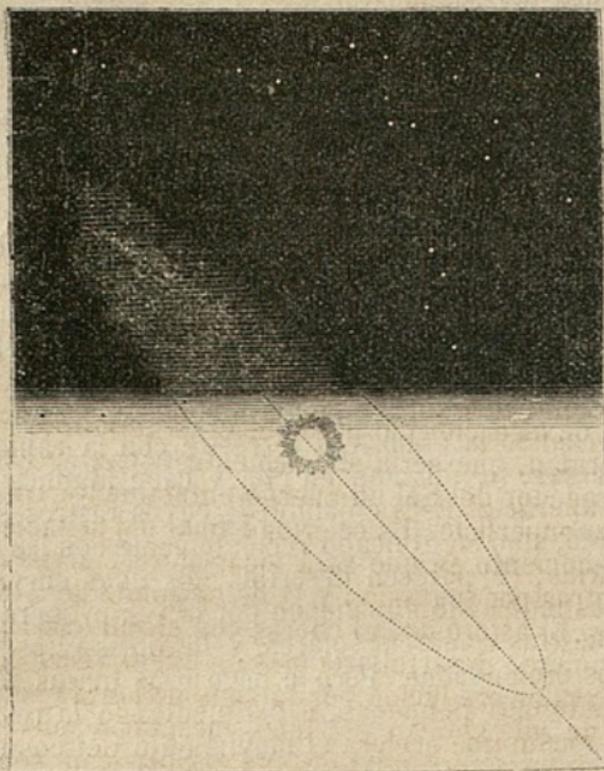


Fig. 49.—Luz zodiacal; dirección del eje.

Toda esta materia, ó mas bien estas corrientes de materia meteórica circulan en torno del foco, cuya luz reflejan; pero al propio tiempo por sus choques y por la resistencia que oponen entre sí á sus propios movimientos, poco á poco se acelera la rapidez de traslación, y compréndese facilmente que de ello resulta un derrame incesante hácia el Sol, una verdadera lluvia de meteoros en la superficie del astro.

Semejante caída, si verdaderamente existe, ¿puede

dar un alimento continuo á la radiacion calorifica del Sol? Por una parte sirve para este de un acrecentamiento de sustancia y de elementos de combustion añadidos á los que ya posee, mientras que por otra parte, y en esto consiste, segun los autores que dejamos citados, la verdadera y principal causa que sostiene la energía de la radiacion solar, la caída de cada meteoro, determina por la simple trasformacion de su celeridad un calor muchísimo mas considerable que el que produce la combustion de su masa. Oigamos sobre este asunto á Tyndall:

«Es fácil calcular, dice, el máximum y el mínimum de la rapidez comunicada por la atraccion del Sol á un asteroide que circula en rededor suyo; el máximum se produce cuando se aproxima el cuerpo en línea recta al Sol, viniendo desde una distancia infinita, pues entonces se ejerce sobre él sin ninguna pérdida toda la fuerza de atraccion; al paso que el mínimum representa la celeridad, que seria simplemente capaz de hacer girar alrededor del Sol un cuerpo enteramente aproximado á su superficie. La celeridad final del primer cuerpo en el momento en que va á tocar al Sol, seria de 627 kilómetros por segundo, y la del segundo de 444 kilómetros. El asteroide, al chocar con el Sol con la rapidez primera, desarrollaria mas de 9,000 veces la cantidad de calor producida por la combustion de una masa igual de ulla (1). No es, pues, necesario que las sustancias que se precipitan sobre el Sol, sean combustibles, porque su combustibilidad no añadiría apenas nada al espantoso calor producido por su colision ó choque mecánico.

(1) Véanse, segun M. Thomson, cuáles serian las cantidades de calor desarrolladas por cada uno de los principales planetas, en el caso que vinieran á caer en línea recta sobre el Sol; estas cantidades se espresan por los tiempos durante los cuales podrian alimentar la radiacion solar.

	Años.	Días.		Años.
Mercurio.	6.	214	Júpiter.	52240
Venus.	85.	227	Saturno.	9650
La Tierra.	94.	505	Urano.	1610
Marte.	12.	252	Neptuno.	1860

De este modo todos los planetas reunidos, cayendo sobre el Sol, conservarían su calor durante 45,588 años!

Tenemos, pues aquí, un modo de generacion de calor suficiente para devolver al Sol su energía á medida que la pierde, y para mantener en su superficie una temperatura que escede á la de todas las combinaciones terrestres. Las cualidades propias de los rayos solares y su poder de penetracion incomparable, nos autorizan á deducir que la temperatura de su origen debe ser enorme; ahora bien, encontramos en la caida de los asteroides los medios de producir esta escesiva temperatura.

Puede objetarse que esta lluvia de materia deberia ir acompañada de un aumento en el volúmen del Sol; y aun cuando esto es exacto, la cantidad de materia indispensable para producir la radiacion notada, cuando estuviera acumulada durante un periodo de cuatro mil años, sustraeríase al exámen verificado con el auxilio de nuestros instrumentos de mayor alcance. Si la Tierra cayera sobre el Sol, el acrecentamiento de volúmen que produciria, sería completamente imperceptible, y sin embargo, el calor que ocasionara su choque compensaria el gasto hecho por el Sol durante un siglo.» (*El calor.*) La caida de la Luna compensaria las pérdidas de uno ó de dos años, no siendo su volúmen mas que la sesenta y cuatro millonésima parte del volúmen del Sol (1).

Tal es la hipótesis de la *Teoría meteórica del calor solar*, hipótesis bastante ingeniosa y físicamente muy verosímil, pues que se apoya en un principio que tiene hoy derecho, de ciudadanía, en la ciencia, esto es, sobre la trasformacion del movimiento mecánico en calor. Sin embargo, uno de los tres autores, M. W. Thomson, ha abandonado esta teoría, como incompatible con un hecho científico perfectamente acreditado; á saber, la imposibilidad de la existencia de un medio resistente alrededor del Sol; y en efecto, muchos cometas, como los de 1680 y de 1845, han pasado tan

(1) Por lo demás, si el Sol aumenta de masa y de volúmen al recibir continuamente meteoros, por otra parte su incesante radiacion, rebajando tambien incesantemente su temperatura, debe determinar una contraccion en su volúmen, de modo que la compensacion que se opera bajo el punto de vista de su energía luminosa y calorífica, puede existir tambien con relacion al volúmen; solo su masa y su densidad se aumentarían de una manera continua.

cerca del Sol en su perihelio, que hubieran sufrido considerables perturbaciones en sus movimientos, si hubiera existido en realidad un medio resistente tan denso como el que supone la teoría meteorica. Pero ese medio no es indispensable para la teoría, pues que la misma causa que acelera el movimiento del cometa de Encke, —y esta aceleracion es un hecho de observacion perfectamente establecido, lo mismo que la del cometa de Faye— puede precipitar con el tiempo sobre el Sol las corrientes meteóricas.

De cualquier modo que sea, si la hipótesis sobre la alimentacion del calor solar por la caida de los meteoros, se admitiese como verdadera, pudieran deducirse dos consecuencias, en nuestro concepto, dignas de exámen.

La primera nos la sugiere la teoría propuesta por Schiapparelli sobre el origen de las corrientes periódicas de meteoros. Segun este sabio, dicho origen es exterior al sistema solar, lo mismo que el de un cierto número de cometas; son masas nebulosas que la fuerza de atraccion del Sol arrastra á su esfera de actividad, que vienen de este modo desde las profundidades de los espacios interestelares á describir una parábola en torno del foco de nuestro mundo, y despues de haber desfilado en prolongadas series durante muchos años sucesivos, regresan á las distancias mismas de donde vinieron: los unos escapan así tal vez, despues de una revolucion, á la gravitacion del Sol, mientras que los otros, desviados de su primera órbita por el encuentro de los planetas, cambian su ruta parabólica en ruta elíptica, enriqueciendo definitivamente el sistema solar. Si esto es así, si se considera ademas que el Sol mismo viaja en una inmensa órbita, cuyo centro es desconocido, puede representarse la inmensa masa incandescente como asolando el espacio en provecho de su potencia misma, semejante á las ballenas que recorren y despueblan el Océano. Por consiguiente, para alimentar su actividad radiante, no se halla reducido al miserable pececillo que pasa en un momento dado cerca de él; y se comprende que, á medida que devora legiones de meteoros,

apréstanse otras provisiones para el porvenir, continuándose y reproduciéndose incesantemente este juego por un tiempo indefinido.

Otra observacion que merece ser desarrollada y discutida, es la siguiente:

La caida de las corrientes meteóricas en la superficie del Sol. ¿no será la causa de la formacion de las manchas? Hasta aquí, á nuestro modo de ver, se las ha tratado de definir como fenómenos que han tenido su origen en las profundidades de las capas del astro, ó por lo menos el único origen exterior que se las ha atribuido, es el de las influencias planetarias. Por nuestra parte, dejamos ya espuestas en otro lugar sobre esto mismo las diversas hipótesis, y parece llegado el caso de agregar otra nueva, haciendo todas las salvedades necesarias, con relacion á su valor real. Cuando una masa de meteoros se precipita sobre el globo solar con la considerable rapidez de que cada corpúsculo está animado; ¿no es verosímil que haga un taladro en la fotosfera luminosa taladro tanto mas estenso cuanto mas dilatada sea la seccion del rastro meteórico? Si el fenómeno de la caida solo dura un tiempo muy breve, habiendo cesado la causa de la rasgadura fotosférica, la mancha solo tiene una duracion corta; pero si el rastro tiene una gran longitud, esa duracion será proporcional á ella y el área de la mancha será igualmente proporcional á la amplitud de la corriente, y variable tambien como esta. La configuracion de las manchas, los núcleos y las penumbras esplicaríanse ademas en esta hipótesis lo mismo que en cualquiera otra que admita el principio de que las manchas son agujeros de la fotosfera. Por último, los límites de las zonas de las manchas solares estarían en relacion con los de las inclinaciones de las órbitas primitivamente descritas por los enjambres de meteoros antes de precipitarse sobre la superficie del Sol.

Para concluir de decir lo que nos proponemos acerca de la alimentacion de la radiacion solar, nos resta esponer la teoria que esplica esa alimentacion por la transformacion en calor de la fuerza de gravitacion que ha

condensado en un solo foco las moléculas de la nebulosa primitiva. Al principio esas moléculas, relativamente muy distantes las unas de las otras, si bien dotadas de la fuerza de gravitacion propia de toda materia, formaban en realidad una masa caótica ó confusa y poco á poco bajo la influencia de la gravitacion, fuéronse condensando en un nucleo que llegó á ser el centro preponderante de atraccion de toda la masa. «Las moléculas de la nebulosidad, precipitándose así las unas sobre las otras, dice Balfour-Stewart, producen el calor precisamente como cuando se lanza con fuerza una piedra desde la altura de un precipicio, el calor es tambien la última forma en que se convierte la energía potencial de la piedra.» Esta teoría, como se ve, no se diferencia esencialmente de la anterior. Es siempre la trasformacion de la fuerza viva en calor que sirve para explicar la radiacion del Sol; solamente que no es á una caída de cuerpos estraños al sistema á lo que esta radiacion es debida, sino á la de las moléculas mismas que le formaban en su origen. Esta precipitacion de las moléculas las unas contra las otras, puede tambien considerarse bajo otro punto de vista, el de la condensacion de la masa del Sol. Ahora bien, es sabido que la condensacion viene acompañada siempre de un desprendimiento de calor. Se ha calculado que la disminucion de un milésimo en el diámetro del Sol, bastaria para mantener su radiacion actual durante un periodo de 21,000 años.

Helmholtz, autor de este último cálculo y de la teoría que actualmente exponemos, ha calculado tambien que «la fuerza mecánica equivalente á la mútua gravitacion de las partículas de la masa nebulosa, hubiera valido al principio 454 veces la cantidad de fuerza mecánica disponible en la actualidad en nuestro sistema. Por consiguiente, los $\frac{455}{454}$ de la fuerza nacida de la tendencia á la gravitacion, se habria ya gastado en calor.» Pero lo que nos resta, si se convirtiera en calor, bastaria aun para elevar en 28 millones de grados centígrados la temperatura de una masa de agua igual á las masas reunidas del Sol y de los planetas: ó lo que es igual, una cantidad de calor equivalente á 5,500 veces la que daría.

la combustion del sistema solar todo entero en el caso de que formara una masa de ulla pura.

Podemos, pues, dormir tranquilos, tanto nosotros como las generaciones que nos seguirán durante millares de siglos: nuestra provision de calor y de luz se halla asegurada para un porvenir, cuya duracion excede á nuestro cálculo. La humanidad, si se compara su edad con la de la Tierra, se encuentra todavía en el periodo de su mas tierna infancia. « El tiempo durante el cual ha alimentado séres organizados, dice Helmholtz, es todavía muy corto, comparativamente con aquel, durante el cual no fue mas que una masa de rocas fundidas. Los esperimentos de Bischof sobre el basalto parecen probar que para enfriarse desde $2,000^{\circ}$ hasta 200° centígrados, ha necesitado 350 millones de años. En cuanto á la estension del tiempo que requiere la condensacion que ha debido sufrir la nebulosa primitiva para llegar á constituir nuestro sistema planetario, desafía enteramente nuestra imaginacion y nuestras conjeturas. » « Cualquiera que sea, pues, dice, la fraccion del tiempo que nos queda que vivir todavía, se puede medirla igualmente sin riesgo de equivocarse, por millones de años. ¡El fin del mundo por el enfriamiento y estincion del Sol, está ciertamente lejos de nosotros!

§ 3.—*¿El Sol es una estrella variable?*

Lo que sucederia en la Tierra y en los planetas, y en qué vendrian á parar si se extinguiera el Sol temporalmente.—Estrellas variables, estrellas nuevas, temporales, desaparecidas.—Combustion de hidrógeno en la superficie de la nueva estrella de la Corona —Hipótesis de un aumento en la radiacion solar; de la invasion del Sol por las manchas.—LAS TINIEBLAS de lord Byron.

Ya hemos visto antes que las estrellas son soles mas ó menos análogos al nuestro, con relacion á la composicion química de sus fotoesferas, aunque guardando un punto de mancomunidad con nuestro Sol, á saber, que brillan, como él, con una luz propia, no tomada de focos estraños, ni reflejada como la luz de los planetas.

Pues bien, entre la multitud de estrellas, que existen

diseminadas en el infinito y que tachonan la bóveda celeste, hay cierto número de ellas, cuyo brillo varía con el tiempo, y que tan pronto se debilita como se aumenta. Las unas no ofrecen periodicidad determinada en esas variaciones de intensidad luminosa, ó por lo menos nada semejante ha podido aun averiguarse, mientras que otras parecen brotar súbitamente, brillando con un fulgor igual al de las estrellas de primera magnitud; y decreciendo despues poco á poco, han desaparecido al cabo de algunos siglos, sin dejar rastro alguno: en ciertos puntos del cielo se han visto aparecer estrellas que hasta aquel momento habian sido invisibles, y que despues han persistido, al paso que han desaparecido otras que eran antes visibles. Estrellas variables, estrellas periódicamente variables, estrellas nuevas, estrellas temporales, estrellas desaparecidas; tales son las denominaciones inventadas por los astrónomos para caracterizar los astros que ofrecen tan estraños fenómenos.

Se han ideado muchas hipótesis acerca de las causas de estas variaciones, y se han querido explicar unas veces suponiendo que las estrellas tienen movimientos de rotacion que nos presentan sus fases desigualmente luminosas, ó que están mas ó menos aplastadas, presentándosenos de frente ó de perfil; otras veces admitiendo que son el sitio de repentinas combustiones ó de la estincion real de su luz, y otras en fin reputando sus variaciones como debidas á eclipses ó á la interposicion de cuerpos opacos y oscuros entre ellas y nuestro sistema.

Todas estas hipótesis pueden ser verídicas, pero no son otra cosa en todo caso que conjeturas: sin embargo, observaciones recientes acreditan la realidad de una de ellas. Ha aparecido dos años há en la constelacion de la *Corona boreal* una estrella que se creyó nueva al principio, que se ha reconocido luego como idéntica á una de novena magnitud marcada en los catálogos, y que durante cierto período ha ofrecido un brillo inusitado, hasta el punto de ser visible á la simple vista, igualando á la estrella de segunda magnitud, la *Perla*, que corresponde á la misma constelacion. Ahora bien, esta es-

trella nueva ha sido estudiada en su luz por el método del análisis espectral, y W. Huiggins ha podido deducir, como opinion muy probable, que el astro se habia encontrado súbitamente envuelto entre llamas de hidrógeno en combustion. Alguna gran convulsion, cuya causa permanece aun desconocida, ha podido desprender una cantidad enorme de gas: gran parte de este mismo gas era el hidrógeno que ardía sobre la superficie de la estrella, en combinacion con cualquiera otro elemento; y esta terrible deflagracion habia hecho mas activa la incandescencia de la materia sólida de la fotosfera. Cuando el hidrógeno libre se consumió, la llama se disminuyó gradualmente, la fotosfera se hizo menos luminosa y la estrella volvió á su primitivo estado.»

Este hecho arroja una viva luz sobre la causa de la variabilidad de cierto número de estrellas, y sobre todo, de estrellas temporales, que como la Peregrina de 1572, alcanzaron de pronto un brillo considerable, estinguiéndose luego poco á poco, y en fin desapareciendo. La cuestion es pues ahora averiguar si nuestro Sol puede sufrir un dia tales variaciones en su intensidad, y si puede ser el teatro de tan imponentes fenómenos. Las mas recientes observaciones prueban que masas gaseosas de hidrógeno en combustion se desprenden de la fotosfera, produciendo el fenómeno de las protuberancias, y si es realmente así, pueden tener lugar dos hechos opuestos. La causa del desprendimiento gaseoso puede disminuir poco á poco en actividad y debilitar á la vez la intensidad de las radiaciones luminosas y caloríficas, y puede tambien por el contrario redoblar su energía, activando la potencia del inmenso foco.

¿Cuales serían las consecuencias de tales cambios? Si fuesen súbitos, es claro que estas consecuencias podrian ser en extremo temibles, pues que un acrecentamiento aun limitado, en el calor solar, aumentando en toda la Tierra la temperatura media de cada clima, modificaría profundamente las condiciones de existencia de los seres organizados en su superficie. Supongamos solamente que el clima de las zonas tropicales invadiera las zonas tem-

pladas: el cultivo del trigo sería imposible, destruyéndose de un solo golpe el alimento principal de las naciones civilizadas. Si se aumentáran algunos grados más de calor, gran número de especies animales, y el hombre mismo, no podrían vivir más en la superficie de la Tierra.

Un cambio en sentido contrario tampoco sería menos funesto produciendo la invasión de las zonas templadas por los climas polares, y haciendo refluir hácia una estrecha zona del ecuador los animales y las plantas que pueblan en la actualidad mucho más dilatadas regiones. Por lo demás, si tales acontecimientos se realizaran y si tan profundas revoluciones trastornaran la economía actual del globo terrestre, no es decir con esto que se extinguiría la vida: cambiadas las condiciones, es posible y aun también probable que un nuevo génesis produjera una nueva flora, un nuevo reino animal, y solo como condición previa de esta evolución, y de esta emisión de vida, vendrían para los seres actualmente vivos la destrucción y la muerte.

Algunos sabios han pretendido poder explicar, por las variaciones del brillo de nuestro Sol, el período glacial; pero no admiten esta explicación los geólogos: los cambios ocurridos poco á poco en la distribución de los continentes y de los mares, bastan para explicar los climas excesivos, por los cuales ha pasado nuestro globo, y que han podido dar lugar poco á poco á los climas actuales.

Ya hemos visto que el número de las manchas solares parece aumentar ó disminuir periódicamente, y en tal caso, ¿debe esto bastar para que pueda colocarse el Sol entre el número de las estrellas periódicamente variables? En una palabra, las manchas que oscurecen al disco, ¿quitan acaso á su radiación una fracción de su intensidad bastante considerable para que el cambio de brillo pueda apreciarse á la distancia de las estrellas? Hablando en términos absolutos es cierto, aunque en todo caso debe ser harto insignificante ese cambio, puesto que todavía no han podido apreciarse de una manera positiva sus efectos en la superficie de la Tierra.

Ahora bien, ¿cuál sería el resultado de la invasión de la fotosfera por muchas manchas ó muy estensas? Si son producto de una disminucion local en la temperatura del astro, claro es que resultaria una doble disminucion de intensidad en el calor y en la luz que envia el Sol á los planetas y á la Tierra. Completamente cubierto de manchas, el astro radiante y trasformado en astro oscuro, dejaría de animar con sus rayos bienhechores al mundo que en torno de él gravita, en cuyo caso la muerte, la destruccion y la inmovilidad, serian lo que reemplazaria por do quier al movimiento y á la vida. Pero estos son juegos de pura imaginacion que están desmentidos por la prolongada estabilidad de nuestro sistema, y cuyo fantasma puede evocar únicamente el poeta. Lord Byron ha descrito el drama sombrío y terrible, del cual seria desolado teatro nuestro planeta, si el foco de nuestra vida y de la de todos los demas séres que pueblan la Tierra, llegara súbitamente á extinguirse. Reproducimos á continuacion este trozo de poesia, para aquellos de nuestros lectores que apetezcan leer tranquilamente al amor del fuego la relacion de escenas grándiosas ó fantásticas, y dar pasto á su imaginacion con horrores sublimes.

«LAS TINIEBLAS.»

«He tenido un sueño, que en realidad no era todo un sueño.

»El Sol radiante habia desaparecido, y las estrellas (1) erraban solitarias al través de la oscuridad, en el eterno espacio, privadas de sus rayos y sin seguir una ruta regular; y la Tierra helada flotaba ciega y negra en el aire, que ya no estaba alumbrado por la Luna: acercábase, se iba y tornaba á venir la mañana, sin traer el dia; y los hombres habian olvidado sus pasiones en medio

(1) Indudablemente es de los planetas de lo que quiere hablar aquí lord Byron.

del terror de esta desolacion, y todos los corazones, helados tambien, imploraban la luz con una plegaria egoista; y vivian en torno de grandes hogueras encendidas; y los tronos, los palacios de los reyes coronados, las cabañas, las habitaciones de todas clases estaban ardiendo, para esclarecer las tinieblas: las poblaciones se habian convertido en presa del incendio, y los hombres hallábanse reunidos alrededor de sus moradas abrasadas, para mirarse una vez todavía los unos á los otros. Dichosos los que vivian próximos á los volcanes y á sus cumbres luminosas!

»Una terrible esperanza era todo lo que restaba al mundo; las llamas devoraban los bosques, y de hora en hora veíaseles caer y desaparecer, y los troncos encendidos chisporroteaban, apagándose últimamente con un crujido, volviendo despues á apoderarse de todo las tinieblas. Su desesperante fulgor, cruzando en pasajeros relámpagos ante la vista asombrada de los hombres, dábales un aspecto extraño á este mundo: los unos tendidos en tierra, cerraban sus ojos y lloraban, otros apoyaban la barba en sus puños cerrados y sonreian, y otros en fin corrian aquí y allí, avivando las piras fúnebres, mirando con cierta inquietud al cielo monótono, estendido como un paño mortuorio sobre el universo muerto; (1) despues revolcábanse en el polvo, blasfemando, rechinando los dientes y dando alaridos: las aves espantadas, chillaban, revoloteaban sobre la tierra, y agitaban sus alas inútiles: los animales mas fieros se habian vuelto tímidos y temblorosos, y las víboras arrastrábanse y se entrelazaban en medio de la multitud; silbaban, pero no picaban y se las mataba para comerlas.

»Y la Guerra que estaba ya paralizada algun tiempo, volvía de nuevo á principiar á embriagarse en su carnicería: obteníase una comida á precio de sangre, y cada cual saciaba separadamente su apetito cruel y sombrío. Nada de amor: toda la Tierra no tenia mas que un pen-

(1) Si el Sol se hallase únicamente estinguido, tendríamos aun el espectáculo magnífico del cielo estrellado; triste consuelo ciertamente para una poblacion helada y hambrienta.

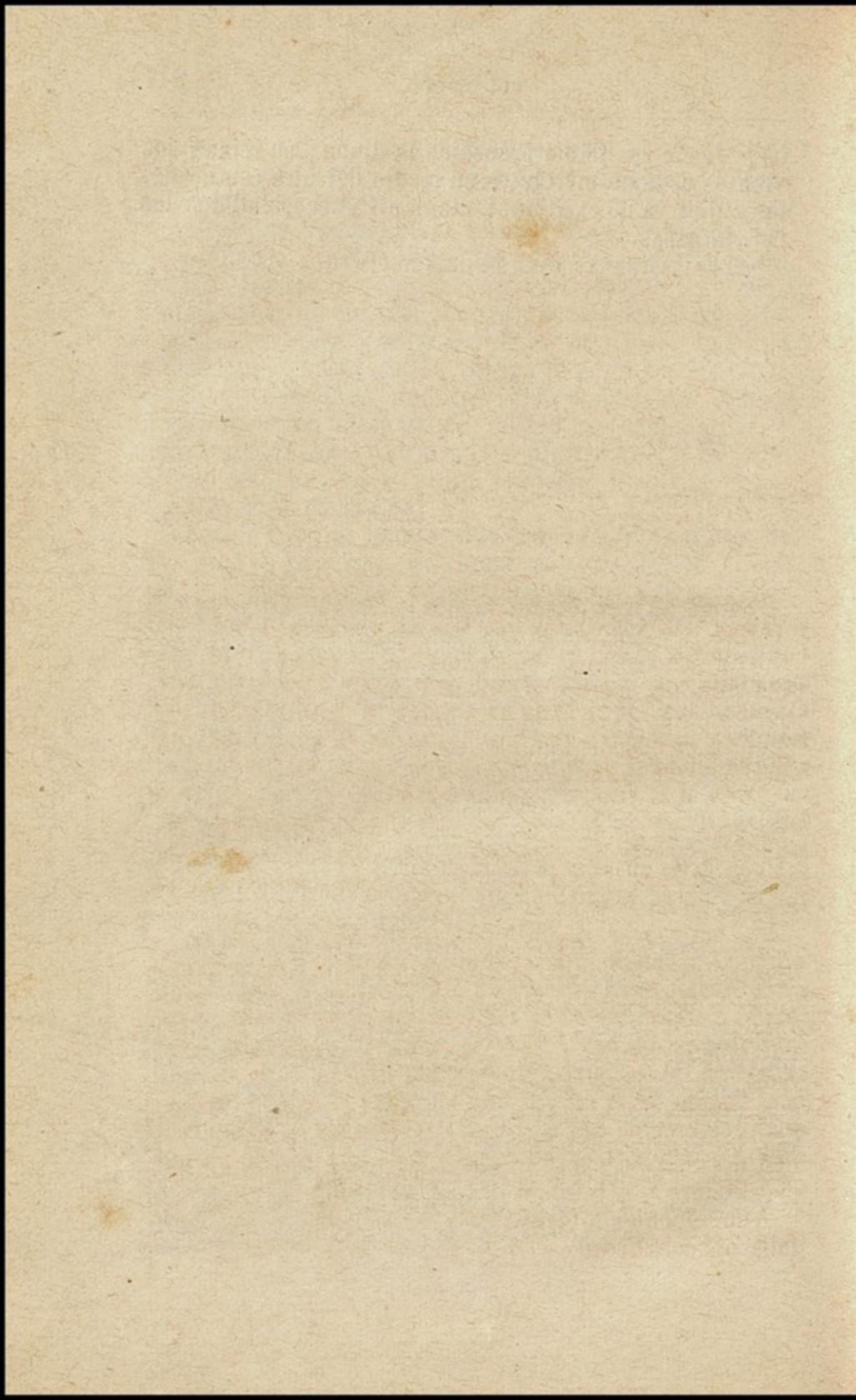
samiento, el de la muerte, de una muerte inmediata y sin gloria. Todas las entrañas eran presa de los tormentos del hambre, morían los hombres y permanecían insepultos sus huesos y sus carnes: flacos y macilentos, devorábanse unos á otros, los perros acometían á sus mismos dueños, á excepcion de uno solo que permaneciera junto á un cadáver, ahuyentando á las aves carnívoras, á las fieras y animales de presa y á los hombres hambrientos, hasta que su misma hambre les hacia sucumbir ó que otros muertos alimentaban sus débiles mandíbulas: no buscó para sí mismo sustento alguno, y exhalando un débil y prolongado ahullido, con un grito rápido de dolor, espiró al fin, lamiendo la mano, cuyas caricias no le respondian ya.

»Poco á poco el hambre fue segando la multitud; de una ciudad populosa, dos hombres únicamente vivían aun, y eran enemigos: reuniéronse ambos detrás de las cenizas espirantes de un altar, donde una multitud de cosas santas se habían hacinado para un uso sacrilego; transidos de frio, con sus manos ateridas y descarnadas escarbaron aquellas cenizas, todavía calientes, y su soplo débil, buscando un resto de vida, logró al fin producir una llama apenas sostenida: cuando hubo animado algo su pálido fulgor, levantaron ambos la vista y se miraron—conociéronse, lanzaron un grito unísono y espiraron;—murieron ante el espectáculo de su fealdad mútua, ignorando cada uno de ellos quién era aquel sobre cuya frente habia escrito el hambre esta palabra fatídica: «¡Maldito!»

»Estaba el mundo desierto; los países poblados y poderosos solo eran una masa inerte, privada de estaciones, de vegetacion, de árboles, de hombres, y en fin, de vida,—una masa de muerte,—un caos de arcilla endurecida, petrificada. Los rios, los lagos y el Océano estaban inmóviles, y nada se agitaba en sus profundidades silenciosas y solitarias; los buques sin tripulacion se podrian en los mares, y sus mástiles caian pieza por pieza, y al caer, dormían sobre el abismo, que ninguna señal daba ya de movimiento ni de vida: las ondas marítimas estaban muertas, las mareas estaban en la tum-

ba, donde les habia precedido la Luna, su reina; los vientos estaban marchitos en medio del aire estancado, las nubes ya no existian, no tenian ya necesidad de ellas las TINIEBLAS.

»¡Las TINIEBLAS eran el universo!»



EPILOGO.

¿ESTÁ HABITADO EL SOL Ó PUEDE ESTARLO?

Imposibilidad física de la existencia de seres vivos y organizados en la superficie del Sol.—La novela del Sol habitado ó habitable.—Condiciones lógicas de las hipótesis sobre la habitabilidad de los astros.

Después de todo cuanto hemos visto acerca de la naturaleza del Sol, de lo que los astrónomos llaman su constitución física, la cuestión que encabeza este último capítulo, merece acaso un examen serio y formal? Ciertamente, si se tiene en cuenta la autoridad de los hombres científicos que han sostenido la afirmativa: de ningún modo si nos atenemos á las más recientes observaciones, á la sola verosimilitud deducida de la analogía, ó por mejor decir de las reglas conocidas de los fenómenos físicos, tales como los vemos manifestarse en la superficie de la Tierra, tales como deben también manifestarse en el seno del globo solar.

Los partidarios de la hipótesis de Wilson—en cuyo número es sabido que se cuenta nuestro ilustre Francisco Arago hará en verdad más de quince años—creyendo ciertamente en la existencia real de un núcleo relativamente oscuro y frío, separado y preservado de la radiación de la fotosfera por una gruesa capa de nubes, dotada de la facultad de absorber el calor y la luz, debieron creerse con derecho para afirmar la habitabilidad del Sol; pero esta hipótesis precisamente de un núcleo oscuro y frío, no es hoy ya admisible.

Aun suponiendo demostrada la existencia de una pantalla opaca ó dotada para la luz y el calor de una poten-

cia absorbente bastante débil, solo se probaria una cosa, que el núcleo interior no se calienta por la radiacion; pero desde el momento en que la fotosfera se pone en contacto con la capa nebulosa de las penumbras, le comunica forzosamente su calor por via de conductibilidad: envolviéndola por todas partes, la caldea á la vez por todos los puntos de su superficie, y se comprende que aunque el poder de conductibilidad fuese muy débil, el equilibrio de la temperatura deberia establecerse al fin en toda la masa, cuya temperatura no puede ser me- que la de la fusion. Los gases son verdaderamente muy malos conductores del calor; pero su conductibilidad no es nula, y acumulando los siglos, comprendese que puede establecerse cierto equilibrio por esta sola via entre la fotosfera y el núcleo. No olvidemos además que las masas gaseosas se calientan por conveccion ó transporte, y que á no suponer la inmovilidad de las capas subyacentes, debe propagarse el calor con rapidez. Ahora bien los fenómenos de las manchas, sus trasformaciones rápidas y los movimientos que suponen esas trasformaciones mismas, bien sea en las capas mas profundas, ó bien en las de la fotosfera, patentizan á nuestro parecer la realidad de una combinacion continua de esas capas diversas, y por consecuencia de una comunicacion mutua del calor de que están dotadas.

Es pues muy probable que todo el globo solar alcanza una temperatura muy elevada en toda su masa; temperatura que escede á la de la fusion de la mayor parte de los cuerpos simples, cuya existencia ha revelado el análisis espectral en su atmósfera, y al propio tiempo está fuera de duda que las capas concéntricas de la materia de que está formado, ejercen presiones considerables las unas sobre las otras, puesto que la intensidad de la gravedad es 28 veces mayor en su superficie que en la superficie de la Tierra; y esta presion puede oponerse á la fusion, mas no á la incandescencia. Pero creemos que la hipótesis de un núcleo en estado líquido é incandescente ó tal vez en estado gaseoso es mas verosimil.

De todos modos, es absolutamente imposible comprender cómo seres vivientes, animales y vegetales, pu-

dieran existir en semejante medio. Es ciertamente muy bonito bordar una novela sobre los habitantes del Sol, imaginar su existencia, singular por lo menos y estraña, en el interior de una especie de estufa, suponerles observando el cielo al través de los claros producidos por las aberturas de las manchas; pero todo esto es puramente fantástico, no científico.

Seguramente conviene en una cuestion tan indeterminada, suspender el juicio: la constitucion fisica del Sol es aun muy poco conocida para hablar con certeza y resolver tal cuestion; únicamente pueden invocarse verosimilitudes, pero es preciso atenerse á los hechos acreditados sin salir de su terreno; y no imaginar para sostener una hipótesis enteramente gratuita, leyes diversas de las leyes físicas que la observacion experimental ha revelado. Esto es lo que precisamente han hecho los partidarios de la habitabilidad del Sol.

En resumen, hay un hecho capital que no pueden esplicar; la constancia de las radiaciones solares y el prodigioso gasto de calor y de luz del astro, para el cual no se comprende que pueda bastar la delgada envoltura que compone la fotosfera, si su incandescencia no estubiese alimentada por el calor de la masa entera; y aunque se adopte la teoría de la conservacion de la radiacion del Sol por la caida de los meteoros ó la de la trasformacion de la fuerzade gravitacion en calor, ni en una ni en otra hipótesis es posible suponer que se encuentre en una temperatura baja el núcleo del astro.

Es verdad que algunos sabios han tratado de esplicar es á baja temperatura por medio de hechos físicos conocidos. Para ello han asimilado el núcleo solar rodeado de su fotosfera, al glóbulo esferoidal de los experimentos curiosos de Boutigny, glóbulo que queda bajo cero en un recinto elevado al rojo-blanco; pero es demasiado evidente que las condiciones no son las mismas: en un caso, el recinto es una masa gaseosa incandescente, y en el otro es un globo de metal ó de porcelana sólida. Suponen ellos que el núcleo solar se halla en estado sólido, mientras que el glóbulo de M. Boutigny es una simple gotilla líquida.

M. Liais supone que la atmósfera gris que, según las hipótesis de Wilson y de Herschel, explica las penumbras, se halla dotada de propiedades precisamente inversas á la de nuestra propia atmósfera: esta absorbe los rayos de calor luminoso y no se deja atravesar por los rayos de calor oscuro, con lo cual se explica el desperdicio tan débil del calor solar por la radiación diurna y nocturna: la atmósfera interior del Sol por el contrario, sería rebelde á la radiación de la fotosfera, al paso que dejaría escapar con mucha facilidad el calor interior, y así se explicaría la permanencia de una temperatura baja en la superficie del astro. Sin embargo, además de que esta propiedad no pasa de ser una hipótesis gratuita, solo se aplica al calentamiento por medio de la radiación, y no impediría el que procede por vía de conductibilidad ó de convección.

En suma, parécenos muy difícil, si no completamente imposible, concebir al Sol como un astro cuya superficie sea habitable para seres organizados, ni tenemos idea alguna de lo que pudiera ser la vida en un medio cuya temperatura es tan elevada: todos los fisiólogos están conformes en reconocer que ningun organismo terrestre puede resistir á la prolongada inmersión en un medio cuya temperatura apenas excede de 100° ; y no es por cierto de 100° , sino de $1,000^{\circ}$ á $2,000^{\circ}$ de lo que debemos hablar, tratándose de las capas del Sol subyacentes de la fotosfera. ¿Cómo se quiere que animales ó plantas resistan ni un solo segundo una temperatura capaz de fundir metales?

Yo bien se que los que elevan á la categoría de dogmática la habitabilidad de los astros, y pretenden poblar á cualquier costa tanto los de mayor volumen como los mas pequeños, los soles como los planetas, los cometas como las nebulosas, tienen un sistema cómodo de salir del apuro y de esquivar, si no de refutar, las objeciones que opone la ciencia contra sus doctrinas en el caso particular que nos ocupa. Este sistema consiste en imaginar que la materia posee en esos globos propiedades para nosotros desconocidas.

En tesis general no hay duda que allí donde la vida

es posible, á condiciones físicas diferentes corresponden diferentes organismos; y esto sucede en la Tierra misma, habiendo una armonía necesaria entre la existencia y el medio; pero estas condiciones tienen también sus límites, como lo prueba la historia paleontológica de nuestro planeta: en las épocas primitivas no se había manifestado aun la vida, sino que fue desarrollándose progresivamente en proporción y á medida de las modificaciones físicas que experimentaban la atmósfera y el suelo.

A menos de no caer en los delirios supersticiosos de los pasados siglos, y de creer en la existencia de ciertos animales imaginarios y de las salamandras invulnerables por el fuego, deberemos considerar al Sol como un astro en el cual, y en cuyo centro, es de todo punto imposible la vida. ¿Podrá tal vez convertirse algún día en un globo habitable y habitado? Posible es que así suceda; pero entonces es probable que nuestra Tierra y los demás planetas no estén ya poblados.

La misión del Sol es por otra parte, bajo el punto de vista de la existencia vital, tanto ó acaso más importante aun que la de la Tierra y de los demás cuerpos celestes que circulan en torno suyo: es el foco de las vibraciones poderosas que por doquier llevan el movimiento y la vida, y cuya interrupción fuera instantáneamente en la superficie de todos los astros que constituyen el mundo solar, la señal de la destrucción de todo organismo, de la inmovilidad y de la muerte.

las mismas diferentes corresponden
 esto sucede en la Tierra misma,
 necesaria entre la existencia y
 iones tienen también sus límites,
 storía paleontológica de nuestro
 primitivas no se había manifes-
 o que fue desarrollándose progre-
 ion y a medida de las modificacio-
 imentalaban la atmósfera y el suelo.
 ar en los delirios supersticiosos de
 y de creer en la existencia de ciertos
 ios y de las salamandras invulnerables
 peramos considerar al Sol como un as-
 y en cuyo centro, es de todo punto impo-
 Podría tal vez convertirse algún día en un
 de y habitado? Posible es que así suceda;
 s es probable que nuestra Tierra y los demás
 estén ya poblados.
 del Sol es por otra parte, bajo el punto
 existencia vital, tanto ó acaso mas im-
 te la de la Tierra y de los demás cuer-
 circulan en torno suyo: es el foco de las
 osas que por doquier llevan el movi-
 y cuya interrupción fuera instantánea-
 cie de todos los astros que constituirían
 la señal de la destrucción de todo
 ovilidad y de la muerte.

INDICE

DE LO CONTENIDO EN ESTE TOMO.

	Págs.
EL SOL.	5

CAPITULO PRIMERO.

EL SOL, MANANTIAL DE LUZ, DE CALOR Y DE ACTIVIDAD QUIMICA.

§ 1.— <i>La Luz del Sol.</i> —Algunas nociones de fotometría; ¿qué se entiende por potencia iluminatriz y por brillo intrínseco de un foco luminoso?—¿A cuántas luces de vela equivale la potencia iluminatriz del Sol?—La luz solar comparada con la del arco voltáico.—medida de la intensidad intrínseca de la luz so'ar.	9
§ 2.— <i>El calor del Sol.</i> —La temperatura de nuestro globo es debida á tres principios de calor: el calor interno, el calor so'ar y el de los espacios interestelares.	18
§ 3.— <i>Radiaciones químicas del Sol.</i> —Combinaciones y descomposiciones químicas producidas por la luz solar.	35

CAPITULO II.

INFLUENCIA DEL SOL SOBRE LOS SERES VIVIENTES.

Accion de la luz solar sobre las p'antas.—Eliminacion del oxígeno y fijacion del carbono.—Vegetacion en la oscuridad.—Influencia indirecta de la luz sobre las flores.—Los vegetales son seres formados de aire por la accion del Sol.	41
--	----

CAPITULO III.

EL SOL EN EL MUNDO PLANETARIO.

- § 1.—*Posicion que ocupa y papel que desempeña el Sol en el sistema planetario.*—Movimiento diurno aparente del Sol, su orto, su ocaso y tránsito por el Meridiano.—Movimiento aparente de traslacion anual; realidad de los movimientos de la Tierra.—El Sol es el foco comun de las órbitas planetarias.—Enumeracion de los tres grupos planetarios del mundo solar y de sus satélites. 52
- § 2.—*Forma y dimensiones aparentes del Sol.*—¿Qué forma tiene el disco solar?—El Sol en el horizonte; su forma doblemente elíptica; formas estrañas debidas á la refraccion de las capas de vapor.—Distintas maneras de observar el Sol sin que hiera la vista; helioscopios.—Proyeccion del disco solar en la cámara oscura. 60
- § 3.—*Distancia del Sol á la Tierra.*—¿Qué es la paralaje de un astro?—Medida de una distancia inaccesible; paralaje horizontal.—Medida de la paralaje del Sol; método de Aristarco de Samos; oposiciones de Marte; pasos de Venus.—La distancia del Sol deducida de la viveza de la luz y de la constante de la aberracion.—Tiempo que invertirian en recorrer la distancia del Sol á la Tierra distintos cuerpos; la luz, el sonido, una bala de cañon, un tren de línea férrea. 74
- § 4.—*Dimensiones reales del Sol.*—Su masa y densidad.—Intensidad de la gravedad en su superficie.—Diámetro del Sol: á cuántos diámetros terrestres equivale.—Superficie del globo solar: su volumen.—Representacion en miniatura del Sol y de los planetas. 84

CAPITULO IV.

MOVIMIENTO DE ROTACION DEL SOL.

- § 1.—*Descubrimiento del movimiento de rotacion*—Fabrico descubre en 1611 las manchas del Sol y su movimiento aparente.—Galileo determina la duracion de su visibilidad y la de la rotacion del Sol. 93
- § 2.—*Uniformidad del movimiento de las manchas solares.*—Duracion real de la rotacion.—Movimiento progresivo de las manchas desde el borde oriental al borde occidental del S. I.—Las manchas existen en la

- superficie misma del Sol; su movimiento real es uniforme.—Sentido de ese movimiento y duracion media de la rotacion. 96
- § 3.—*Elementos del movimiento de rotacion.*—Polos y ecuador del Sol.—Trayectorias de las manchas; en qué época del año parecen rectilíneas.—Nudos del ecuador del Sol. 102
- § 4.—*Variaciones en la duracion de la rotacion del Sol en distintas latitudes.*—Movimientos propios de las manchas solares.—Diferencias entre la duracion de las rotaciones, segun sus distancias al Ecuador del Sol.—Observaciones de MM. Laugier, Carrington y Spærer. 104

CAPITULO V.

EL SOL EN EL MUNDO SIDERAL.

- § 1.—*El Sol es una estrella.*—El Sol visto desde Neptuno, en los límites del mundo planetario —Su magnitud aparente á la distancia de las estrellas; á la de Sirio.—La constitucion química de las estrellas es semejante á la del Sol.—El Sol es una estrella de mediana magnitud. 107
- § 2.—*El Sol es una estrella de la Via láctea* —¿Cuál es la posicion del Sol en el mundo estelar?—La Via láctea, su forma, su constitucion.—El Sol es una estrella de la Via láctea; su posicion en la nebulosa, segun W. Herschel. 110
- § 3.—*Movimiento de traslacion del Sol en el espacio.*—Opinion de Lalande sobre la probabilidad de un movimiento de traslacion del Sol: enlace de este movimiento con la rotacion.—Cálculo de Lambert.—W. Herschel resuelve el problema; punto hácia el cual se dirige el sistema solar.—El movimiento universal. 114

CAPITULO VI.

CONSTITUCION FÍSICA Y QUÍMICA DEL SOL.

- § 1.—*Opiniones antiguas sobre la naturaleza del Sol.*—Dimensiones y naturaleza física del Sol, segun los antiguos: Anaxágoras y Eudoxio de Cnido.—Primeras hipótesis producidas par el descubrimiento de las manchas solares. 121
- § 2.—*Estudio de la superficie del globo solar.*—Las

- manchas del Sol; aspecto general.—*Nucleos* y penumbras.—Manchas brillantes ó *fáculas*.—Formas y dimensiones de las manchas; manchas perceptibles á la simple vista. 124
- § 3.—*Apariciones, movimientos y transformaciones de las manchas solares*.—Su número y periodicidad.—Relacion entre dicha periodicidad, la temperatura terrestre, los movimientos de los planetas Júpiter y Venus, y las perturbaciones de la aguja imantada. 139
- § 4.—*¿Qué son las manchas solares?*—Distintas hipótesis sobre la constitucion física del Sol.—Teoría de Wilson y de W. Herschel.—Las manchas son cavidades.—La fotosfera es una sustancia gaseosa en estado de incandescencia. 153
- § 5.—*Hipótesis contemporáneas sobre la constitucion física del Sol*.—Análisis espectral de la luz solar, y teoría propuesta por MM. Kirchhoff, Bunsen y Mitscherlich.—Teoría de M. Faye. 163
- § 6.—*Las protuberancias del Sol vistas durante los eclipses totales*.—Protuberancias, gloria y aureola.—Naturaleza química de las protuberancias; análisis espectral de su luz; observaciones del eclipse total de 18 de agosto de 1868, por MM. Janssen, Rayet y Tennani.—Consecuencias deducidas de dichas observaciones, con relacion á la constitucion física del astro.—Capa continua de hidrógeno incandescente que cubre la fotosfera.—Relaciones entre las protuberancias, las *fáculas* y las manchas. 177

CAPITULO VII.

CONSERVACION DE LA RADIACION SOLAR.

- § 1.—*Del calor en la superficie del Sol y en el interior de su masa*.—Temperatura de las distintas regiones del globo solar.—Radiacion calorífica del centro y de los bordes de la fotosfera, de las *fáculas* y de las manchas. 191
- § 2.—*¿Se enfria el Sol con el trascurso de los siglos? Cómo se conserva la energía de la radiacion solar*.—La radiacion solar no puede ser el producto de una simple combustion.—Diferentes hipótesis; calor desarrollado por la rotacion.—Esplicacion del calor del Sol por la caída de los meteoritos.—Teoría de Helmholtz; origen de las radiaciones solares; transformacion de la fuerza de la gravedad á consecuencia de la

- condensacion de las moléculas de la nebulosa primitiva 193
- § 3.—¿*El Sol es una estrella variable?*—Lo que sucedería en la Tierra y en los planetas, y en qué vendrían á parar si se extinguiera el Sol temporalmente.—Estrellas variables, estrellas nuevas, temporales, desaparecidas.—Combustion de hidrógeno en la superficie de la nueva estrella de la Corona.—Hipótesis de un aumento en la radiacion solar; de la invasion del Sol por las manchas.—LAS TINIEBLAS de lord Byron. 204

EPILOGO.

¿ESTÁ HABITADO EL SOL Ó PUEDE ESTARLO?

- Imposibilidad física de la existencia de seres vivos y organizados en la superficie del Sol.—La novela del Sol habitado ó habitable.—Condiciones lógicas de las hipótesis sobre la habitabilidad de los astros. 213

