

Q.13-25

2218



BIBLIOTECA CIENTÍFICO-LITERARIA
LIBRO XXI

EL SOL

EL SOL

POR EL P. A. SECCHI S. J.

DIRECTOR DEL OBSERVATORIO DEL COLEGIO ROMANO,

Corresponsal del Instituto de Francia.

TRADUCIDO POR A. GARCIA,

EX-CATEDRÁTICO DE FÍSICA Y QUÍMICA

y Director de Telégrafos en la estación de Vigo.

TOMO II.



SEVILLA
Administración
de la Biblioteca Científico-Literaria
LERENA 8.

MADRID
Librería de Victoriano
Suarez.
JACOMETREZO 72

IMP. DE R. BALDARQUE,

1879

EL SOL.

SEGUNDA PARTE.

ESTRUCTURA DEL SOL.

ACTIVIDAD EXTERIOR.

LIBRO QUINTO.

De las protuberancias solares.

CAPÍTULO PRIMERO.

Primeras investigaciones.

INTRODUCCION.

El eclipse de 1868 señalará siempre una fecha memorable en los anales de la astronomía, porque de él data el descubrimiento de Janssen, mediante el cual los astrónomos pueden estudiar las protuberancias en cualquier ocasion, sin necesidad de esperar á que la naturaleza las muestre eclipsando por breves instantes la poderosa luz que nos impide verlas. Desde entonces se hizo indispensable el espectróscopo á los astrónomos, y gracias á él se pueden observar diariamente estas producciones de la actividad solar, que de ordinario se ocultaban á nuestra vista. Con ardor

incomparable se ha acometido este estudio: en pocos años se han obtenido resultados en extremo interesantes: los descubrimientos nuevos han llenado muchos de los vacíos que existían en varios ramos de la física solar, y esclarecido una multitud de cuestiones, que sin ellos hubieran permanecido indefinidamente sumidas en la más profunda oscuridad.

El mismo día que se recibía en Europa la noticia del descubrimiento de Janssen, obtenía por su parte iguales resultados el célebre observador Lockyer. Tal coincidencia muestra que la ciencia estaba en sazón para este descubrimiento; pero es necesario convenir en que la observación del eclipse total facilitó en gran manera la inteligencia de fenómenos que sin ella quizá durante largo tiempo no se hubieran comprendido bien ni interpretado rectamente. Pocos ejemplos ofrece la historia de la ciencia de un éxito tan rápido y completo, tanto más notable, cuanto que se trataba de un trabajo difícilísimo, y los hombres dedicados á él eran muy pocos: creemos, pues, no ser temerarios al afirmar que la posteridad hará justicia al celo y á la habilidad de nuestros doctos contemporáneos.

Vamos á dar á conocer, con la brevedad que permita la importancia del asunto y la cantidad de los materiales, los métodos usados en las observaciones y los resultados obtenidos; pero ántes de comenzar, debemos advertir al lector que es en extremo difícil señalar la parte correspondiente á cada explorador. Con frecuencia, la misma observación é igual descubrimiento han sido hechos simultáneamente en países muy apartados; en otros casos, aunque el descubri-

miento haya sido hecho en días diferentes, los trabajos que condujeran á su obtencion se han realizado con tal independencia que, como en el caso anterior, la gloria corresponde á varios observadores. Preciso es decir de estos trabajos lo que de una victoria obtenida por un puñado de héroes; se debe al mérito de todos y al de cada uno; el honor consiste en tener el nombre inscrito en las listas de tan gloriosos combatientes, sin que nadie piense en reivindicar la gloria debida á lo que hizo personalmente para obtener el triunfo comun, porque hacerlo seria manifestar una rivalidad inútil y pueril.

Janssen, Lockyer, Herschel, Zöllner y Huggins abrieron la brecha, tras ellos llegaron Respighi, Tacchini, Lorenzoni, Rayet, Young, etc. Tales son los nombres que el lector hallará frecuentemente en nuestra exposicion. Hemos procurado, por cuantos medios estan á nuestro alcance, enterarnos de los trabajos de cada uno de estos doctos y laboriosos observadores, á fin de poder señalar la parte que á cada uno corresponde; pero al hacerlo así, nos serviremos, siempre que nos sea posible, de los resultados obtenidos por nuestro trabajo personal. Por lo demas, si al juzgar las obras de tanto distinguido observador ocurre que apreciemos las de alguno en ménos de lo que corresponde á su valor real, atribúyase esto á la dificultad de la empresa, nunca á nada que pueda asemejarse en lo más mínimo á espíritu de parcialidad ó malevolencia.

El primer paso es siempre el más difícil, y la gloria verdadera corresponde al primer descubrimiento: una vez abierto el paso, la perseverancia y la habili-

dad bastan, y los descubrimientos tienen forzosamente que multiplicarse. Así pudimos ser nosotros de los primeros que entraron en esta via, repitiendo la observacion de Janssen el mismo día en que nos la dió á conocer el periódico del abate Moigno, y desde entonces no hemos cesado de ocuparnos en el asunto. El lector comprenderá, pues, que nos hemos de ocupar con preferencia de lo que hemos visto nosotros mismos, sin que al hacerlo así tengamos intencion de atribuirnos trabajos ajenos, y si solo el deseo de describir los fenómenos con más seguridad y conviccion.

§ I. OBSERVACIONES DE LAS PROTUBERANCIAS HECHAS CON POCA ABERTURA EN LA MIRA.

Segun el objeto, puede variar el método que se siga para la observacion de las protuberancias; pero sea el que se quiera, exige cierta habilidad, un espectróscopo dotado de un mecanismo que permita moverlo de tal manera que pueda tomar todas las posiciones alrededor del eje del anteojo, y ademas, que éste sea susceptible de moverse de un modo lento, regular y adecuado. Para conseguir esto último, debe estar en combinacion con una máquina de reloj, ó al ménos adaptado á un montaje paraláctico, con el mecanismo necesario para moverlo lentamente; porque en realidad, hay precision de mantener el limbo solar sobre la abertura de la mira, cuyo ancho no pasa de algunas décimas de milímetro, y esto, durante toda la observacion, siguiendo el movimiento del astro. En ciertas

investigaciones delicadas no dá el reloj motor la exactitud necesaria y es preciso saber obtenerla.

Ya nos hemos ocupado de los espectróscopos (1) y no volveremos á describirlos; pero creemos conveniente consignar aquí ciertos pormenores útiles en el nuevo género de observaciones de que vamos á ocuparnos.

En la Primera Parte describimos sumariamente el instrumento que nosotros usamos, y con el fin de facilitar su inteligencia, repetiremos, ampliándola, parte de la descripción ya hecha. Al portaocular del antejo ecuatorial (2) está unido el colimador del espectróscopo, en el cual hay un prisma de vision directa; y la union está hecha de tal modo, que coinciden los ejes de ámbos tubos, y ademas, puede el colimador girar libremente alrededor de su eje. Al extremo del colimador, y formando cuerpo con él, estan las placas que sostienen los prismas; y articulado á la segunda y última, el antejo del espectróscopo, que, como digimos, tiene el ocular lateral. Como se comprende fácilmente por lo dicho, esta disposicion permite gran libertad en el uso del instrumento. Con el fin de facilitar el reconocimiento del punto observado, lleva el buscador una plancha y un plano, iguales á los que sirven en el aparato de proyecciones.

En las observaciones espectroscópicas ordinarias, se trata solamente de examinar la luz que emite un

(1) Tomo 1.º

(2) Este antejo tiene 25 centímetros de luz y 4,40 m. de distancia focal.

foco cualquiera, sin distincion de puntos; pero en estas no ocurre lo mismo, puesto que su objeto es el estudio de la luz procedente de lugares fijos y determinados. Para conseguir esto último, es necesario proyectar la imágen del Sol sobre la placa de la mira, que debe estar colocada exactamente en el foco principal del objetivo, á fin de que se forme sobre ella la imágen con la limpieza indispensable. Para tener seguridad de que las cosas pasan así, se examina la imágen con ayuda de un lente y un vidrio de color, mirando por la abertura lateral, que, ya hemos dicho al tratar de este instrumento en el tomo primero, debe estar dispuesta de manera que sea de fácil uso, con lo cual podran los observadores noveles corregir el enfoque de su instrumento y ver directamente la posición de la imágen respecto á la mira.

Puesto convenientemente el instrumento, y teniendo la mira la amplitud apetecida, se arregla el ocular del espectróscopo de modo que permita ver con claridad todas las rayas de Fraunhofer y, muy especialmente, la C del hidrógeno. Una vez hecho esto, ya no se vuelve á tocar á esta parte del instrumento. Como quiera que el espectro es generalmente demasiado vivo, puede defenderse la vista interponiendo un cristal de color rojo, rubí, de los que se encuentran en el comercio, que absorbe todos los rayos rojos, deja ver la raya C, é impide que se deslumbre el observador.

Arreglado el instrumento de este modo, se le hace recorrer lentamente el disco solar, hasta que la mira venga á quedar tangente al limbo, en cuyo momento la raya C se tornará brillante, porque la cromoesfera

se proyectará sobre la mira, y su luz llenará el campo del analizador.

Para ver claramente las protuberancias, es necesario que la imágen del Sol se forme precisamente en el plano de la mira. Esto se consigue colocando la mira normalmente al limbo solar, en cuyo caso el campo aparece dividido en dos partes, una iluminada, otra oscura; entonces se hace variar la distancia del objetivo al plano de la mira, hasta que la línea de separación entre las dos partes del campo aparezca perfectamente determinada, en cuyo caso el instrumento se encuentra ya en las condiciones apetecidas.

En el momento en que cae sobre la mira la imágen de una protuberancia, aparecen en la prolongación de las rayas C, D y F, fuera del disco del Sol, otras tres rayas brillantes, y aún en ciertos casos aparecerá, también brillante, otra raya más cerca de la G. Cierto es que sin necesidad de que se proyecte una protuberancia se observan estas rayas, como propias que son de la cromoesfera, pero en tal caso tienen muy poca altura. Para observarlas, se dirige el anteojo, manteniendo la mira normal al limbo, hácia el punto del contorno en que se haya observado alguna mancha ó alguna fácula, y en las inmediaciones de tales puntos aparecieran las rayas brillantes características de las protuberancias.

Cuando despues de haber hecho algunos ensayos, siguiendo el procedimiento que acabamos de indicar, no se obtenga resultado alguno satisfactorio, debe colocarse la mira tangencialmente, tal como digimos ántes, y aun quizá seria mejor un procedimiento inverso, esto es, aproximar la mira al limbo solar, exte-

riormente y con lentitud; de esta manera, cuando el campo comienza á iluminarse vivamente, se previene el observador y se fija en la raya C, y en el momento en que la luz del disco empieza á aparecer tal como una lluvia de rayos, á causa de la agitacion del contorno, se percibe la trasformacion de la raya C, que se destaca con gran viveza del resto del espectro. Por lo demas, si la raya se manifiesta á alguna distancia del limbo, acusa la presencia de una protuberancia, y si por el contrario sólo aparece en la proximidad del contorno, corresponde evidentemente á la cromoesfera.

Conviene á los principiantes tener dos cosas presentes: 1.^a La cromoesfera es muy baja, y es por lo tanto difícil percibir la raya que la caracteriza; bien es cierto que vista una vez, es fácil volver á hallarla. 2.^a Cuando la atmósfera está tranquila, es mucho ménos trabajosa la empresa que cuando el aire está muy agitado, porque en este último caso se presenta la raya en medio de la lluvia de rayos que de ordinario le precede. Tengan tambien en cuenta que envolviendo la cromoesfera al Sol, por todas partes debe verse, en todo el contorno del astro.

Cuando se ha conseguido ver la raya C invertida, no presenta gran dificultad el encontrar las protuberancias: se mueve el espectróscopo al rededor de su rueda de posicion, conservando la tangencia de la mira con la imágen del limbo, especialmente en la region de las manchas. Pide esta operacion alguna práctica y soltura para ejecutar bien los movimientos. Cuando las protuberancias no son frecuentes, como ocurría en el 75, es preciso examinar un arco considerable, y entonces la operacion es algo penosa.

Encontrada una protuberancia, puede determinarse su forma por medio de secciones paralelas ó perpendiculares al limbo. Fácil es darse cuenta del procedimiento. Moviendo el instrumento convenientemente, cortará el plano de la mira á la protuberancia, segun secciones que se manifestaran como rectas sucesivas y paralelas de distintas magnitudes, en el campo del anteojo, y las magnitudes quedarán señaladas por la extension en que se presente invertida la raya *C*. Conocida esta especie de rayado de la protuberancia, no es difícil marcar su contorno.

§ II. PRIMEROS RESULTADOS DE LAS OBSERVACIONES.

Este método es molesto, porque exige gran atención; pero permite resolver gran número de problemas y obtener resultados de gran importancia, respecto á las protuberancias y á la cromoesfera.

1.º Suponiendo colocada la mira normalmente al limbo solar y dividida por él en dos partes iguales, se verá el campo del instrumento dividido en dos partes, una más iluminada, otra ménos, correspondientes, la primera al disco solar, la segunda á nuestra atmósfera, notándose en ámbas partes las rayas características de la luz del Sol. Cerca de la línea que separa ámbas porciones del campo, se ven brillar las rayas *C* y *F*; y cerca de la *D*, en la parte del verde, también brilla una raya amarilla. Por último, inmediata á la *G* se vé otra raya brillante que se designa con la letra *h*.

Exceptuando la línea señalada en el amarillo, todas las demas corresponden al hidrógeno, lo que nos autoriza para creer que este gas forma una capa continua al rededor del Sol.

2.º Tiene esta capa de 10 á 15 segundos de grueso, pero es muy irregular, cosa que puede verse haciendo que la mira quede perpendicular al limbo y midiendo la longitud de las rayas brillantes. A veces se observa que estas rayas, la C por ejemplo, desaparece por completo, sin que se manifieste ni oscura ni brillante, ocurriendo por lo comun este fenómeno cerca de las fáculas ó de las manchas. Este hecho nos muestra la existencia del hidrógeno fuera de la region en que se producen las inversiones, y al propio tiempo nos hace saber que existe en cantidad bastante para neutralizar la raya de absorcion, pero no suficiente para invertirla. Cuando se coloca la mira tangencialmente al limbo, las rayas luminosas se extienden á todo lo ancho del espectro y aparecen muy vivas.

3.º En algunos puntos del contorno solar se vé adquirir á las líneas brillantes una longitud superior á 15 segundos, presentándose á veces como fragmentos aislados del limbo; y mediante observaciones sucesivas puede determinarse el contorno de la protuberancia aunque presente notables complicaciones.

Vemos, pues, por lo dicho, que, siguiendo el método descrito, es posible señalar la presencia de las protuberancias en ocasiones en que no haya eclipses, y determinar sus formas y áun representarlas con tanta exactitud como si fueran visibles.

§ III. OBSERVACIONES HECHAS CON LA MIRA ENSANCHADA.

Este procedimiento es en extremo molesto, y si hemos obtenido buenos resultados con él, ha sido solo á costa de grandes fatigas; pero si cuando la mira está tangente al limbo se le dá una abertura de 3 á 4 décimas de milímetro, y áun más segun los casos, se verá engrosar la raya C, haciéndose irregular por uno de sus lados, y podrá verse directamente entero, ó casi entero, el contorno de la protuberancia. Cuando la mira se abre, segun hemos dicho, desaparecen las rayas finas, la C se difunde irregularmente y el contorno de la protuberancia se destaca con limpieza. Si así no ocurriese, esto es, si no se viese claramente la protuberancia, sería necesario corregir la posición del instrumento, y hecho esto, se obtendrá la imagen exacta de la protuberancia. La llama se presenta con un brillo maravilloso á los ojos del observador, destacándose sobre el fondo sombrío de la raya C difundida.

Tal es el procedimiento que hoy usamos para ver las protuberancias solares á cualquiera hora del día: esta ligera modificación introducida en el método primitivo, ha hecho la observación mucho más fácil, y permite obtener en ménos tiempo mayor número de resultados: fué imaginada simultáneamente por el capitán Herschel y por Huggins y Zöllner: debemos añadir que ha bastado para transformar el estudio de las protuberancias de penoso y molesto que era en fácil y atractivo, como hoy lo es.

Antes de hallar este método tan sencillo, intentó Huggins ver las protuberancias directamente, adaptando al ocular vidrios de color, pero no obtuvo buen resultado; por otra parte Young y H^r. Zöllner ensayaron las miras oscilantes y otros varios mecanismos, sin obtener tampoco resultado; bastó ensanchar un poco la mira para satisfacer las necesidades de la ciencia.

Hemos hablado ántes de un vidrio rojo que puede colocarse delante del ocular del espectróscopo para facilitar la observacion; este vidrio es de gran utilidad, porque absorbe la luz difusa y resguarda la vista del espectador; sin duda alguna apaga algo las protuberancias poco luminosas, pero en una larga série de observaciones presta verdaderos servicios. Cuanto llevamos dicho, se refiere evidentemente al caso en que se trate de estudiar la imágen roja de la protuberancia, porque cuando se quiere estudiar la línea F, ó alguna otra semejante, es preciso renunciar al vidrio rojo; pero entonces es necesario debilitar la luz atmosférica lo más posible y aumentar la dispersion, bien multiplicando el número de los prismas, bien haciendo que la luz los atraviese dos veces por alguno de los medios que anteriormente indicamos. Yung usando un espectróscopo de trece prismas y una pequeña cámara oscura adjunta al espectróscopo, ha conseguido fotografiar la imágen violada de una protuberancia, imágen correspondiente á los rayos próximos á la H.

Con el espectróscopo ordinario pueden estudiarse muy bien las manchas, sobre todo si se amplifica con un ocular ó con el objetivo de un microscópio la imá-

gen que se forma en el foco del gran antejo, proyectada sobre la mira. Verdad es que estas imágenes aparecen en general deformadas por la dispersion y enormemente alargadas; pero si se coloca un prisma á 20 ó 25 centímetros de la mira, ó bien delante del objetivo, como dijimos en el tomo anterior, podrán verse las manchas tan bien como cuando se hace uso del vidrio de color. Este método es muy conveniente cuando se trata de reconocer la posicion relativa de las fáculas, las manchas y las protuberancias. En este caso, se puede tambien valuar la altura de las protuberancias por la distancia que hay entre el contorno del Sol y el punto en que se manifiestan invertidas las rayas del hidrógeno; para apreciar este valor se puede hacer uso de las rayas espectrales. En fin, por este procedimiento tambien se llega á hacer constar que las rayas del sódio, del cálcio y del hierro se ensanchan y se hacen nebulosas en el interior de las manchas. Cuando ocurre una erupcion violenta, se ven aparecer las rayas brillantes del hidrógeno dentro de las mismas manchas.

Seria de desear ahora, para facilitar más estas investigaciones, el descubrimiento de un medio perfectamente monocromático respecto á las rayas del hidrógeno. Se verian entonces las imágenes de las llamas rojas como actualmente se ven las de las manchas. ¿Podrá hacerse este descubrimiento? Invitamos á los físicos á dirigir sus investigaciones sobre este punto.

Aunque los pormenores en que hemos entrado podran parecer sin duda minuciosos, los creemos muy útiles para los aficionados á estos trabajos, porque con frecuencia, por falta de instrucciones detalladas, se

pierde en el principio demasiado tiempo, y aún algunas veces llega á dominar el desaliento, viendo perdido el trabajo sin resultado alguno. Teniendo esto presente hemos indicado tantos pormenores ahora, proponiéndonos hacer lo mismo en lo sucesivo.

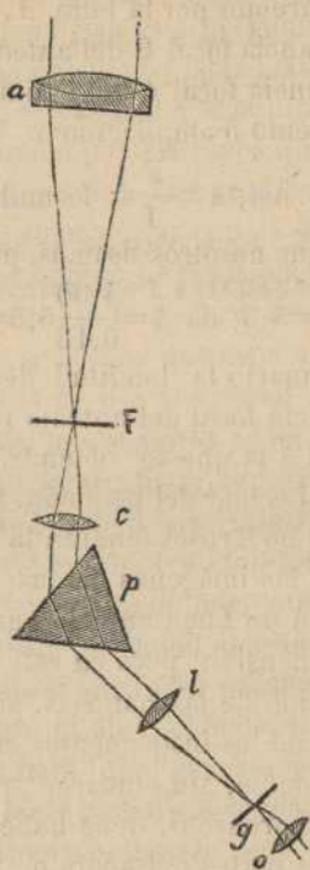
§ IV. REFLEXIONES TEÓRICAS SOBRE LAS PRECEDENTES INSTRUCCIONES PRÁCTICAS.

A fin de que no se tropiece con dificultades en la aplicacion práctica de las instrucciones que acabamos de dar, vamos á hacer una pequeña excursion en el campo de la teoría del espectróscopo.

El instrumento combinado que sirve para las observaciones de que nos hemos ocupado, se llama telespectróscopo, porque está compuesto de un telescopio, ó antejo astronómico, y de un espectróscopo. En este aparato hay dos focos bien distintos, que deben ajustarse con la mayor exactitud, cada uno de ellos. 1.º El analizador debe arreglarse perfectamente respecto á las rayas del espectro, teniendo la mira estrechada. 2.º El antejo grande debe graduarse de modo que forme una imágen exacta del contorno solar, sobre la placa de la mira.

Creemos útil dar algunos pormenores sobre la marcha de los rayos luminosos en el espectróscopo, suponiendo para mayor sencillez que no hay más que un solo prisma.

Fig. 35.



Sea *a*, fig. 35, la lente objetiva del anteojo astronómico: los rayos que la atraviesen deben cruzarse en *F*, punto en donde debe estar situada la mira del colimador; de aquí pasan al objetivo *c* de dicho instrumento y emergen paralelos, atravesando el prisma *p* y el objetivo *l* del anteojo analizador, formando por

último, una imágen real en g , que se examina con el ocular o . La ampliacion que produce todo el sistema y que representaremos por la letra A , es igual al cociente de la distancia focal F del anteojó grande, dividida por la distancia focal f del colimador, multiplicada por el aumento ó ampliacion a que produce el anteojó pequeño. Así, $A = \frac{F}{f} a$; fórmula que aplicada al instrumento que nosotros usamos, en el que $F = 4,^m 30$; $f = 0,^m 13$; $a = 5,5$; dá $A = \frac{4,30}{0,13} 5,5 = 182$.

Como de ordinario la longitud del colimador es igual á la distancia focal del anteojó pequeño, la ampliacion es igual á la que se obtendria aplicando al anteojó grande el ocular del pequeño. Se vé, pues, que los instrumentos poderosos tendran la ventaja de dar con más detalles las imágenes de las protuberancias. Sin duda que con un buen anteojó pueden verse, sea cualquiera su dimension; pero en este caso, como en el de la observacion de las manchas, siempre estará la ventaja de parte de los instrumentos más potentes.

No debe olvidarse, sin embargo, que segun ha demostrado el Sr. Lorenzoni, debe haber cierta proporcion entre las dos partes del aparato, y que no todos los espectróscopos son aplicables igualmente á todos los anteojos.

Antes de obtener estos resultados se habian hecho muchos ensayos infructuosos, como antes dijimos; se habia intentado producir eclipses artificiales, se habia hecho uso de los medios absorbentes etc. etc.; todo habia sido inútil. Sólo el espectróscopo obtuvo buen éxito. Natural es, pues, preguntar ¿cuál es la

causa de que este instrumento goce de la maravillosa propiedad de hacernos ver las protuberancias en medio de la esplendente luz del dia?

Fácil es responder á esta pregunta. Nosotros no podemos ver los objetos celestes más que á través de la atmósfera que nos rodea, y esta atmósfera está muy vivamente iluminada por los rayos que la atraviesan en la proximidad del Sol. Las protuberancias son muy poco luminosas, comparadas con la fotosfera, y no pueden afectar al órgano de la vision mientras lo excite otra luz más viva; la fotosfera tiene un brillo en extremo intenso, y no hay que esperar ver las protuberancias mientras no nos pongamos á cubierto de las radiaciones que ella nos envia. Los cristales absorbentes no pueden servir para el caso; absorben las radiaciones de la fotosfera, y tambien las de las protuberancias, anulándolas por completo de este modo. Hay, pues, necesidad de buscar un medio que nos sustraiga, no sólo á la accion directa de la fotosfera, sino tambien á la de los rayos reflejados por nuestra atmósfera, y tal es el oficio que hace la Luna en los eclipses. En los espectróscopos, la lámina en que está abierta la mira, es la pantalla que nos libra de la accion directa de la fotosfera, pero no puede detener los rayos que provienen de la iluminacion de nuestra atmósfera. Necesario es, pues, disminuir la accion de este otro foco, y esta es precisamente la mision que realizan los prismas, gracias á la naturaleza, si no monocromática, oligocromática, de la radiacion de las protuberancias. La mira recibe la luz roja de las protuberancias y la radiacion compleja de la atmósfera; la luz de esta última se dispersa en toda la extension del

espectro, debilitándose por lo tanto considerablemente, mientras que la luz de las protuberancias queda concentrada en un corto número de rayas, conservando toda su fuerza y apareciendo visibles por ser más brillantes que la parte de espectro en que se encuentran.

El espectróscopo actúa respecto á las protuberancias como el anteojo astronómico respecto á las estrellas. Estos astros no pueden verse á simple vista durante el día, pero puede distinguírseles con un buen telescopio, mientras que los planetas son completamente invisibles de ámbas maneras. Depende esto de que siendo las estrellas para nosotros un verdadero punto luminoso, sin diámetro aparente, tanto usando el anteojo como á simple vista, el anteojo concentra sobre el punto toda la cantidad de luz correspondiente á la estrella, mientras que por la ampliacion del instrumento se reparte en superficies proporcionales la correspondiente á la atmósfera y al planeta. Tal es la explicacion dada por Arago, y es fácil percibir la analogía que tiene con la teoría que acabamos de exponer para explicar la accion del espectróscopo.

Esta teoría muestra cuán ventajoso es multiplicar el número de los prismas á fin de aumentar la dispersion, debilitando de este modo la intensidad luminosa del espectro atmosférico, mientras que las rayas propias de las protuberancias no sufren más disminucion que la ocasionada por la absorcion y las reflexiones consiguientes á la naturaleza del instrumento. Por esto se han construido espectróscopos en que la luz atraviesa seis, doce y aún más prismas; esto no obstante hay un limite más allá del cual los prismas perjudican

más por la absorcion y reflexiones que benefician por la dispersion de la luz atmosférica.

La teoria explica tambien las siguientes particularidades que se presentan en la observacion espectral. Cuando el aire es puro y el cielo está completamente azul, puede ensancharse mucho la mira y verse de este modo gran parte de la protuberancia; pero si el cielo se presenta brumoso y súcio, es preciso disminuir la abertura de la mira. Cuando la atmósfera está llena de cirrus, formados por las agujas de hielo que dan origen é los halos, es imposible toda observacion, á causa de la luz que difunden al rededor del Sol en todos sentidos estos pequeños cristales; la niebla formada de gotitas ofrece ménos inconvenientes. Cuando el cielo está muy despejado, podemos dar á nuestra mira más de un milimetro de abertura; cuando el cielo está cubierto, tenemos que reducirla á $\frac{1}{3}$ de milimetro; y cuando hay cristales de hielo, nos es preciso renunciar del todo á las observaciones.

La abertura que usamos de ordinario corresponde á un valor angular de 24 á 30 segundos, lo que equivale sobre el Sol á una longitud de 47,160 á 21,459 kilómetros. Si la protuberancia es mayor, es necesario observarla por partes, en trozos; pero como estos trozos son gruesos, es fácil formarse idea de la configuracion general y áun hacer un dibujo bastante exacto. Cuando la atmósfera está muy pura y la protuberancia es muy viva, si el espectróscopo es muy dispersivo, puede aumentarse la abertura de la mira. Cuando el antejo amplia poco, es decir, cuando la imágen formada en el foco del objetivo es pequeña, se puede, con poca abertura en la mira, ver por completo casi todas

las protuberancias; pero entonces no se aprecian bien los detalles, y se corre riesgo de caer en graves errores al apreciar su estructura interior. En general, un an-teojo de 10 á 12 centímetros de luz, basta cuando se emplea un espectróscopo formado por un solo prisma de vision directa, bastante dispersivo. Pero entonces son muy difíciles de estudiar los pormenores, salvo en algunas circunstancias escepcionalmente favorables.

Para obtener pronto resultado, sirva de regla general: es preciso abrir la mira de modo que no desaparezcan por completo las rayas C y B, sino que queden reconocibles, aunque desvanecidas. Cuando es muy viva la protuberancia, se puede emplear mayor abertura, pero es preciso hacer un tanteo para determinar cual es la que produce una imágen más clara. En esta clase de investigaciones es sin duda donde importa más conocer el poder de amplificacion del espectróscopo.

Todas las rayas propias de las protuberancias C, D₃, F, h, pueden servir para estudiarlas; pero siendo la C la más viva y mejor marcada, es tambien la más conveniente para la observacion; las demas son ménos brillantes, se proyectan sobre fondo más luminoso, ó en posicion ménos favorable para la observacion. Veremos, sin embargo, que en ciertos estudios no hay inconveniente en elegir cualquier raya.

Respecto á la ampliacion más conveniente, hay que arreglarse al poder luminoso del objeto que se observa. Cuando se trata de una masa poco iluminada, no puede emplearse gran aumento, porque desaparecería el objeto, mientras que con un instrumento ménos po-

deroso se podrá examinar bien y apreciar su estructura interior. Ocurre con las protuberancias solares lo mismo que con las manchas y con las zonas de los planetas; es conveniente no hacer uso de ampliaciones excesivas. Nosotros de ordinario empleamos un aumento de 180 veces, y es muy raro que lleguemos á usarlo de 300 á 400, porque lo que se gana en superficie se pierde en claridad y limpieza.

Aumentando el número de prismas, se disminuye la luz atmosférica, sin aumentar el tamaño de la imagen; así es preferible este medio al uso de anteojos de largo foco, que dando una imagen grande, disminuyen á la vez la intensidad luminosa de la atmósfera y de las protuberancias.

Es natural desear saber qué clase de espectróscopos es más conveniente para estas observaciones, si los de prismas ordinarios, ó los de vision directa. A nuestro modo de ver, los primeros son preferibles, sobre todo cuando el aparato está dispuesto de manera que el ocular esté inmediato á la mira, de tal modo que el observador pueda, sin cambiar de sitio, hacer que la imagen solar se proyecte convenientemente. Así está dispuesto el que nosotros usamos. Además, los espectróscopos de vision directa aumentan mucho la longitud del anteojo, y esto es un grave inconveniente cuando no es muy alto el domo. En fin, si los prismas angulares estan dotados de movimiento automático, es posible examinar fácilmente todo el espectro hasta el fin del violado, cosa que no ocurre con el espectróscopo de vision directa, porque aún con los que tienen dos prismas compuestos, apenas se puede pasar de la F. Y en cuanto á la intensidad, la diferen-

cia no es muy grande, porque si bien es cierto que en los de vision directa las reflexiones no son tan numerosas como en los otros, esta ventaja se compensa con la mayor absorcion que sufren los rayos, por efecto de la gran masa de vidrio que atraviesan. Por lo demas, el juicio que se hace de estos instrumentos depende mucho de la práctica y aún de la costumbre; ocurre con frecuencia que un instrumento ha sido considerado á primera vista como poco ventajoso, y despues, cuando se ha usado durante algun tiempo, se le encuentra excelente. Los espectróscopos contruidos con los reticulos de Rutherford nos han dado muy buenos resultados, dejándonos ver los detalles con la mayor limpieza, pero es de temer que el metal se oxide.

§ V. MENSURA DE LAS PROTUBERANCIAS.

Para determinar las dimensiones de una protuberancia, se mide su longitud y su altura. El caso más sencillo es aquel en que la protuberancia es lo bastante pequeña para caber completamente dentro del campo del instrumento, siendo menor su altura que el ancho de la mira, y su otra dimension menor que la longitud de la misma: en este caso no hay dificultad; basta emplear el micrómetro que existe en el ocular del espectróscopo. No es lo mismo cuando las dimensiones de la protuberancia exceden de las de la mira; en este caso presenta la mensura verdaderas dificultades.

Para medir la base de una protuberancia de éstas, se coloca la mira de modo que sea sucesivamente tangente á sus dos extremidades, y se determina esta dimension en grados del perimetro solar, segun el ángulo que ha tenido que girar el espectróscopo; este ángulo es fácil de determinar con gran aproximacion, y de aquí se pasa á la verdadera magnitud, teniendo en cuenta que un grado del contorno solar corresponde á un ángulo geocéntrico de $16''{,}76$, lo que equivale á $12.00\frac{1}{2}$ kilómetros, ó sea próximamente un diámetro terrestre.

Para obtener la altura cuando la abertura del colimador está paralela al limbo, es necesario trasportarla sucesivamente sobre la protuberancia y ver cuantas veces está contenida en esta última, lo que expone á bastante incertidumbre; pero cuando la mira se coloca normalmente al limbo, entonces basta medir la altura de la raya brillante más larga que atraviesa el espectro para tener la magnitud buscada. Este último medio no sirve más que cuando la altura de la protuberancia no excede del ancho del espectro. Por de contado estos procedimientos son largos y fatigosos, y si se empleasen constantemente, ocasionarian una pérdida de tiempo considerable.

Podrian determinarse estas dimensiones sirviéndose de otros medios. Se podria, por ejemplo, medir el tiempo que tarda una protuberancia en atravesar la mira, ó medir la altura con el circulo de declinacion, teniendo en cuenta el ángulo de posicion; pero este procedimiento tampoco es rápido, y por lo tanto no sirve para ciertos casos en que es necesario operar con presteza y tomar los fenómenos al vuelo, á

causa de la rapidez con que se modifican y transforman.

Nosotros hemos ideado dos métodos que nos parecen bastante expeditivos. Hé aquí en qué consiste el primero. Al buscador del anteojo ecuatorial se une un madero que sostiene un plano de carton blanco perpendicular al eje óptico del instrumento; este plano se coloca á una distancia conveniente y se proyecta el Sol sobre él. Cuando se observa una protuberancia grande, se dispone el instrumento de manera que el borde de la mira que está de la parte del Sol, toque al cúspide de la protuberancia, y en esta disposicion se traza sobre el carton blanco el contorno de la imágen solar correspondiente al punto en que se observa la protuberancia; hecho esto, se mueve el instrumento hasta que el mismo borde de la mira coincida con la base de la protuberancia, y en esta posicion se dibuja nuevamente la parte del contorno solar que anteriormente se habia dibujado. La distancia que existe entre los dos arcos paralelos trazados de esta suerte, señala evidentemente la altura que hubiera ocupado la imágen de la protuberancia sobre el carton á ser visible. Para fijar el valor angular de esta magnitud, basta medir una vez para siempre una longitud dada, por ejemplo, la distancia de una mancha al limbo. El método de los pasos puede servir para esto, y tambien se puede hacer uso de los círculos del anteojo; de este modo se construye una escala de proporcion que sirve para todas las observaciones. En nuestro instrumento corresponde un milímetro á ocho segundos, con lo cual alcanzamos una exactitud suficiente, tratándose de objetos tan fugaces. Cuando se emplea

un espectróscopo de vision directa, puede reemplazarse ventajosamente el plano con un cristal deslustrado. (1)

Sirviéndose del micrómetro de lámina gruesa de cristal, inventado hace tiempo por Porro, y que nosotros hemos aplicado con buen éxito á esta clase de mensuras, puede alcanzarse más exactitud. El principio fundamental de este instrumento consiste en la propiedad que tienen los medios diáfanos terminados por caras paralelas, de emitir los rayos luminosos paralelamente á la direccion de incidencia, pero sin que cada uno de ellos forme una misma recta con el rayo incidente que lo originara. De todos es sabido que si se interpone un cristal de caras paralelas en el paso de un rayo luminoso, el rayo emergente no es la prolongacion del incidente, y que la distancia que los separa es la funcion del índice de refraccion de la inclinacion de la lámina respecto á la direccion del rayo y del espesor de la misma.

Ahora bien, si se coloca una lámina tal como hemos dicho delante de la mira de un espectróscopo, el objeto que se examine parecerá completamente fuera de su lugar; pero si no cubriese la lámina más que la mitad de la mira, entonces pareceria el objeto partido en dos, y sus puntos correspondientes distarian entre sí exactamente lo que correspondiera al grueso, naturaleza de la lámina é inclinacion de la misma. Si se

(1) La principal causa de inexactitud en este método, estriba en la dificultad de marcar exactamente el contorno en la proyeccion.

(N. del T.)

tratase del Sol, el caso sería tal como hemos indicado; y en esto se basa precisamente el método que vamos á exponer.

Suponiendo la lámina colocada de modo que corte al Sol en dos partes, en la proximidad de una protuberancia, es evidente que, si el grueso de la lámina es bastante, variando su inclinacion se podrá hacer que el cúspide de la protuberancia enrasc exactamente con el limbo solar correspondiente al otro hemisferio, puesto que se puede hacer que estos resbalen á lo largo del diámetro que los divide, en la cantidad que se desee. Hecho esto, conociendo los datos que ántes apuntamos, bastará un cálculo sencillo para determinar la altura de la protuberancia. (1)

Pero si se construye previamente una tabla en que al lado de las inclinaciones de la lámina estén inscritos los valores correspondientes, la mensura revestirá todos los caractéres de rapidez apetecibles. Por lo demas, la construccion de la tabla no ofrece dificultad alguna.

Este método es susceptible de gran exactitud, por-

(1) Siendo E el grueso de la lámina y θ el ángulo formado por el rayo luminoso con la superficie de la misma, la fórmula que dá la altura A de la protuberancia

es, $A = E \cos \theta \left(1 - \frac{\text{Sen } \theta}{\sqrt{n^2 - \cos^2 \theta}} \right)$. El uso de esta fórmula

la es bastante cómodo, cuando se ha formado previamente una tabla de los valores del factor binomio, pudiendo variarse de lámina siempre que n permanezca constante.

que dependiendo el cambio de lugar del grueso de la lámina, basta tomar un espesor conveniente para obtener una distancia tan grande como se desee. Según nuestra práctica, el grueso más conveniente es de cuatro á cinco milímetros.

El aparato que hemos adaptado á nuestra ecuatorial consiste en un bastidor ovalado, que contiene la lámina, montado sobre dos gorriones en los extremos del eje mayor, y en uno de estos dos gorriones hay una manivela con un índice que recorre un semi-círculo graduado; mediante esta disposición puede fácilmente moverse la lámina y medirse el ángulo descrito. Para hacer esta medición no es necesario rectificar el cero del semi-círculo, basta tomar las marcaciones del índice en dos posiciones simétricas de la lámina, y la mitad del ángulo expresado por las dos lecturas da el valor del ángulo formado por la lámina. Creemos escusado decir que la lámina ocupa exactamente la mitad del bastidor, cuyo centro coincide con el eje del antejo, y que de esta manera puede dividir la mira en dos partes iguales.

Empleando cualquiera de estos dos procedimientos se mide fácilmente la altura de cualquier protuberancia, aunque llegue á algunos minutos. Como este fenómeno es tan variable y cambia con tanta rapidez, casi á la vista en ciertos casos, el procedimiento más breve suele ser el mejor, y así nosotros usamos ordinariamente el de las proyecciones, por más que sea ménos exacto.

Cuando se hace uso del helioespectróscopo, que tiene un prisma delante de la mira, se puede medir la altura de cualquier protuberancia sin emplear otro

micrómetro que las rayas del espectro; basta para esto observar qué raya corresponde al limbo cuando otra determinada, la C por ejemplo, comienza á invertirse.

CAPÍTULO II.

Clasificación de las protuberancias.

§ I. ASPECTO DE LA CROMOESFERA.

Cuando se hace uso del espectróscopo, tal como hemos dicho en el capítulo anterior, se consigue fácilmente reconocer y aún estudiar las protuberancias y la cromoesfera. Esta cromoesfera, de que vamos á tratar en el capítulo actual, es una capa continua que rodea al Sol por todas partes. Cuando se dispone la mira perpendicularmente al contorno del disco, se encuentra por todas partes las rayas invertidas del hidrógeno, es decir $C=H\alpha$; $F=H\beta$; h cerca de la $G=H\gamma$; la cuarta $H\delta$ es muy difícil de ver, pero se reconoce con certeza. A más, se encuentra también una raya D_3 cerca de la D del sodio, á la parte del azul y á una distancia igual á 2,06 veces la que separa la D_1 de la D_2 de dicho metal. La naturaleza de la sustancia que produce esta raya es desconocida aún y se ha denominado *helium*.

Verdaderamente el espectróscopo no descubrió la cromoesfera; durante los eclipses se habia reconocido ya su existencia, y los espectadores la habian designado con los nombres de *sierra*, *olas*, *arco color de rosa* brillante. Lo que ha hecho el espectróscopo ha sido averiguar que existe al rededor del Sol, aunque con diferente espesor en distintos sitios.

Para formarse una idea exacta de la cromoesfera, y de su estructura, debe darse á la mira del colimador una abertura poco considerable, y colocarla tangencialmente al limbo. Cuando el contorno del Sol se halla un poco separado de la mira, desaparecen las rayas finas á causa de la abertura de la mira, y áun las rayas principales, como son, a. B. C. D., aparecen difusas y poco definidas. Pero en el momento en que la cromoesfera entra en el campo del instrumento, se nota sobre el fondo oscuro, y en el lugar correspondiente á la raya C, una línea muy brillante, cuyo aspecto es en un todo parecido al de la raya C de Fraunhofer invertida, cuando se examina el espectro con la mira estrecha.

Cuando la atmósfera está muy agitada, no se llega á ver esta raya mas que en una region muy próxima al disco solar, donde el centelleo del limbo se hace sentir en el espectróscopo. Y es cosa que maravilla ver esta raya tan fija y tan tranquila, no obstante el centelleo de que acabamos de hablar. La explicacion que nosotros hallamos á este fenómeno es, que la oscilacion del aire hace pasar por la mira una pequeña cantidad de luz procedente del Sol, pero no formando una radiacion continua sino á manera de onda sintermitentes; y siendo blanca esta luz, forma un

espectro que invade no sólo la raya C, sino todas las demas. Por otra parte, siendo esta raya C monocromática, su índice no cambia, y su intensidad varía muy poco, porque la luz blanca, siendo poca y de corta duracion, queda reducida por el espectróscopo al color de la raya C.

Si se examina la cromoesfera con poca ampliacion, parece, en general, que su contorno está perfectamente determinado, tal como corresponderia á una capa liquida; pero empleando un aumento conveniente, se perciben con más claridad los pormenores de su estructura.

4.º En la base, esto es, en la parte interior que se encuentra inmediatamente en contacto con la superficie del Sol, tiene un tinte más vivo que en la parte superior, y por esto, cuando la mira está normal al limbo, las rayas terminan en punta afilada. Esta capa parece más ó ménos elevada, segun el instrumento con que se observa; parecerá más alta si el prisma posee gran poder dispersivo, porque entonces debilita más la luz de la atmósfera terrestre. Las observaciones espectrales nos indican una altura de 40 á 45 segundos; pero los fenómenos observados en los eclipses prueban que esta estimacion es pequeña; segun las observaciones de Eastman en Siracusa y de Respighi en las Indias, se percibe una coloracion rosada hasta una distancia de algunos minutos. Cuando se observa sin estar eclipsado el Sol, ó sea de ordinario, termina la parte visible donde su intensidad luminosa se hace igual á la de la luz atmosférica dispersada por el prisma; su extension depende del estado del cielo y de la potencia del instrumento.

Cuando el cielo está despejado, parece viva y bien definida; cuando hay alguna bruma parece ménos alta, y desaparecen por completo cuando se presentan cirrus que contienen cristales de hielo.

2.º En general, la cromoesfera no tiene contornos bien definidos, y su superficie exterior aparece ornada de franjas. Casi siempre está cubierta de filamentos terminados en punta fina, del todo semejantes á lo que los botánicos llaman *pelos*; en ciertas ocasiones se vé una extension considerable cubierta con estos filamentos, todos inclinados en una misma direccion; en otros casos, aparecen con inclinaciones opuestas, ya convergentes, ya divergentes; la primera de estas dos apariencias se presenta con gran frecuencia en la region de los polos; á veces, el cambio de direccion coincide con el polo mismo, y en este caso se suele ver en él una série de filamentos verticales más altos que los demas. En otras circunstancias, en vez de terminar en punta los filamentos, aparecen ensanchados por su extremidad superior, figurando un seto de arbustos entrelazados.

A veces, estos filamentos se convierten en verdaderas llamas, y entonces presentan el aspecto de un rastrojo ardiendo. En otros casos, aparecen las llamas tan finas, tan pequeñas, que se parecen al césped de los jardines. Estos ténues filamentos son evidentemente llamas, cuyas dimensiones reales son enormes, porque subtienden ángulos de $\frac{1}{5}$ á $\frac{1}{3}$ de segundo, y por lo tanto tienen de 100 á 200 kilómetros de ancho, con una altura tres ó cuatro veces mayor. Esta apariencia de llamas finas se presenta principalmente en la proximidad del Ecuador; y en tales casos suele variar la

direccion de estas llamas con una rapidez verdaderamente pasmosa.

Los filamentos análogos á *pelos* se notan sobre todo en las regiones de calma, recubriendo espacios inmensos, á veces, más de un cuarto de circunferencia, todos inclinados en el mismo sentido; pero tambien se les vé cambiar bruscamente de direccion y de convergentes pasar á divergentes y vice-versa. Cuando alcanzan poca altura, es de ordinario muy variable su direccion, no siendo sensiblemente constante hasta que llegan á adquirir una elevacion considerable, 15 ó 20 segundos: en cuyo caso se mantienen fijos en una gran extension.

Habíamos temido, observando estas variaciones, ser victimas de alguna ilusion; pero todas nuestras dudas desaparecieron al comparar las observaciones del Sr. Tacchini hechas en Palermo, con las que simultáneamente hicimos nosotros en Roma (año de 1874, 4 de Febrero, 18 de Junio, etc.) Al comparar las vistas de un mismo fenómeno, tomadas independientemente unas de otras y en lugares distintos, encontramos los puntos notables situados igualmente en unas y otras, y vimos que la estructura general se presentaba con la misma apariencia en ámbos observatorios. No habia, pues, que temer ilusion alguna; los fenómenos que acabamos de describir no eran sencillamente apariencias, sino objetos reales, fielmente representados á nuestra vista por los instrumentos que habíamos usado al observarlos.

Hasta el presente, nos ha sido imposible formular ley alguna respecto á la direccion de estos filamentos luminosos; lo único que creemos cierto es que pre-

sentan tendencias muy distintas en las épocas de calma y en las de actividad solar. En las épocas de calma hay ménos regularidad en las direcciones, ó al ménos la regularidad no es tan general; no domina habitualmente más que en la region comprendida entre los 40° y los polos; sobre el resto, los filamentos con más frecuencia se dirigen hácia el Ecuador, sin que sea por esto cosa rara verlos dirigirse en sentido contrario sobre espacios muy extensos. Al presente (1875 Mayo-Agosto) estamos en una época de calma, en que casi no se presentan manchas ni protuberancias: la fotosfera es muy baja, de 4 á 5 segundos, estando formada á veces por una sola línea, en que aparecen algunos nudos y algunas franjas, tan pequeñas que apenas es posible distinguirlas.

Con frecuencia ocurre, sobre todo en la region de las manchas, que la cromoesfera presenta el aspecto de una malla brillante, cuya superficie áspera y desigual parece compuesta de nubes análogas á nuestros cúmulos; estas nubes parecen dispuestas á manera de cuentas de rosario, y algunas de ellas se dilatan formando pequeñas elevaciones difusas sobre los bordes.

Estas elevaciones difusas toman todos los aspectos y todas las dimensiones, hasta convertirse en protuberancias, sin que haya limite marcado entre estas dos clases de fenómenos; así, cuando uno de estos montículos se eleva más de 30 segundos, lo calificamos de protuberancia.

En algunos casos se observa una difusion extraordinaria, asemejándose las regiones superiores á un crepúsculo, cuyas tintas vigorosamente acentuadas van desvaneciéndose progresivamente; es muy raro que la

superficie aparezca regular y lisa como la de un líquido; con frecuencia se ven puntos en extremo brillantes, aunque muy cortos, en cuyo caso se puede tener la seguridad de que está á punto de presentarse una violenta erupcion.

La cromoesfera existe sobre toda la superficie solar, hasta sobre las manchas, aunque es cierto que no tiene igual altura en todos los puntos, y que en algunos puede ser sumamente baja. La claridad y limpieza con que se distingue, es la mejor guia que podemos adoptar para juzgar si el estado de la atmósfera es ó no favorable para las observaciones. Cuando no podamos distinguirla claramente, cuando su brillo no nos parezca grande, es inútil observar, porque no veremos las protuberancias cuya luz es mucho más débil.

En toda nuestra larga carrera de observador, sólo una vez hemos visto faltar la cromoesfera en un punto, cuya extension no era muy considerable, y que no correspondia á ninguna mancha; parecia como el eclipse de la cromoesfera por un cuerpo opaco, y dejaba percibir en la base un filete muy estrecho, pero claramente visible. Han dicho algunos que esta envolvente color de rosa se adelgaza mucho y aún llega á faltar sobre las manchas; esto es un error manifiesto: no solamente se distingue la cromoesfera sobre las manchas y en sus inmediaciones, sino que en ellas precisamente adquiere más brillo y más elevacion.

3.º Alrededor del contorno solar no es uniforme la altura de la cromoesfera; dos regiones hay sobre todas, los polos y la zona de las manchas, que ofrecen particularidades notables. En la última de estas regiones con frecuencia hay unas pequeñas llamas que con-

vergen hácia los centros de erupcion, llamas que algunas veces aparecen dentadas y ramificadas, y en otras como cúmulos guarnecidos de puntas. En la otra región son generalmente más altas, formadas por filamentos rectos delgados y muy brillantes. Aunque el estado de la cromoesfera depende de la actividad general del Sol, en las regiones polares, aún en las épocas de completa calma, hay siempre una gran actividad que se manifiesta por el brillo y la magnitud de las llamas de que acabamos de ocuparnos. Al presente, Agosto de 1875, la cromoesfera es más alta en los polos que en el Ecuador.

Cuando hayamos estudiado mejor las relaciones existentes entre las protuberancias y el estado de la fotosfera, veremos que las granulaciones dependen de los filamentos cromoesféricos de que acabamos de hablar; limitémonos por el momento á la descripción de los fenómenos.

§ II. CLASIFICACION DE LAS PROTUBERANCIAS SEGUN SUS FORMAS.

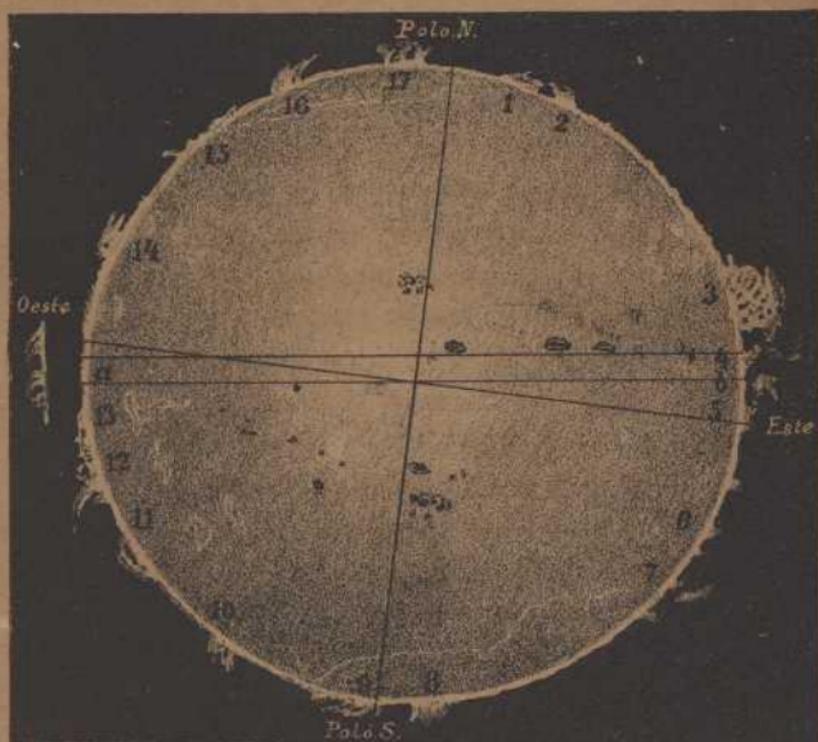
Las protuberancias se presentan bajo los aspectos más extraños y fantásticos, tanto que es absolutamente imposible describirlas con exactitud. Bajo el nombre de protuberancias comprendemos los fenómenos más varios, desde un simple aumento de grueso en la cromoesfera, hasta aquellas erupciones gigantescas cuya altura puede llegar á un cuarto del diámetro solar, es decir, cincuenta y cuatro veces el radio terrestre. A

pesar de esta inmensa variedad de formas, se ha conseguido, gracias á repetidas observaciones, reducir los fenómenos ordinarios á un corto número de tipos, cuya descripción vamos á comenzar. Respecto á los correspondientes á las crisis violentas, alcanzan en ellos las llamas volúmenes tan extraordinarios, tienen tan rápidos movimientos é intensidad tan varia, que absorbo el observador, queda perplejo ante la extrema dificultad, ó más bien, imposibilidad que ofrece la tarea de describir exactamente el espectáculo que se ofrece á su vista.

En interes de la ciencia, creemos conveniente evitar todo cuanto pueda deslumbrar al lector, y así evitaremos ciertas descripciones que, aunque exactas sin duda alguna, por lo extraordinarias y por el contraste que pudieran ofrecer, serian más propias para satisfacer la curiosidad que para obtener mediante ellas verdadera instrucción: con el fin de conseguir nuestro propósito, procuraremos guardar cierto orden en nuestra exposición, á fin de preparar el espíritu para la explicación de los fenómenos.

Conviene en primer lugar formar idea exacta del conjunto de las protuberancias, tal como lo veriamos si la deslumbradora luz del globo solar, que nos ofusca, desapareciese repentinamente por completo. Las figuras correspondientes á los eclipses que hemos insertado en el tomo anterior, nos parecen insuficientes, y con el fin de suplir lo que en ellas falta, ofrecemos en la figura 36 el contorno del Sol, tal como fué observado el 23 de Julio de 1871. Debemos advertir que esta forma corresponde á un período de gran actividad, y sin embargo, las masas más altas estan

Fig^a 36.



muy distantes de alcanzar la altura máxima, puesto que no tienen más de 2'40", mientras que otras, vistas en diversas ocasiones, han llegado á 7'30". En las épocas de calma se presentan en mucho menor número, y no hay á veces más que dos ó tres, cuya elevación sea algo notable. Tal es lo que ocurre actualmente, Agosto del 75, de tal manera que se siente uno inclinado á creer si lo que tantas veces vió ántes no fué más que un sueño.

En la figura 36 se vé: á la derecha del polo Norte dos llamas opuestas 1 y 2, seguidas de un magnífico arco de cromoesfera, guarnecido de llamitas; más léjos, un conjunto enorme de surtidores que se cruzan en todas direcciones, difundiendo por sus extremidades y formando una masa nebulosa. Las llamas 4 y 5 tienen sobre sus cúspides una nube aislada y suspendida en la atmósfera; desde la 6 á la 7 hay gran número de llamas pequeñas y otra nube aislada; cerca del polo Sur otras dos masas de llamas, la 8 inclinada hácia el polo y la 9 inclinada en el mismo sentido, y por lo tanto, apartándose del polo; la masa 10 se inclina en sentido contrario á las dos anteriores; más léjos, en 11, otra compuesta de dos grupos convergentes; y en 12 y 13 un conjunto muy complicado de surtidores; uno de los cuales presenta la forma de un arco muy alargado, abarcando un gran número de llamas del mismo grupo; sobre la mancha 14 hay unos surtidores muy vivos y muy brillantes, dirigidos hácia el polo Norte; en el 15 un pequeño grupo de llamas divergentes; en el 16 una llama muy bella dirigida hácia el polo Norte; muy cerca del polo, en el 17, una cadena de surtidores verticales, figurando haces:

por último, en la extremidad Oeste una figura separada, representando la variación sufrida en pocos minutos por la protuberancia núm. 13.

Estas protuberancias no se comprenden bien más que conociendo muchos ejemplares; así, pues, vamos á dar á este asunto toda la extensión que requiere.

Pudiera formarse el lector idea más clara del carácter físico de estos fenómenos examinando algunos diseños en que están representados, sobre todo, si los que examine han sido comparados previamente con las representaciones de los mismos fenómenos, hechas por otros observadores.

Pero hay una cosa que nunca podrá reproducir la pintura, y esta cosa es la viveza de las tintas, la velocidad de los movimientos, en fin, la animación, la vida que ofrece el espectáculo de la naturaleza. Las mejores representaciones son verdaderos cadáveres, comparadas á la realidad. Estas enormes masas incandescentes lanzadas por la fuerza eruptiva del interior del Sol á su superficie, parecen llenas de vida; lucen con gran brillantez y ofrecen á nuestra vista unos colores que, embelleciéndolas, constituyen un carácter específico que permite reconocer su naturaleza química por medio del espectróscopo. Nada de esto es posible hallar en las representaciones más perfectas.

Las formas de las protuberancias son en extremo varias, y con el fin de clasificarlas ordenadamente, comenzaremos por adoptar primeramente una división que se ocurre naturalmente; así, pues, describiremos primero las formas simples y después las formas compuestas.

§ III. DE LAS FORMAS SIMPLES.

Para caracterizar las formas simples hacemos uso de ciertas expresiones figuradas, y aunque esta manera de proceder presenta dificultades que no desconocemos, no podemos por ménos de emplearla, sopeña de inventar una palabra nueva para cada fenómeno que se descubra, introduciendo de este modo en el lenguaje la barbarie con los neologismos. Las expresiones que usamos tienen las ventajas de pertenecer al lenguaje comun, ser fáciles de retener, y dar una idea del objeto que designan. Las formas simples observadas en las protuberancias las designamos por las siguientes palabras: cúmulos, llamas, haces, penachos, abanicos, rayos, nubes.

Cúmulos brillantes.—Estas masas de materia roja tienen una gran semejanza con las nubes que designamos con el nombre del epigrafe; generalmente son más brillantes que la cromoesfera de la que no son más que un ensanchamiento. A primera vista no se percibe en ellas más que una masa confusa, homogénea, sin indicio alguno de organizacion; pero examinándolas con más atencion, y usando ampliaciones cada vez mayores, se pueden reconocer ciertas irregularidades semejantes á las que se notan en los cúmulos de nuestra atmósfera; puede verse como terminan frecuentemente en punta, y como su contorno pocas veces es difuso. Pero no obstante, la semejanza que guardan con las nubes, cuyo nombre llevan, nun-

ca alcanzan un contorno tan redondeado, ni que se señale con tanta limpieza.

Preceden estas masas, de ordinario, á las grandes erupciones; rara vez son permanentes, y es, por lo tanto, necesario velar cuidadosamente sobre su aparición; no es comun que alcancen grandes alturas, no pasando las más elevadas de 30 á 40 segundos, de 22.500 á 28.000 kilómetros; y algunas veces se elevan á manera de globos, quedando, no obstante, unidas á la cromoesfera por una especie de cordón brillante.

2.º *Cúmulos nebulosos*.—Esta forma, que no parece ser más que una extensión de la anterior, se distingue por tener mucho ménos brillo; las masas que nosotros incluimos en esta categoría se asemejan mucho á las nubes terrestres, pero tiene el contorno ménos bien definido.

Cuando las nubes filamentosas llegan á cierta altura, se dilatan y difunden; tal es de ordinario el origen de los cúmulos nebulosos, que ocupan casi siempre la parte superior de las nubes brillantes, afectando la forma de humos densos. A veces, se les vé insistiendo, al parecer, sobre la misma cromoesfera; pero realmente no es así, han salido de una nube, y la nube existe, sólo que no se halla sobre el limbo, y basta que esté un poco detras ó un poco delante, para que no sea visible.

3.º *Cúmulos difusos*.—Bajo esta denominación comprendemos todas esas formas indecisas é indeterminadas que se presentan simulando ligeras nieblas, rastros de humo, etc., y que dan á la cromoesfera la apariencia de un cielo aborregado. *Estos cúmulos di-*

fusos verdaderamente no se asemejan á los cúmulos; su estructura está caracterizada por una disposición reticular ó celular, y pudieran compararse más propiamente á las nieblas que se forman en las regiones elevadas de nuestra atmósfera ó á los estratos en vía de disolución, y áun también á los humos desvaneciéndose en el aire. Como carácter especial, tienen la apariencia vaga de un vapor que se desvanece.

Ciertas masas difusas, que á cierta distancia del limbo dejan de percibirse, corresponden á esta categoría. Por su aspecto y por su coloración recuerdan los matices de la aurora, é imitan en pequeño lo que vemos en el horizonte cuando el Sol saliente ilumina un cielo algo brumoso.

Llamas.—La llama filamentosa es la estructura más común; pero en ella se ofrecen variedades en gran número, que procuraremos reducir á varios tipos principales.

4.º *Masas flameantes.*—Son generalmente simples ensanches de la cromoesfera, en los que á veces algunos filamentos se prolongan á gran altura, pero conservando siempre la misma inclinación que todos los que les rodean. Tienen poco poder luminoso, y su brillo se debilita progresivamente.

5.º *Llamas.*—Esta clase es más numerosa y está mejor definida. La forma cónica es característica, así como la dirección de los filetes que la forman; es decir, la forma dominante consiste en una lengua de fuego, formada de venas, que rara vez siguen la dirección de los filamentos de la cromoesfera, más estrecha por la parte exterior que por la interior, y que casi nunca afectan en su conjunto la forma recta.

Por lo comun son estas llamas encorvadas, como si sufriesen la accion de una corriente violenta, y áun á veces tocan á la cromoesfera por ámbos extremos; en otros casos, presentan doble curvatura; tambien se presentan en forma cónica y acopladas dos á dos. Pero es necesario tener en cuenta que todas estas apariencias no corresponden exactamente á la realidad, porque no todas las llamas estan en el mismo plano, y de la reunion de dos ó más puede aparecer una de forma éxtraña; y tambien es preciso no olvidar que, segun la posicion, así se proyectan, de tal modo que ciertas llamas espirales pueden verse como son, ó bajo forma senusoidal, segun la posicion de su eje.

Algunas llamas se dividen en dos al llegar á cierta altura, y sus partes se dirigen hácia puntos diferentes; otras se repliegan por la punta en sentido contrario al seguido primero, como si sufriesen la accion de dos corrientes opuestas: en ciertos casos, la llama parece volver hácia la cromoesfera, como cae el agua de un surtidor. Por último, tambien algunas llamas filamentosas terminan en cúmulos nebulosos, figurando el humo de un incendio arrebatado por el viento.

6.º *Flores*.—Con este nombre designamos dos formas bastantes diferentes. La primera está caracterizada por la concurrencia de los filamentos luminosos hácia el vértice, lo que le presta el aspecto de una coliflor; la segunda, formada de filamentos divergentes, imita en algo la flor de algunos alelies (1). Con

(1) En estas últimas semejanzas, como en otras muchas, ha de poner el observador muy buena voluntad de

frecuencia estas flores aparecen yuxtapuestas, formando una especie de cadenas; otras veces están como suspendidas sobre la fotoesfera, sin union visible con ésta ni entre sí, ocupando, en ciertos casos, un espacio considerable, treinta ó cuarenta grados en latitud, y como tardan en pasar sobre el contorno del disco tres ó cuatro dias, es evidente que no ocupan ménos extension en longitud. Por lo demas, son poco luminosas, y al parecer, muy ligeras.

La estructura que acabamos de describir parece á primera vista indicar la presencia de una erupción que se verifica á través de unos orificios abiertos en la fotoesfera. No es necesario, sin embargo, suponer tal cosa para concebir la existencia del fenómeno; con frecuencia puede notarse, especialmente en los dias en que el viento está á punto de cambiar de direccion, que en las altas regiones de nuestra atmósfera se ven nubes que afectan la forma de las flores que hemos descrito, y que no son otra cosa que cirrus filamentosos replegados sobre si mismos. Es, pues, evidente que para explicar estas formas no hay precision de acudir á la hipótesis de las erupciones ni de los agujeros en la cromoesfera; esta última consideracion tiene su importancia en la teoría.

7.º *Mangas ó haces, penachos ó abanicos.*—Estas líneas divergentes afectan á veces la forma de *abani-*

su parte para percibirlas, y no es de extrañar, por lo tanto, que á alguno le parezcan retamas lo que al autor le parecen flores. La naturaleza de la cosa observada justifica la diferencia de apreciacion.—(N. del T.)

co, ó más bien la de un penacho formado de plumas flexibles. Estos haces alcanzan algunas veces colosales dimensiones; su aspecto es grandioso y de una belleza deslumbradora, tal que los mejores fuegos artificiales apenas pueden dar una remota idea de ella. Estableceremos desde ahora una division: en los casos en que la luz aparezca tranquila, serena y con una inmovilidad tal que en vez de menoscabar la belleza del espectáculo le hace adquirir cierta magestad, designaremos el fenómeno con los nombres de *penacho* ó *abanico*; pero cuando, aunque en conjunto parezca igual al anterior, la estructura sea muy diferente, viéndose los filetes luminosos en extremo finos y bien determinados, animados de una movilidad extraordinaria, entonces lo designaremos con los nombres de *haz* ó *manga*. No indicaremos por el momento otras diferencias entre estos fenómenos; pero ya veremos como existen otras más profundas y más características.

8.º *Sistemas radiantes*.—Esta interesante forma tiene el aspecto de un abanico formado por rayos rectos, muy divergentes, en forma de conos muy agudos. Las puntas son generalmente muy cortas, muy brillantes y señalan erupciones muy violentas. El Sr. Tacchini fué el primero que observó estos rayos; nosotros despues hemos tenido ocasion de observarlos, y en una de ellas, los vimos alcanzar una longitud enorme, conservándose rectos completamente. La forma rectilínea es, sin embargo, muy poco estable; pronto se encorvan ligeramente las puntas, bastando algunos minutos para que el fenómeno pase de una á otra faz. La rapidez con que crecen en algunos casos los rayos

rectilíneos es verdaderamente pasmosa; como ejemplo de esto podemos citar la observación hecha el 4.º de Julio de 1870, en la que vimos crecer una punta 2',20" en sólo cuatro minutos de tiempo, ó sea con una velocidad de 424 kilómetros por segundo.

Hay casos en que estas puntas, sin dejar de ser brillantes, aparecen redondeadas, encorvadas y embotadas.

Además de estos rayos divergentes en forma de conos, se observan también otros sistemas de rayos filiformes muy delicados, ya en forma de gloria, ya á manera de peine, con un brillo mayor ó menor, aunque pocas veces es este fenómeno brillante y extenso á la par, y mucho ménos siendo los rayos rectilíneos.

§ IV. FIGURAS COMPUESTAS.

Las diversas formas que acabamos de describir, pueden coexistir en una protuberancia y dar origen á las formas compuestas; formas que se presentan con más frecuencia en la proximidad de las manchas, en las épocas de gran actividad, y que nosotros no podemos especificar, remitiendo al lector para este asunto á las grandes colecciones que han sido publicadas por los Sres. Tacchini, Respighi, Huggins, Zöllner, y aún por el Sr. Tacchini y nosotros mismos, en las memorias de la sociedad de espectroscopistas italianos. También puede acudirse á las interesantes publicaciones de

Winlock, que han sido editadas por la Universidad de Cambridge, en América.

El lector comprenderá cuán vários pueden ser los aspectos de las protuberancias por la combinacion de los elementos descritos. Asi, pueden presentarse llamas ó penachos sobre los cuales insistan cúmulos que los liguén, difundiéndose; pueden ofrecerse á la vista masas filamentosas que se resuelvan en nubes por las cúspides y se difundan en todos sentidos, ó surtidores cónicos encorvados, enlazándose unos con otros y formando unas cosas indescifrables al parecer, pero que con paciencia y atencion es posible distinguir y clasificar.

El lector conocerá cuán fácil nos sería hacer la descripcion de un considerable número de formas compuestas; pero tambien comprenderá que una pálida descripcion no puede dar idea de estos fenómenos. Asi, pues, nos limitaremos á indicar lo que creemos más interesante y ménos difícil de representar.

A veces se presenta una estructura, que para muchos observadores se asemeja á un bosque de árboles gigantescos, cuyas ramas se cruzan y enlazan. La comparacion no es exacta, porque las subdivisiones que pudiéramos considerar como ramas, no corresponden á un tronco comun, antes bien, parece proceden de surtidores independientes que hasta cierta altura tienen una direccion comun, y fuera de ella se separan en distintos sentidos. Esta misma estructura se hace en ciertos casos en extremo confusa, porque difundiéndose las puntas de los surtidores, forman una atmósfera, ó mejor dicho, un fondo empastado que no permite distinguir bien los detalles de la estructura.

Por razon análoga y por la superposicion de unos surtidores á otros, se forman masas, cuyo aspecto recuerda el del tegido celular. Estas estructuras formadas por los surtidores cruzados, son en muchas circunstancias bastante dificiles de estudiar.

§ V. NUBES SUSPENDIDAS

Con este nombre designamos, no esas masas difusas de que hablábamos hace poco, sino otras brillantes, esplendentes, al parecer, verdaderos centros de radiacion luminosa, que se presentan completamente aisladas sobre la cromoesfera y que lanzan filamentos luminosos en todos sentidos, siendo lo más comun que sigan éstos la direccion de arriba á abajo, figurando una lluvia de fuego.

Algunas veces puede el observador presenciar la formacion de estas nubes, que ocurre del siguiente modo. Unos filetes muy vivos parten de la cromoesfera y á cierta altura se unen y condensan, produciendo un cúmulo nebuloso y brillante. Formada ya la nube, permanece suspendida y al cabo de algun tiempo desaparecen los filamentos que la alimentaron. Si el observador no viese la faz descrita, le seria imposible adivinar el origen del fenómeno. No es, sin embargo, esta manera de formacion la única observada; el señor Tacchini, durante sus observaciones, ha visto formarse algunas nubes sin que haya precedido la existencia de filete alguno, tal como los que hemos descrito, y que en nuestro caso explican la formacion de la

nube. Ocorre á veces que, en vez de los filamentos ascendentes, las nubes los rádian de alto á bajo, y en este caso es necesario convenir, segun todas las probabilidades, en que las nubes se forman por vía de condensacion.

La nube más extraordinaria que nosotros hayamos visto, la observamos el 25 de Agosto de 1872. El diseño que la representa, fig. 37, fué ejecutado por el P. Ferrari. Era una llama inmensa, completamente aislada, con un núcleo casi redondo que radiaba hácia la parte superior, como un globo inflamado, y emitia filetes hácia la inferior; pudiera haberse dicho que era un cometa ardiendo. Se observó durante tres horas sin notar variacion, y á la mañana siguiente aún existia, aunque su volúmen habia disminuido considerablemente.

El Sr. Tacchini ha observado gran número de nubes que lanzaban de alto á bajo lluvias de fuego. El 18 de Setiembre de 1873 tuvimos ocasion de observar en su compañía una de estas masas brillantes, que se formó despues de una violenta erupcion; afectaba la forma de un arco de parábola, y una de las dos ramas, la ménos elevada, vertia sobre la cromoesfera una verdadera lluvia de fuego, mientras la otra rama disminuia de extension.

Estas masas aisladas que ordinariamente cambian de forma y tamaño con gran rapidez, adquieren á veces una elevacion enorme. El 3 de Abril de 1872 vimos una de las más altas que hayamos observado. Hé aquí la tabla de las observaciones:

Fig^a 37.



Fig^a 38.



Tiempo.	Alturas.	Tiempo.	Alturas.
8. ^h 44 ^m	259'' ó 4'.19''	9. ^h 10 ^m	449'' ó 7'.29'
8. 50	345 5.45	9. 15	244 4.40
9.	372 6.12	9. 26	indicios 7

Resulta de estos números que desde las 8 y 44 á las 9,10 creció la protuberancia en 130.320 kilómetros, ó sea, con una velocidad de noventa y medio kilómetros por segundo, llegando á tener una altura máxima próximamente igual á la mitad del radio solar.

Fácilmente podriamos citar otros muchos casos, pero no lo creemos necesario, y ademas, en el capítulo siguiente tendremos ocasion de completar la descripción de estas fantásticas figuras.

CAPÍTULO III.

Erupciones solares.

§ I. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS FORMAS DE LAS PROTUBERANCIAS.

El análisis de los fenómenos que acabamos de estudiar, nos conduce naturalmente á dividir las protuberancias en tres clases:

1.^a Tranquilas y serenas, formadas por una materia que está en vias de desaparecer, difundiéndose como el humo en nuestra atmósfera.

2.^a Poseyendo una estructura fibrosa: evidente-

menté la materia que las forma está sometida á alguna fuerza que la conmueve, y de aquí todos esos filamentos entrelazados los unos con los otros, y esos movimientos extraños que se observan. Estas masas filamentosas aparecen algunas veces como suspendidas en la atmósfera solar, sin estar en contacto con la capa roja; entonces tienen gran semejanza con las nubes que flotan en la atmósfera de nuestro planeta; estas diversas circunstancias muestran que hay en el Sol corrientes rápidas y enérgicas, pero sin que esto sea motivo bastante para sentar la hipótesis de un centro eruptivo, propiamente dicho.

3.^a Hay una tercera clase de fenómenos que es imposible explicar sin admitir la existencia de una fuerza considerable, dirigida de abajo á arriba, y que eleva las masas de materia incandescente. No puede dudarse de la existencia de esta fuerza, sea que se conciba como originada por la diferencia de pesos específicos, ó bien como nacida en el interior del Sol mismo. Pronto tendremos ocasion de hablar de protuberancias gigantescas, para las cuales la intervencion de una fuerza tal como hemos dicho es completamente indispensable; por el presente sólo citaremos el caso observado el 12 de Julio de 1872. En el centro de una mancha, y en medio de una masa de llamas muy extensa, se veia un filete muy delgado elevarse más de 80 segundos, sin manifestar agitacion alguna, y tal como se eleva el humo de una bugia recién apagada en medio del aire tranquilo; cuando llegó el filete á la altura que ya hemos dicho, se ramificó formando un delicado penacho, y al cabo de algun tiempo este penacho comenzó á condensarse formando unas nubeci-

llas confusas, que acabaron por desvanecerse en filamentos ténues. Nos parece imposible explicar este fenómeno sin recurrir á una fuerza ascensional muy intensa. El filete debió ser lanzado de abajo á arriba, bien por la presion que ejerce en tal sentido un fluido sobre los demas que son ménos densos que él, bien por una impulsión directa que proviniese del interior de la masa solar. Casi se podria llegar á pensar en la existencia de cráteres de erupcion análogos á los de nuestros volcanes, si fuese posible concebir la existencia de algo sólido en el Sol.

Pero sin avanzar tanto, debemos creer necesariamente en la existencia de una fuerza eruptiva. Una observacion constante nos ha hecho saber que las protuberancias se dividen en dos clases perfectamente definidas: hay unas tranquilas, serenas, de formas persistentes durante largo tiempo, y tales que, sin ser fijas por completo, se trasforman con la lentitud necesaria para que no se noten las diferencias en intervalos de tiempo considerables, teniendo á más todas las de esta clase poco poder luminoso: las otras, por el contrario, tienen una luz viva, cambian rápidamente de forma, y la violenta actividad que en ellas se revela sufre intermitencias muy pronunciadas.

El espectróscopo nos ha revelado que estas dos clases de protuberancias tienen caracteres esencialmente distintos. Las primeras no contienen más sustancia que el hidrógeno y la correspondiente á la raya D_3 ; en las segundas hay gran cantidad de vapores metálicos diversos, y más principalmente los del sódio, magnesio, calcio, hierro, etc. Vamos, pues, á estudiar estos fenómenos con especial cuidado, entrando en

todos los pormenores que requiere la importancia del asunto.

§ II. DE LAS ERUPCIONES SOLARES.

Se distinguen las erupciones solares de las protuberancias verdaderas en los siguientes caractéres:

1.º Luz en extremo brillante, hasta tal punto que, en algunos casos, se distinguen por su brillantéz, sin tener mayor altura que la cromoesfera, la cual parece entonces guarnecida de puntas rectas y rígidas. Esta mayor viveza de la luz no altera el índice de refracción de la raya C, pero modifica el color de los rayos correspondientes dándoles un matiz característico.

2.º Los movimientos y los cambios de forma son en extremo rápidos en las erupciones; los surtidores gaseosos aparecen bajo la forma de delgados filetes perfectamente definidos en las mismas, mientras que en las protuberancias propias presentan un aspecto difuso y esfumado.

3.º La materia aparece lanzada con gran violencia, y describe parábolas y espirales de elegante forma, cosa que no ocurre en los otros casos.

4.º Es característico, y contrasta con la persistencia de las protuberancias, la intermitencia y la corta duración de los fenómenos eruptivos. Y precisamente esta breve duración y estas intermitencias constituyen la mayor dificultad para el estudio de los mismos, porque, por esta causa, es con frecuencia impo-

sible apereibirse de los hechos más importantes y comprender las relaciones que existen entre las diversas fases que se suceden.

5.º Las materias eruptivas contienen siempre, á más del hidrógeno y del helio, otros muchos vapores metálicos: así, pues, la presencia ó ausencia de estos vapores es un carácter suficiente para dividir los fenómenos en dos categorías perfectamente marcadas.

6.º Las erupciones de vapores metálicos no se presentan más que en la region de las manchas; hecho es este de la mayor importancia, y ya volveremos sobre él para estudiarlo detenidamente. Hr. Spörer, de Anclam, ha llegado á las mismas conclusiones que nosotros, y distingue dos categorías de protuberancias, unas las *tranquilas*, otras las *flameantes*. Estas últimas son precisamente las que dan los espectros de los vapores metálicos.

Como nos es imposible dar leyes generales respecto á estos fenómenos, seguiremos la marcha inversa; describiremos algunos de los más importantes observados, y así el lector podrá formarse una idea general de los caracteres comunes á todos, prescindiendo de las circunstancias variadas al infinito que concurren en cada uno de ellos.

Puede decirse que por punto general las erupciones se manifiestan en los puntos en que el brillo de la cromoesfera es muy grande, y donde se observan las puntas rectas y rígidas de que ya hemos hecho mérito. Una erupcion observada el 4.º de Julio del 74, presentó las siguientes fases: comenzó por un cúmulo muy brillante que emitió una manga de rayos cortos y gruesos, que duraron poco tiempo; su brillo

era tan intenso que podia distinguirse á través de algunas nubes ligeras que cruzaban delante del Sol; algo despues de las tres y media estalló una manga de rayos largos, que pronto cesó, y al parecer todo habia ya terminado cuando vimos un haz de rayos divergentes, perfectamente marcados; uno de ellos crecia con una velocidad de 190 kilómetros por segundo, y alcanzó una longitud de $4',25''$, unos once rádios terrestres; más tarde, los rayos del haz flamearon encorvándose, para volver despues á aparecer casi rectos y rígidos; despues, tras una série de alternativas semejantes á las ya descritas, los surtidores luminosos sufrieron una nueva modificacion, y originaron una especie de nube difusa por el contorno, terminando de este modo el espectáculo del dia. Nosotros hicimos esta observacion con gran satisfaccion nuestra, porque no obstante haber hecho ántes otras el señor Tacchini, parecian tan extraordinarias, que tenemos un gran placer en poder unir nuestro testimonio al de este hábil é infatigable observador.

No terminan siempre tan bruscamente las erupciones violentas; con frecuencia presentan formas más complejas. Una de las más comunes, consiste en una gran masa, semejante á una nube sostenida por columnas de fuego inclinadas, ó más bien, como una nube que vierte lluvia luminosa, más brillante mientras más se aleja de la nube. Prestando la atencion conveniente, es fácil descubrir la manera de generacion de la nube luminosa. Los surtidores inflamados que figuran las columnas ó la lluvia, parten de la cromoesfera, bajo la influencia de una impulsión considerable; mientras esta impulsión les sostiene la veloci-

dad suficiente, aparecen distintos unos de otros; pero cuando casi se extingue, se difunden y mezclan, dando lugar á la masa que constituye la nube, bajo la forma de un vasto cúmulo, sobre el que generalmente hay otras nubes ménos luminosas.

Esta forma engendrada por la difusion de los surtidores, se presenta á veces con mucha más complicacion, viéndose en ocasiones dos y hasta tres nubes unas sobre otras, unidas entre sí por los surtidores, que parecen alcanzar desde la cromoesfera hasta la nube superior.

Otra forma engendrada de un modo análogo, pero de muy distinto aspecto, se observó el 43 de Abril del 70. Consistia en un haz de surtidores que afectaban próximamente la forma de una C, cuyo extremo superior se difundia, formando una nube muy poco compacta, mientras que en la parte cóncava del surtidor entraba otro, mucho ménos alto, sin tocarlo, y se difundia tambien por su extremidad superior. Ambos haces eran muy brillantes, y el mayor alcanzaba una altura de 4'30", ó sea de unos 139.000 kilómetros. Esta erupcion duró hora y media, durante cuyo tiempo cambió varias veces la forma descrita, y al fin desapareció por completo.

El 7 de Julio del 72 vimos otro ejemplar de estas nubes espesas, alrededor de las cuales se agrupan los surtidores de la erupcion. A las dos y 50 no se notaba en el sitio donde tuvo lugar el fenómeno más que un simple surtidor oblicuo, muy brillante; una hora despues todo habia cambiado. Durante el tiempo que habiamos empleado en dibujar el contorno solar, habia sido lanzada á la altura de 65 segundos una enor-

me masa. A las 3,50 la masa estaba formada por una manga, más ancha que alta, de surtidores ligeramente curvos, alcanzando diversas alturas, y terminados por unas nubes arrolladas sobre sí mismas, que describían un arco de círculo de pocos grados. A las 4 y 45 los surtidores habían crecido en longitud, disminuyendo en número, y la nube se había elevado más, perdiendo algo de su simetría. A las 4,30 el espectáculo era magnífico, el haz parecía un capitel corintio, los surtidores se encorvaban en sentido opuesto á cada lado, y figuraban con sus extremidades efumadas hojas colgantes. A las 5 y 40 el macizo era más grueso y la inclinación había cambiado. Veinte y cinco minutos más tarde quedaban pocos surtidores, aunque todavía elegantemente arqueados. A las 6 y 50 sólo quedaban algunos fragmentos aislados y suspendidos en la atmósfera. Al lado de estas masas luminosas tan fugaces y variables, se veía un abanico formado por el hidrógeno, permaneciendo al parecer en completa inmovilidad. Hr. Spörer observó esta erupción al mismo tiempo que nosotros. ¿Si estas masas han sido elevadas por aspiración y no por impulsión procedente del interior, cómo explicar la caída que se produce en el cúspide de los surtidores? Pero prosigamos describiendo los fenómenos que hemos observado. (1)

(1) El autor alude á la teoría de los torbellinos solares; aunque no parece inconciliable en absoluto la caída de la materia luminosa de los surtidores durante corto tiempo con la hipótesis aludida. El lector encontrará más adelante expuestas otras razones que corroboran las opiniones del autor. (N. del T.)

Estos surtidores luminosos con frecuencia afectan formas cuya belleza y elegancia exceden á cuanto puede engendrår la fantasia; así se ven fuentes, ramilletes y palmas de fuego, que caen con gracia formando curvas parabólicas, ó se arrollan sobre sí mismas, describiendo hélices y espirales. Naturalmente, estas últimas formas son las que más llaman la atención, porque en ellas parece que la materia luminosa rebota al llegar á cierta altura cuando cae. Nosotros hemos tenido ocasion de observar la forma espiral, y tambien ha ocurrido lo mismo á Young en América. Generalmente la concavidad de las curvas se vuelve hácia la superficie del Sol, aunque en algunos casos ocurre lo contrario, y á veces en una misma erupcion, por variacion de las fases, como ántes hemos dicho al desbribir alguna.

Con verdadero sentimiento tenemos que renunciar en este punto á describir y representar gran número de ejemplos cuyo conocimiento pudiera ser útil, y que pudiéramos tomar de la gran coleccion de dibujos hechos por nosotros. Citaremos, sin embargo, algunos demasiado interesantes para ser omitidos, y entre otros el que presentó la erupcion del 22 de Octubre del 72, cuyo primer aspecto aparece representado en la figura 38.

Estos inmensos movimientos son de tal modo rápidos, que no dejan tiempo siquiera para hacer los dibujos. Para formarse idea de la rapidez que posee la materia en estos casos, es necesario tener presente que un arco de un segundo subtiende una cuerda de 745 kilómetros, y que con frecuencia se observan movimientos que sólo en algunos instantes producen

transformaciones en espacios que abarcan dos ó tres minutos, es decir, una centena de millares de kilómetros. Un ejemplo de estos rápidos movimientos lo ofreció la erupcion del 16 de Octubre de 1871, que recorrió todas sus fases en un tiempo muy corto, y que nosotros observamos y dibujamos en presencia de O. Struve, el célebre director del observatorio de Pulkova.

En las siguientes líneas ofrecemos una sumaria descripción del fenómeno.

El 16 de Octubre de 1871 á las 9 y 10 no ofrecia nada de particular la parte occidental del Sol; á las 9 y 30 se manifestó una llama cónica, muy viva hácia el Oeste, y á 85 grados del polo Norte; cerca de ella, á 5 grados próximamente, se veia un cúmulo largo y borroso; á las 9 y 36 habia doblado la llama en ancho y en alto, y parecia haber absorbido el cúmulo; á las 9 y 39 continuaba dilatándose la base, permaneciendo constante la altura, 40 segundos próximamente, y afectando la forma de un haz recto.

A las 9 y 43 todo habia cambiado: el haz se abria formando abanico; las venas finas y curvas eran muy perceptibles, y por la parte superior terminaba en lenguas de fuego: la altura era de 64 segundos.

A las 9 y 49 se produjo una dilatacion muy considerable en todos sentidos; formaba una verdadera manga de fuegos artificiales. Por la izquierda, una enorme masa de rayos parabólicos caian sobre el Sol; algunas masas brillantes aparecian aisladas y suspendidas figurando cohetes en el momento de estallar. La altura total alcanzaba á 240 segundos, la anchura á 236 y la velocidad de ascension era de 350 kilóme-

tros por segundo. En la base de la protuberancia hallaba el espectróscopo gran número de rayas invertidas, correspondientes al sódio, al hierro, al magnésio, etc.

Á las 9 y 56 continuaban elevándose las masas, pero la luz disminuía. Se distinguían tres surtidores principales. Varias lenguas de fuego, formadas por filetes discontinuos, quedaban aisladas en la region superior. El surtidor vertical tenía 176 segundos de altura, unas diez veces el diámetro de la tierra.

Á las 10 y 5 el brillo había disminuido considerablemente, viéndose en la atmósfera gran número de masas luminosas aisladas y separadas por espacios oscuros.

A las 10 y 12 todo había terminado, no quedando más que algunas llamas insignificantes, sin que volviese á ocurrir nada en el resto del día.

No siempre terminan las erupciones tan rápidamente; por lo comun vuelven á presentarse al cabo de cierto tiempo, para durar más ó ménos, y extinguirse y reproducirse varias veces, especialmente en las épocas de gran actividad solar cuando una mancha grande esta sobre el limbo del Sol.

El 19 de Diciembre del 71 se presentó una gran erupcion sobre una mancha que atravesaba el contorno solar, erupcion en extremo interesante, porque pudo observarse no sólo mediante la raya C, sino tambien haciendo uso de la D₃; ofreciendo la particularidad de que las imágenes obtenidas por medio de cada una de estas dos rayas fueron bastante distintas, lo bastante para poder inferir que la raya D₃ corresponde á una sustancia diferente del hidrógeno.

La observacion constante nos ha hecho conocer que las grandes erupciones de vapores metálicos se producen más comunmente sobre las manchas grandes y en la época de mayor actividad, esto es, cuando ocurren los cambios considerables en sus formas y dimensiones. Pudiéramos citar cientos de casos en apoyo de nuestro dicho, pero nos limitaremos con referirnos á la hermosa mancha del 11 de Julio de 1872, en la que se observó una actividad extraordinaria durante todo el tiempo que tardó en recorrer el disco, cambiando rápidamente la forma de las corrientes de los núcleos y de las fáculas. El espectróscopo mostraba invertida la raya del hidrógeno, que dentro de los núcleos adquiria un brillo notable. Las rayas de los otros metales aparecian ensanchadas, sobre todo las del sódio, el hierro y el magnésio, etc. Una fácula muy viva rodeaba la mancha, y producía sobre su contorno una prominencia brillante.

Cuando llegó la mancha al limbo cuidamos de estudiarla, y apenas tocó la fácula al borde, aparecieron las protuberancias y se observaron erupciones vivisimas, ocupando tanto la region de la fácula como la de la mancha, de tal modo que era muy difícil decidir el lugar en que se encontraban los centros de accion. Y lo que hubo de más extraordinario fué, que se renovaban las erupciones con un intervalo de cinco á seis horas, y que parecian vivificarse en un lado cuando se extinguian en otro. En el 11 de Julio observamos con admiracion el hecho singular de que los surtidores luminosos presentaron su convexidad completamente hácia el globo solar, tal como si un soplo poderoso de alto á abajo abatiera una corriente gaseosa en el mo-

mento de salir de un cráter. ¡Habria, pues, necesidad de admitir la existencia de una presion de arriba á abajo, en vez de una aspiracion en sentido opuesto!

Siéndonos imposible extendernos más sobre este punto, remitimos al lector, para más pormenores, á las publicaciones de los Sres. Tacchini, Respighi, Zöllner y Young, así como á nuestras propias memorias y á las de los demas espectroscopistas; en ellas hallará numerosos detalles y dibujos interesantes é instructivos sobre estos admirables fenómenos. Y si nosotros hemos hecho uso preferente de nuestras observaciones, ha sido porque no obstante lo numeroso de las publicaciones hechas hasta el presente sobre el asunto, no hemos encontrado en parte alguna séries completas y comparables, en las cuales estuviesen las figuras trazadas segun un método gráfico constante y dispuestas de una manera sistemática y conveniente para la instruccion del lector.

§ III. CONCLUSIONES RESULTANTES DE LAS OBSERVACIONES ANTERIORES.

Los particulares expuestos en el anterior capítulo no tienen por objeto único satisfacer la curiosidad, antes bien pueden y deben llevarnos á sentar las conclusiones que vamos á exponer:

1.^a Las materias que dan origen á las protuberancias son, en general, gases incandescentes dirigidos á las regiones superiores por fuerzas cuyo origen no conocemos con seguridad. El movimiento ascencio-

nal es debido á la ligereza específica de los gases, ó es necesario atribuirlo á una fuerza impulsiva proviniente del interior del globo solar? No podemos disipar la duda, pero no obstante esto, tenemos perfecto derecho para designar el fenómeno con la palabra erupcion. Si Faye declara que nada hay en los fenómenos observados que justifique esta expresion, consiste simplemente en que jamas ha visto lo que nosotros hemos observado tantas veces; y si añade, que todas las circunstancias del fenómeno estan en contradiccion con el sentido natural de la palabra usada para designarlo, no es más que por haberse dejado influenciar por prejuicios teóricos inconciliables con los hechos que habitualmente tenemos á la vista. Tenemos la completa seguridad de que si hiciese algunas observaciones por sí mismo, cambiaría completamente de opinion; como ya ha ocurrido en el asunto de las protuberancias, que durante algun tiempo atribuyó á ilusiones de óptica, producidas por el espejismo!

Sin duda alguna que la mera inspeccion de un fenómeno no autoriza á sentar seguidamente conclusiones que pudieran ser prematuras, y tambien es cierto que no debe confundirse la *descripcion* de un hecho con la teoria que lo explica; pero en el caso actual nos parecen tan claros los fenómenos y su explicacion tan evidente, que nos sería imposible dar idea de ellos tal como aparecen á nuestra vista, sin hacer uso de la palabra que hemos adoptado, siguiendo en esto el ejemplo de gran número de físicos que se han ocupado del asunto.

2.^a La materia no parece lanzada simplemente

en línea recta, sino animada al propio tiempo de un movimiento vertiginoso, lo que dá á los surtidores luminosos la apariencia de espirales, cuyos ejes pueden ocupar todas las posiciones desde la vertical á la horizontal. Estos movimientos vertiginosos, sobre todo cuando el eje del vértice es horizontal, deben ser resultado de la acción de la fuerza eruptiva, combinada con la de unas corrientes violentas, dirigidas en sentido normal á la fuerza ascendente. Ya hemos hecho notar antes que la aspiración, por sí sola, no basta á explicar los fenómenos descritos.

3.^a Cuando llegan las masas luminosas á cierta altura cambian de aspecto, se mezclan, se confunden y pierden el aspecto filiforme para tomar una apariencia nebulosa, como la del humo que se desvanece en el aire; después, continúan ascendiendo más y más, y mientras más ascienden más se difunden, hasta que concluyen por desaparecer. Debemos inferir de aquí, que estos movimientos se realizan en un medio resistente, y es probable que en este caso la fuerza motriz sea únicamente debida á la ligereza específica de los flúidos, mientras que los fenómenos que presentan otras apariencias presuponen una fuerza de impulsión de origen diferente.

El medio resistente de que hemos hablado es la atmósfera solar. Ya antes habíamos sostenido la existencia de esta atmósfera, y habíamos añadido que debía tener una altura suficiente para que pudiera explicarse la presencia de las masas luminosas que aparecen suspendidas y aisladas en el espacio; también habíamos señalado como límite inferior á esta altura la magnitud de cinco á seis minutos, es decir, de

214.500 á 257.000 kilómetros; y debemos añadir ahora que, para concordar con las observaciones referidas en el capítulo presente, debemos llevar el límite hasta siete y medio minutos, lo que viene á ser próximamente la mitad del radio solar. Las observaciones hechas durante los eclipses han confirmado estas afirmaciones nuestras: la aureola de hidrógeno observada, resulta manifiestamente de la difusión del gas procedente de las protuberancias; su altura alcanza cuando ménos á la cuarta parte del diámetro del Sol.

4.^a Generalmente están compuestas las protuberancias de surtidores filiformes; preciso es suponer que estos chorros luminosos están sometidos á una fuerza de expansion, pero esto no obliga á suponer que sean lanzados por orificios practicados en paredes liquidas ó sólidas. Con frecuencia se ven en nuestra atmósfera nubes de igual estructura, sin que pueda explicarse su formación por tal supuesto, y en la atmósfera solar tambien se observan nubes completamente separadas de la cromoesfera, teniendo de igual modo la estructura fibrosa, siendo seguro en este último caso que no pueden haber sido lanzadas á través de orificio alguno. Vemos, pues, que tal hipótesis es enteramente gratuita, y debe rechazarse como inútil.

Por lo demas, parando mientes sobre las dimensiones de los chorros luminosos, se vé cuán excusado es suponer la existencia de orificios resistentes que los circunscriban. Los más delgados tienen un diámetro de 200 á 300 kilómetros, algunos tienen cuatro, cinco y hasta diez veces el diámetro de la Tierra, unos 420.000 kilómetros. Además, cuando una masa de

aceite volátil arde, emite una columna de humo que está limitada por el tamaño de la parte que se halla en ignición; de un modo análogo los filetes solares pueden estar determinados por el tamaño de la masa incandescente que los produce.

5.^a Respecto á la sustancia que principalmente forma las protuberancias, puede decirse que es el hidrógeno, cuerpo que en union con el que produce la raya D_3 se halla en gran cantidad sobre la cromoesfera. Y sabido esto, ocurre naturalmente la idea de, si el hidrógeno que se desprende en las protuberancias provendrá de la masa interior del Sol. Esta cuestion es de gran interés, porque si la respuesta fuese afirmativa, hé aqui las consecuencias ineludibles: la masa interior debe agotarse; la atmósfera solar debe estar creciendo continuamente por la acumulacion del gas. Porque, segun hemos podido observar durante nuestra larga práctica, en las épocas de gran actividad solar se ven, durante cada dia, de doce á trece centros de erupcion, y teniendo en cuenta que durante el dia no pasa por el limbo solar más que un catorceavo de la superficie del Sol, podemos decir que en tales épocas hay más de doscientos surtidores de hidrógeno en plena actividad en toda la superficie del astro. Saliendo constantemente tan gran cantidad de fluido de la masa solar, debe al fin agotarse el manantial y cambiar las condiciones del astro, en un periodo de tiempo relativamente corto.

Como respuesta á esta objecion se ha dicho que, siendo tan grande la masa solar, si una gran cantidad de ella fuese hidrógeno y este gas estuviese sometido á una presion bastante grande, podria verificarse la

emision que observamos durante millares y aún millones de años, y que si bien es cierto que al fin cesarian, esto no tendria lugar hasta una época muy lejana aún; la cosa no tiene nada de imposible.

La respuesta, sin embargo, no es del todo satisfactoria, porque no resuelve más que una parte de la dificultad. Aun suponiendo que en el interior del globo solar haya un manantial casi inagotable de hidrógeno, es evidente que alguna influencia habria de ejercer el gas que constantemente fluye á la atmósfera solar, en cantidad lo bastante grande para que, acumulándose, sea su aumento perceptible en un tiempo no muy largo. Y sin embargo, á juzgar por la aureola que se observa durante los eclipses y por el conjunto de las apariencias que presenta el Sol, parece cierto que la constitucion de este astro no ha cambiado desde hace uno ó dos siglos. Pero nosotros creemos poder afirmar, además de esto, que la influencia general ejercida por el Sol sobre la Tierra, ha permanecido en las mismas condiciones durante todo el periodo histórico.

Dos medios hay de evitar estas dificultades: el primero consiste en suponer que las erupciones son no más que simples levantamientos de la masa cromoesférica, cambios de nivel en las capas superficiales, que despues de haber adquirido mayor densidad por el enfriamiento, vuelven á caer sobre el Sol. El segundo supuesto estriba en admitir que las erupciones se originan por la disociacion de un compuesto químico formado por el hidrógeno y otra sustancia desconocida, tal como aquella que produce la raya D_3 . Estos elementos, despues de separados por la accion

del calor, podrian volverse á combinar mediante el enfriamiento en las altas regiones, y precipitarse despues sobre la superficie del Sol.

Nos parece imposible, en la actualidad, decidir cual de estas dos hipótesis es preferible, porque no conocemos ningun hecho decisivo; así es, que aún algunos sostienen la opinion de las emisiones indefinidas, respondiendo á las objeciones que hemos indicado, afirmando que en vez de acumularse el hidrógeno, se difunde constantemente en los espacios interplanetarios, y añadiendo que quizá en este hecho se podrá encontrar la causa de las auroras polares y de la luz zodiacal. Pero en este punto se presentan dos dificultades de gran importancia, que constituyen verdaderas imposibilidades. La primera estriba en que los espectros de la luz zodiacal y de la aurora boreal no son iguales, y ámbos difieren del que dá el hidrógeno: no es posible, pues, sostener que se ha encontrado la causa verdadera de tales fenómenos, y servirse de esto como de un argumento para apoyar la hipótesis en que se fundan. Todo lo más que podria decirse, es que el hidrógeno difundido, teniendo una temperatura demasiado baja para ser luminoso por sí, aparece débilmente iluminado por la luz solar; pero aún en este caso, el fenómeno deberia producirse igualmente en todas direcciones, y es sabido que tal cosa no ocurre con la luz zodiacal. La segunda verdadera imposibilidad consiste en que si se verificase la emision continua, disminuiria constantemente la masa solar, y esta disminucion, con el tiempo, llegaria á ser bastante para ejercer una influencia sensible sobre el movimiento de los planetas, y los astrónomos no han notado nada

que se parezca á esto. Verdad es que se ha supuesto que la caída de los meteoritos acrece la masa solar, pero esta compensacion es verdaderamente demasiado problemática.

Vamos á permitirnos exponer nuestra opinion y las razones que nos han hecho adoptarla. En todos los actos de la naturaleza hay un elemento de compensacion, que tiende á mantener el equilibrio en medio del movimiento; (1) debe, pues, realizarse en los fenómenos que ocurren en el Sol, y en particular en el caso de las erupciones que nos ocupan en este momento: así, pues, creemos más probable la primera de las dos hipótesis de que acabamos de ocuparnos, segun la cual sólo habria una circulacion del hidrógeno producida por variaciones en la temperatura de este gas. Con frecuencia vemos caer sobre el Sol la materia todavía incandescente; con mayor razon, pues, debe verificarse este movimiento cuando la temperatura haya descendido considerablemente. Ahora bien, segun nuestras observaciones, el hidrógeno se eleva a una altura de seis á siete minutos, y á veces más, viéndose entonces disminuir su luz con gran rapidez en algunos casos, prueba clara de que se enfria, y al enfriarse debe aumentar de densidad; lo más natural, despues de esto, es pensar que descienda á las regiones de donde salió.

(1) Admitida hoy por todos los físicos la idea de la *conservacion de la energia*, la proposicion es cierta respecto al universo, pero para cada cuerpo aislado no tiene fuerza, y el lector observará el caso á que se aplica.

(N. del T.)

Tienen las protuberancias una altura variable, sin duda alguna; pero resulta de nuestras observaciones que las partes brillantes nunca se elevan más de doscientos ó doscientos cincuenta segundos. Más arriba de esta altura no hay más que materia nebulosa, en extremo rarificada, sin que en ella se encuentre la estructura fibrosa, ni aquellas masas compactas y bien definidas que corresponden á esta estructura. Se puede asegurar que las llamas, propiamente tales, no pasan nunca del límite que acabamos de señalar; sobre las llamas, en un espacio igual próximamente, se extienden las nubes, de manera que la materia roja no se extiende más allá de cuatrocientos á quinientos segundos. Las protuberancias compuestas son las que alcanzan mayor altura, siendo esta por término medio igual á la mitad de su base. Un surtidor aislado rara vez pasa de noventa segundos. Agreguemos á esto una observacion fundada sobre otras que pronto citaremos. Las protuberancias y las erupciones varían periódicamente, coincidiendo próximamente el periodo de esta variacion con el correspondiente de las manchas. Ahora bien, si en el periodo de actividad se dilata la atmósfera solar, posible es que en el de calma se contraiga hasta reducirse á sus dimensiones primitivas. En este momento (Agosto del 75) la cromoesfera está muy baja, las erupciones metálicas son muy raras, y las verdaderas protuberancias muy escasas. Hémos aquí, pues, en un periodo en que la materia lanzada en otro tiempo á gran distancia del Sol, se concentra en un espacio más reducido. Segun las relaciones del eclipse de Abril de 1875, que tenemos á la vista, la corona y las protuberancias tuvieron muy poca extension.

§ IV. VELOCIDAD DE FORMACION DE LAS PROTUBERANCIAS.

La rapidez con que se producen los movimientos y las trasformaciones de que hemos hablado, es en extremo vária; á fin de explicar más claramente el asunto, vamos á poner algunos ejemplos y á describir algunas de nuestras observaciones.

El 26 de Mayo de 1871 tuvimos á la vista una masa nebulosa, cuya altura era de 1'30"; hora y media más tarde habia duplicado esta altura, lo que supone una velocidad de 12 kilómetros por segundo. Es bien poca cosa, y sin duda el movimiento era debido solamente á la ligereza especifica de la sustancia incandescente. Con frecuencia hemos observado velocidades de 60, 80 y àun 100 kilómetros; sólo una vez hemos presenciado un movimiento de 250 kilómetros por segundo; la erupcion del 16 de Octubre de 1871 fué mucho más rápida, puesto que dió una velocidad media de 370 kilómetros. La nube que observamos el 3 de Abril de 1873, y que fué la más alta que nosotros hayamos visto, ascendia á 90 kilómetros por segundo.

Las erupciones observadas por Young, se habrian elevado á razon de 413 kilómetros por segundo, si no hubieran encontrado resistencia en el medio en que se verificaban. (1) Pero es preciso distinguir entre la

(1) Monthly, Notices R. A. Soc. Diciembre 71 t. XXX p. 50.

velocidad inicial con que es arrojada del globo solar la materia incandescente, y la velocidad con que despues se eleva. Despues hablaremos de la velocidad inicial; ahora tratamos sólo del tiempo que tarda en desarrollarse una erupcion y de la altura á que alcanza, ó sea de lo que observamos directamente, y mediante lo cual podemos determinar la velocidad media de propagacion; y precisamente de esta última vamos á ocuparnos, procurando dar una idea de ella, mediante algunos ejemplos.

El 17 de Abril de 1874, á las 11 y 50, observamos sobre el borde del Sol á la parte del Suroeste, un grupo de fáculas muy vivas, y enmedio de este grupo una mancha próxima á franquear el limbo y ocultarse á nuestra vista. Encima de las fáculas brillaba un haz de surtidores luminosos, cuya altura era próximamente de un minuto, dirigido oblicuamente á la prolongacion del rádio solar y terminado por un pequeño cúmulo nebuloso. Al cabo de algunos minutos los surtidores se hicieron más brillantes; al medio dia, precisamente, se inclinó su parte superior hácia la izquierda, y sobre él se desarrolló con una prodigiosa rapidez la masa nebulosa. A las 12 y 15 se produjo á la izquierda otro surtidor, en un punto donde ántes no habia traza alguna de erupcion, dando nacimiento á nubes que al parecer se unian con las otras, pero siendo fácil ver que ámbos surtidores eran independientes. El principal, el que se observó primero, seguia desarrollándose y aparecia coronado por una especie de cabellera, que se extendia constantemente, formando un arco de parábola, ó más bien de espiral, envolviendo por completo al otro surtidor. Sobre la

parte superior de este arco se elevaba una enorme masa de nubes de una forma indescriptible, cuyo aspecto cambiaba á cada momento. La altura á que habia llegado era de 4 minutos, pero su contorno superior no estaba bien definido; la velocidad era de 443 kilómetros. Por más que procuramos hacer bosquejos del fenómeno con toda la rapidez posible, nos fué completamente imposible terminar ninguno de ellos, porque el cambio de aspecto era más rápido que nuestras manos. A las doce y media todo habia concluido, no percibiéndose más que algunas llamas en los lugares en que habian brillado los inmensos surtidores. Sostuvimos la observacion hasta las cuatro, pero no volvimos á ver nada semejante á estos magníficos fuegos artificiales.

Por el ejemplo que antecede, vemos que es necesario no considerar como exajeradas las descripciones pomposas hechas por los observadores, aunque nos sorprendan por las maravillosas dimensiones del fenómeno y por la rapidez con que se ejecutan los cambios de forma. Desde primeras observaciones notó Lockyer velocidades de 300 á 400 kilómetros. El señor Respighi asegura haber observado velocidades iniciales de 600 á 700, y aún de 800 kilómetros. (1) El Sr. Tacchini valúa las velocidades en 300 kilómetros. Preciso es reconocer que no siempre alcanzan las erupciones magnitudes tan grandes como las del

(1) Mem. sulle protub. solari (Atti dell' Ac. R. dei Lincei 71, p. 71, § III.) Estos números necesitan comprobacion.

ejemplo citado, y tambien puede admitirse que las mensuras no son intachables bajo el punto de vista de la exactitud. Sin embargo, no vacilamos en creer que los números indicados no distan mucho de la verdad; lo que nosotros mismos hemos visto basta para poder comprender que nada hay, en lo anterior, imposible, ni áun inverosímil.

Los señores Lockyer y Respighi, al hablar de los fenómenos que han observado, suelen compararlos á explosiones, que se suceden mediando cortos intervalos de una á otra. En algunos casos llegan á hablar de *bombas* (1) y de *detonaciones*. Estas expresiones sin duda alguna son hijas del primer momento de sorpresa, y han sido inspiradas por la analogía que naturalmente se halla entre las erupciones solares y los fenómenos que presentan nuestros volcanes; pero por extraordinarias que puedan parecernos las expresiones de que se sirven los observadores, claramente nos muestran que las acciones mecánicas de que han sido testigos, fueron de una violencia incomparable.

Conviene, sin embargo, no admitir sin comprobación ciertas velocidades exorbitantes; un cuerpo lanzado de abajo á arriba con una velocidad de 612 kilómetros por segundo, se alejaría indefinidamente del Sol y saldría de su esfera de atracción antes que su velocidad se anulase, no volviendo jamás á caer sobre

(1) Con este nombre de *bombas* han designado, sin duda, esas masás incandescentes que permanecen suspendidas en la atmósfera cierto tiempo ántes de disolverse.

él (1). Explosiones capaces de producir velocidades iniciales de 600 á 800 kilómetros, tienen que difundir la materia solar en los espacios planetarios. Ciertamente que estas explosiones no tienen lugar en el vacío, y también que la atmósfera solar disminuye constantemente esta velocidad inicial, y puede, en ciertos casos, impedir la difusión de que tratamos; pero la densidad de esta atmósfera no es muy considerable, y si la velocidad inicial fuese realmente de 800 kilómetros, no bastaría la resistencia que puede oponer para impedir á la materia salir de la esfera de acción y esparcirse en el espacio (2). Por nuestra parte esperamos, para considerar como verdaderas ciertas velocidades extraordinarias, á verlas confirmadas por nuevas observaciones.

(1) La fórmula $v = \sqrt{2ar}$ dá el valor de la velocidad inicial suficiente para que un cuerpo salga de la esfera de atracción de un astro, siendo a el valor de la aceleración en el punto donde comienza el fenómeno, y r la distancia de dicho punto al centro del astro. Se prescinde de la acción de la atmósfera en esta fórmula.—(*N. del T.*)

(2) Véanse los trabajos de M. Proctor Monthly, Not. R. A. Soc.

§ V. COMPARACION ENTRE LAS FORMAS
DE LAS PROTUBERANCIAS OBSERVADAS EN LOS ECLIPSES
Y AL ESPECTRÓSCOPO.

Puede ser motivo de duda, si los diseños que hacemos de las protuberancias, de acuerdo con lo que nos muestra el espectróscopo, representan tambien lo que veriamos si pudiéramos observarlas directamente, como hacemos durante los eclipses. Esta cuestion se puso á la órden del dia en el eclipse de 1870. El estado del cielo nos impidió hacer observaciones concluyentes, pero por lo que obtuvimos, nos pareció que la semejanza era suficiente.

El Sr. Tacchini pudo, en Terranova, hacer una comparacion más exacta. Observó con el antejo una protuberancia, y despues del eclipse volvió á observarla con auxilio del espectróscopo, notando que por este último procedimiento no alcanzaba á distinguir más que la parte central, más brillante. La imágen obtenida en la primera observacion se asemejaba mucho á la segunda examinándola á traves de un medio nebuloso, y eso que el Sr. Tacchini se sirvió de un espectróscopo de poca fuerza. Lockyer, en su expedicion á la India, halló una semejanza perfecta entre las apariencias de una misma protuberancia observada de las dos maneras que acabamos de indicar. Sin embargo, todos los observadores estan contextes en asegurar que durante los eclipses los colores son más brillantes y más bellos; consiste la razon de esto en

que durante el eclipse recibe el ojo toda la luz que el objeto envía, y como el espectróscopo forma tantas imágenes como colores hay en la luz que analiza, cada una de estas imágenes tiene forzosamente que ser ménos clara y ménos bella. Además, el gran brillo de las protuberancias durante los eclipses puede impedir la vision de algunas partes ménos luminosas.

Otra duda puede presentarse. ¿Ven todos los espectadores la misma imagen en sus respectivos espectróscopos y hay algo de subjetivo en las formas que cada cual distingue? Para zanjar la dificultad, nos hemos puesto de acuerdo con los Sres. Tacchini de Palermo y Lorenzoni de Pádua. Los resultados de estas observaciones han sido publicados en las láminas III y IV de las Memorias de la sociedad de espectroscopistas italianos, año 4.º 1872; por ellos hemos probado que las figuras correspondientes á observaciones simultáneas son idénticas, en cuanto á la parte esencial; y que, en cuanto á las diferencias que se observan en los detalles, no son mayores que las que se notarian en las representaciones de una nube, ó de otro objeto, de contornos poco definidos, si fuesen ejecutadas por distintas personas. Las mayores diferencias provienen de la mayor ó menor habilidad en el arte de dibujar y de la *manera* peculiar de cada uno. Se puede, pues, tener la seguridad de que las protuberancias son iguales para todos, en cuanto á la forma general y á las partes esenciales.

El poder del instrumento usado no deja de influir sobre las diferencias que se notan en los detalles. Una protuberancia que con poca ampliacion se vé clara y distinta, pierde el relieve y la limpieza si se hace uso

de mayor aumento; esta es la causa principal de las diferencias que se observan entre nuestros dibujos y los del Sr. Tacchini. Un antejo relativamente débil puede hacernos ver el surtidor principal de una protuberancia, que aparecerá brillante y como recortado, mientras que otro antejo de más poder, de mayor ampliacion, hará notar tambien otras masas ménos luminosas, y el conjunto presentará un aspecto nebuloso, bastante distinto del anterior. Por esta causa las manchas, si bien pueden ser vistas con todos los antejos, no pueden ser analizadas en sus más pequeños detalles sin el auxilio de antejos poderosos. Pero si esto es verdad, no es ménos cierto que la forma general de una protuberancia puede observarse y representarse con el auxilio de cualquier espectróscopo.

Terminaremos este capitulo con una reflexion importante. Hemos visto cuan corta es la duracion de las erupciones, y cuan variable la forma de las protuberancias. Esto nos muestra que, á pesar de la asidua perseverancia de los observadores, no podemos conocer más que una muy pequeña parte de los fenómenos que se presentan en la superficie del Sol. Si los más hábiles observadores consiguen consignar un cierto número de ellos, es infinitamente mayor el número de los que escapan á su vigilancia. Convencidos de esto, hemos procurado que varios observadores italianos se pongan de acuerdo para hacer las observaciones de un modo sistemático, único medio de llegar á descubrir las leyes que procuramos conocer. La sociedad de los espectroscopistas italianos, ya formada, esperamos nos releve de la pesada tarea de examinar el limbo solar, tarea que nos habíamos impuesto, que

es mucho más penosa que la de examinar las manchas, y que sin embargo no hemos interrumpido desde el 23 de Abril de 1874 hasta la fecha presente, (Enero de 1876.) Tenemos la satisfacción de poder anunciar aquí que el número de los observadores aumenta de día en día. El P. Lafont acaba de establecer en Calcuta un observatorio destinado al Sol, y más especialmente al estudio de las protuberancias. En Postdam, en Oxford y en América hay ya observatorios análogos, y pronto nada tendremos que desear respecto á este punto.

CONCLUSION.

Los fenómenos que hemos descrito anteriormente son indudablemente erupciones, en el sentido natural de la palabra; no nos sería posible dudar del modo con que son lanzadas esas masas incandescentes en la atmósfera solar. ¿Pero son debidos estos movimientos á una impulsión interna, ó á una aspiración? No es la vista quien ha de decidir la cuestión, la solución nos la ha de dar la reflexión y el raciocinio, comparando el conjunto de hechos observados en el estudio de las erupciones y en el exámen de las manchas solares. Dejaremos este trabajo para otro capítulo; pero desde ahora nos parece evidente que la mayor parte de las circunstancias que rodean á estos fenómenos, conducen más bien á admitir la idea de un empuje interior, que la hipótesis de una aspiración cuya existencia no podríamos explicarnos de un modo satisfactorio.

CAPÍTULO IV.

Análisis espectral de las protuberancias, observadas
independientemente de los eclipses.

§ I. RAYAS OBSERVADAS EN LAS PROTUBERANCIAS.

Ya sabemos por las observaciones hechas durante los eclipses, que las protuberancias estan compuestas en gran parte por el hidrógeno. En las observaciones hechas en 1868, hizo constar Rayet que otras varias sustancias entraban tambien en la composicion de estos objetos. Despues del *capital* descubrimiento hecho por Janssen, se comenzó con gran premura el estudio de estas rayas en pleno dia. Vamos á dar á conocer en este capítulo las conclusiones á que se llegó bien pronto.

No todas las rayas del hidrógeno son igualmente fáciles de ver: dos de ellas, $H\alpha=C$ y $H\beta=F$, son siempre visibles, pero $H\gamma=2793,5$, K próxima á G, en el azul oscuro, y sobre todo $H\delta=3363,5$ K son muy difíciles de distinguir. Segun una observacion de Lockyer, estas rayas no existen más que cuando el gas está á muy alta temperatura, y por lo tanto, cuando no es posible distinguir las, es por no tener la temperatura suficiente. Es necesario, sin embargo, mantenerse en

guardia contra las inducciones prematuras, porque se corre riesgo de interpretar mal un hecho puramente negativo. El Sr. Lorenzoni ha probado que, si se desea observar con exactitud cualquiera de las rayas más refrangibles, es preciso evitar una dispersion excesiva y disponer el antejo de un modo especial; porque es sabido que, en los mejores lentes acromáticos, el foco óptico no es comun á todos los rayos, no existiendo el acromatismo más que para los colores que más contribuyen á la vision, no estando rigurosamente compensados los rayos más refrangibles. Esto supuesto, se vé que hay necesidad de poner la imágen solar en el foco propio de cada raya, si se desea verla con limpieza. Operando de este modo, ha conseguido el señor Lorenzoni ver sobre todo el limbo la raya H_7 ; y hasta ha conseguido ver otra más, á la que ha llamado f , que corresponde á la longitud de onda 4.584 (Ångström), notando que esta raya, poco visible en los polos, era de más fácil observacion en la region ecuatorial y cerca de las manchas. (1)

Ademas de las rayas del hidrógeno, siempre se encuentra la amarilla D_3 , que primeramente fué confundida con la del sódio, pero que es mucho más refrangible. Haciendo uso de un poderoso espectróscopo de Merz, hemos hallado que, si tomamos por unidad la distancia existente entre D_1 y D_2 , la que hay entre esta última y D_3 está representada por 2,06. Esta D_3 no corresponde al hidrógeno, porque operando con

(1) Véanse las memorias de los espectroscopistas italianos. 1872, p.^a 9.

este gas á todas las presiones y temperaturas que han podido producirse, ha sido completamente imposible producirla; hay, pues, razon para creer que corresponde á otra sustancia. Esto no obstante, debemos apuntar dos particularidades importantes: 1.^a Siempre que se halla en una protuberancia el espectro del hidrógeno, aparece la raya D_3 ; esto parece indicar una relacion intima entre el metalóide y la raya; 2.^a En el espectro normal no hay raya ninguna que corresponda á la posicion D_3 . Este hecho es muy grave, porque parece inexplicable en la teoria de Kirchhoff. Huggins cree haber visto una ligera línea oscura en el lugar correspondiente, pero confiesa que el fenómeno no es constante, y que en lugar de la raya sombría, ha visto á veces una línea brillante. Nosotros tambien hemos observado más de una vez esta línea brillante, pero siempre nos ha parecido muy poco intensa. De todos modos, nunca que se ha visto la raya oscura, ha presentado una intensidad comparable con la que se observa en la raya brillante de las protuberancias, y esta observacion basta para establecer una diferencia en los fenómenos. Disponiendo la mira del espectróscopo tangencialmente al disco solar, hemos notado, en la base de la D_3 , una raya negra, semejante á la que se observa en igual punto de la C. Esta raya oscura parece formada por la absorcion que la cromoesfera ejerce sobre su propia luz, y ademas coincide con otra de las rayas que forma la atmósfera terrestre cuando el Sol está cerca del horizonte.

Segun D' Arrest, entre las longitudes de onda correspondientes á D_3 , C y F, existe la relacion $D_3 = \frac{1}{3}(2C + F)$. Creemos poder dudar de la exactitud de esta

relacion, porque el valor de la onda D_3 , segun D' Arrest, difiere del que nosotros hemos hallado; pero en el caso en que nosotros estuviésemos en un error, y la relacion anterior fuese exacta, se podria admitir que la D_3 era un fenómeno resultante de la accion de las otras dos. De este modo estaria desvanecida la objecion que contra la teoría de Kirchhoff se hace, fundándose en que la raya D_3 no se invierte en el espectro directo. Desde luego, este hecho puede explicarse de otro modo: basta suponer que la sustancia que la origina, es bastante ligera para elevarse sobre las demas, y lo bastante escasa para no formar una capa absorbente capaz de producir la inversion.

Por otra parte, las observaciones posteriores nos han convencido de que la raya D_3 corresponde á una sustancia especial. La altura de esta raya no guarda siempre relacion con las que presentan la C y la F; Donati, en el eclipse de 1870, vió que era más alta que estas últimas. En 1860 nos parecieron las protuberancias coronadas de amarillo, y bajo igual apariencia se presentaron á de la Rue. Ademas, con facilidad puede notarse en las observaciones espectrales, que estas rayas no tienen siempre la misma intensidad relativa; los haces de las erupciones dan las rayas F y C, desvanecidas é indecisas, mientras que la D_3 siempre se presenta perfectamente marcada, y al propio tiempo con mayor extension; parece, pues, que no es posible atribuirla al hidrógeno, puesto que ni en su desarrollo ni en sus fases guarda relacion constante con las C y F, que indudablemente corresponden á esta sustancia.

Hasta el presente nos ha revelado la química so-

bre el asunto; esperamos á que hable, y entretanto suponemos que la raya D_3 es debida á un cuerpo análogo al hidrógeno que designamos con el nombre de *hélío*. Parécenos que debiera examinarse el hidrógeno contenido en los poros del hierro meteórico para ver si daba esta raya; pero hasta hoy dia, los químicos que lo han hecho no han encontrado nada que se parezca á ésta, no obstante haber reconocido el gas de los cometas.

A más de la raya D_1 y de las del hidrógeno, el estudio de los eclipses habia dado á conocer las de otras sustancias, y era de interes buscarlas en las observaciones hechas en plena luz solar. Lockyer fué el primero que consiguió ver las rayas del magnésio, y nosotros mismos tuvimos el 20 de Mayo de 1869 la fortuna de encontrar, por vez primera, una protuberancia en extremo rica. Además de la raya D_3 y de las del hidrógeno α , β y γ , presentaba otras dos muy aparentes; una era la b del magnésio invertida, y otra brillaba entre las b_2 y b_3 , tambien del magnésio; pero no eran estas las únicas visibles, puesto que entre b y F se observaban otras dos, é igual número entre b y D_3 , si bien una de ellas, muy próxima á la D_3 , era en extremo débil. Nos ha sido imposible determinar con certeza las sustancias á que corresponden estas rayas, pero nos parece que la más brillante del último par pertenecía al hierro.

Una circunstancia hubo en esta observacion que nos pareció muy singular, y es, que sólo apareciese invertida una raya del magnésio, continuando oscuras las demas. Este hecho era de una naturaleza propia para preocuparnos, produciéndonos más de una

duda y dando lugar á más de una objecion de parte de los que consideraban errónea nuestra observacion; pero el tiempo y la experiencia esclarecieron la cuestion. Al fin pudimos hacer constar que las rayas intermedias correspondian al hierro, y que las del magnésio no se invierten todas á un tiempo. El 6 de Mayo del 74 tuvimos ocasion de confirmarnos en nuestras ideas, viendo realmente y con plena certeza las rayas del magnésio muy fuertes, muy anchas, y tan brillantes que se difundian de tal modo, que producian dos óvalos brillantes, que ocupaban el intervalo existente entre b_2 y b_3 .

Lockyer consiguió ver invertidas gran número de rayas, y sobre todas la del sódio, observacion que despues se ha hecho muy comun. En cierto dia pudo ver casi todo el espectro invertido. Tambien nosotros tuvimos el gusto, á nuestra vez, de ver este fenómeno el 6 de Marzo del 69, en el momento de verificarse una violenta erupcion. El espectróscopo estaba dirigido hácia la region del verde, en la que se veian varias rayas invertidas; de repente se extendió longitudinalmente en el espectro una banda brillante, y todas las rayas negras desaparecieron convirtiéndose en luminosas. Podria haberse dicho que un fragmento de la fotosfera habia sido lanzado sobre la mira del instrumento. Este espectáculo duró pocos minutos, y el espectro volvió á recobrar su aspecto ordinario.

Estudiando con asiduidad y paciencia las grandes erupciones, se ha llegado á conseguir ver gran número de rayas invertidas; de manera que, sin esperar la ocasion de un eclipse, ha sido posible comprobar la existencia de varios vapores metálicos en la atmósfera

solar, mediante la observacion de sus rayas directas; siendo estos metales el magnésio, el sódio, el bário, el hierro, el titano, el cromo, el cálcio, etc., precisamente aquellos cuyas rayas se ensanchan más en el espectro de las manchas.

Insertamos á continuacion una lista formada por Young, en la que constan todas las rayas cuya inversion se ha observado en la atmósfera solar. La primera columna contiene el número de órden; la segunda indica la posicion de la raya segun la escala de Kirchhoff; en la tercera consta la amplitud de la onda correspondiente, segun Angström; en la cuarta se expresa la frecuencia relativa de la inversion, esto es, que la raya marcada con 60 se observará invertida 60 veces en 100 observaciones. En la columna sesta se expresan los nombres de las sustancias quimicas correspondientes, y en la última los de los observadores que primero las han consignado, empleando iniciales para designarlos tales como (H) Herschel, (J) Janssen, (L) Lockyer, (Lor) Lorenzoni, (R) Rayet, etc.

*Catálogo de las rayas invertidas en el espectro solar
formado por YOUNG.*

Número de orden.	Número de Kirchhoff.	Longitud de la onda según Angström.	Frecuencia relativa.	Brillo relativo.	Elementos químicos.	Observador.
1...	354,5	7060?	60	3		
2...	654,5	6677?	8	4		L.
3...	C	6561,8	100	10	H	L., J.
4...	719,0	6495,7	2	2	Ba	
5...	734,0	6454,5	2	3		
6...	743?	6431	2	2		
7...	768?	6370	2	2		
8...	816,8	6260,3	1	1	Ti	
9...	820,0	6253,2	1	2	Fe	
10...	874,2	6140,5	6	8	Ba	L.
11...	D ₁	5894,8	10	10	Na	L.
12...	D ₂	5889,0	10	10	Na	L.
13...	1017,0	5871	100	75		L., J.
14...	1274,3	5534,0	6	8	Ba	R., L.
15...	1281,5	5526,0	1	1	Fe	
16...	1343,5	5454,5	1	2	Fe	
17...	1351,3	5445,9	1	2	Fe, Ti	
18...	1363,1	5433,0	1	1	Fe	
19...	1366,0	5430,0	2	3		
20...	1372,0	5424,5	3	4	Ba	L.
21...	1378,5?	5418,0?	1	2	Ti?	
22...	1382,5	5412	1	1		
23...	1391,2	5403,0	2	2	Fe, Ti	
24...	1397,8	5396,2	1	2	Fe	
25...	1421,5	5370,4	1	2	Fe	R.
26...	1431,3	5360,6	2	2		R?
27...	1454,7	5332,0	2	2	Ti	
28...	1462,9	5327,7	1	3	Fe	
29...	1463,4	5327,2	1	3	Fe	
30...	1465,0?	5321	2	2		
31...	Corona ☉	5315,9	75	15	Fe?	L.
	1474,1					
32...	1505,5	5283	5	4		
33...	1515,5	5275,0	7	5		L., R.
34...	E ₁	5269,5	1	3	Fe, Ca	
35...	E ₂	5268,5	1	2	Fe	

*Catálogo de las rayas invertidas en el espectro solar
formado por YOUNG.*

Número de órden.	Número de Kirchhoff.	Longitud se la onda segun Angström.	Frecuencia relativa.	Brillo relativo.	Elementos quimicos.	Observador.
36...	1528,0	5265,5	3	2	Fe, Co	L.
37...	1561,0	5239,0	1	1	Fe	
38...	1564,1	5236,2	1	1		
39...	1567,7	5233,5	2	2	Mn	R.
40...	1569,7	5232,0	1	2	Fe	
41...	1577,3	5226,0	1	2	Fe	
42...	1580,5?	5224,5	1	1	Ti?	
43...	1601,5	5207,3	2	3	Cr, Fe?	
44...	1604,4	5205,3	3	3	Cr	
45...	1606,5	5203,7	3	3	Cr, Fe?	
46...	1609,3	5201,6	1	2	Fe	
47...	1611,5	5199,5	1	1		
48...	1615,6	5197,0	3	2		L., R.
49...	b_1	5183,0	15	15	Mg	L.
50...	b_2	5172,0	15	15	Mg	L.
51...	b_3	5168,5	12	10	Ni	L.
52...	b_4	5166,5	10	10	Mg	L.
53...	1673,9	5153,2	1	1	Na	
54...	1678,0	5150,1	1	2	Fe	
55...	1778,5	5077,8	1	1	Fe	
56...	1866,8	5017,5	2	3		R.
57...	1870,3	5015?	2	2		R.
58...	1989,5	4933,4	8	5	Ba	L.
59...	2001,5	4923,2	5	3	Fe	R., L.
60...	2003,2	4921,3	1	1		
61...	2007,1	4918,1	3	3		L.
62...	2031,0	4899,3	6	4	Ba	L.
63...	2051,5	4882,5	2	2		L.
64...	F	4860,6	100	75	H	J., L.
65...	2358,5	4629,0	1	1	Ti	
66...	2419,3	4583,5	1	1		Lor.
67...	2435,5	4571,4	1	1	Ti	
68...	2444,0	4564,6	1	1		
69...	2446,0	4563,1	1	2	Ti	
70...	2457,8	4555,0	1	1	Ti	
71...	2461,2	4553,3	3	3	Ba	

*Catálogo de las rayas invertidas en el espectro solar
formado por YOUNG.*

Número de órden.	Número de Kirchhoff.	Longitud de la onda segun Angström.	Frecuencia relativa.	Brillo relativo.	Elementos químicos.	Observador.
72...	2467,7	4548,7	1	3	Ti	
73...	2486,8	4535,2	1	1	Ti, Ca?	
74...	2489,5	4533,2	1	1	Fe	
75...	2490,6	4531,7	1	1	Ti	
76...	2502,5	4524,2	2	2	Ba	
77...	2505,8	4522,1	1	2	Ti	
78...	2537,3	4500,4	1	3	Ti	
79...	2553?	4491,0?	1	1	Mn?	
80...	2555?	4489,5?	1	1	Mn?	
81...	2566,5	4480,4	1	2	Mg	L.
82...	2581,5?	4471,4	75	8	Bandes	
83...	2585,5	4468,6	1	1	Ti	
84...	2625,0	4443,0	1	1	Ti	
85...	2670,0	4414,6	1	1	Fe, Mn	
86...	2686,7	4404,3	1	2	Fe	
87...	2705,0	4393,5	3	2	Ti	
88...	2719?	4384,8	1	1	Ca?	
89...	2721,2	4382,7	1	2	Fe	
90...	2734?	4372?	1	1		
91...	2737?	4369,3?	1	1	Cr?	
92...	2775,8	4352,0	1	1	Fe, Cr	
93...	2796,0	4340,0	100	50	H	L., J.
94...	G	4307,0	1	2	Fe, Ti, Ca	
95...	2770,0	4300,0	1	1	Ti	
96...		4297,5	1	1	Ti, Ca	
97...		4289,0	1	2	Cr	
98...		4274,5	1	2	Cr	
99...		4260,0	1	1	Fe	
100...		4245,2	1	1	Fe	
101...		4226,5	1	1	Ca	
102...		4215,5	1	2	Fe, Ca	
103...	H	4101,2	100	20	H	R., L.

Para que la lista fuese completa, sería necesario, al presente, añadir el rutenio, que ha sido observado por Young. El titano por sí solo presenta más de veinte rayas invertidas. Lockyer nos asegura que ha encontrado también el potasio, el cerio y otros metales análogos al hierro, el plomo, el urano, el cadmio, el estroncio, y quizá el aluminio y el zinc. Es evidente, como ya hemos hecho notar, que puede esperarse ver invertido el espectro todo entero, ó al ménos en gran parte, sin que haya imposibilidad ninguna de que así suceda. Lockyer acaba de descubrir que en los espectros de los metales hay líneas *cortas* y líneas largas, siendo estas últimas las que se invierten en el espectro solar. Puede creerse que las líneas cortas son debidas á impurezas de los ejemplares. No se han encontrado los metales que forman los óxidos inestables, tales como el oro, el platino, la plata, el mercurio, etc., y sí de preferencia, aquellos cuyos óxidos son más estables. En la capa solar que produce la inversion, según todas las probabilidades, no debe haber cuerpos compuestos.

§ II. PORMENORES SOBRE LA INVERSION DE LAS RAYAS ESPECTRALES.

Hay dos modos de observar la inversion de las rayas en el espectro de las protuberancias: 1.º disponiendo la mira del espectróscopo perpendicularmente al limbo; de esta manera es difícil descubrir las rayas secundarias, porque tienen poca altura; sin em-

bargo, nosotros hemos conseguido verlas agrandando la imagen de la protuberancia por el método empleado en el caso de las manchas; 2.º disponiendo la mira tangencialmente al limbo; este método es más cómodo y más seguro; así creemos debe ser preferido y por lo mismo vamos á explicar aquí con alguna detención la manera de presentarse la inversion. Colocando la mira próxima al limbo solar, en la region en que existe una protuberancia, aparecen las rayas oscuras correspondientes á la atmósfera terrestre vivamente iluminadas por el Sol, más anchas que de ordinario, y como hinchadas: en medio de esta dilatacion, de esta especie de bulto oval, se verá formarse una línea brillante, extraordinariamente fina; este es precisamente el fenómeno de la inversion. Generalmente esta línea brillante es muy corta, porque la inversion no se verifica en toda la extension de la protuberancia, sino en los puntos correspondientes á los surtidores luminosos más vivos y más activos. Las rayas del sódio se invierten con frecuencia dilatándose de la manera que ya hemos dicho. El magnésio es la sustancia cuyas rayas se invierten con más frecuencia, y cuando ocurre, se presenta el fenómeno inverso al descrito por Cornu. Quemando magnésio este fisico en el arco voltáico, observó que las líneas luminosas se ensanchaban y dividian en dos, formándose entre ambas una raya oscura; en el espectro de las protuberancias el fenómeno se presenta invertido, como hemos dicho; cada línea brillante está flanqueada por dos líneas oscuras. Es muy raro que estas líneas desaparezcan por completo; sin embargo, nosotros lo hemos observado algunas veces, y en tales casos las líneas brillantes se

presentan empastadas y dilatadas, como masas luminosas, creciendo hasta el punto de casi tocarse unas á otras (§ I). Sabido es que el espectro producido por un metal incandescente puede invertirse por el vapor del mismo metal; y esto es lo que sucede cuando se quema en el arco voltáico sódio, tálio y algunos otros metales. Ya hemos descrito estos fenómenos, y en este lugar sólo tratamos de recordar el hecho.

El Sr. Tacchini, en la pura atmósfera de Palermo, vé casi constantemente invertido el espectro del magnesio, en una extension considerable del limbo solar; en Roma mismo hemos podido nosotros verlo tambien, en ciertos hermosos dias. Analizada la cromosfera en las diversas regiones del espectro, presenta el aspecto que puede verse en la lámina 23 de las Memorias de los espectroscopistas italianos, Julio de 1873 (1).

A una altura de 2800 metros, sobre el monte Sherman, ha podido Young comprobar las observaciones del Sr. Tacchini, y áun ha conseguido ver mayor número de rayas. Es, pues, evidente que si no vemos siempre invertido el espectro en todo el contorno del disco, consiste únicamente en la viva luz que ilumina la atmósfera celeste en la proximidad del globo solar. Teniendo esto en cuenta aconsejamos en 1870

(1) El diseño está hecho por el Sr. Tacchini, y presenta bajo una masa rectangular roja cuatro líneas de longitud creciente, más gruesas por el medio que por las puntas, rectas por un lado y por el otro irregularmente sinuosas, siendo sus colores respectivos, rojo, amarillo, verde y azul.—(N. del T).

se hiciese una expedición al Etna, donde el cielo es tan puro y el aire tan trasparente; quizá este punto fuese superior al monte Sherman para el establecimiento de una estacion, y quizá en él pudiera verse la inversion completa, como durante los eclipses (1).

Hay además otras rayas que se distinguen con ménos frecuencia, pero cuya observacion es muy importante, tal es, por ejemplo, la que nosotros llamamos B-C, situada á una distancia de C, igual á 0,45 de BC. Descubierta esta raya por el Sr. Respighi, corresponde, segun Young, á $654,5 k$, y es tan viva, que puede servir en algunos casos para el estudio de las protuberancias, siendo su presencia el mejor signo para apreciar las erupciones metálicas. Con frecuencia está acompañada de otra raya mucho ménos visible, situada próximamente á igual distancia de B y de α .

Tambien se observa con frecuencia la raya 1474 k, de que ya hemos hablado al tratar de los eclipses, y aunque generalmente está acompañada de gran número de rayas correspondientes al hierro, segun nuestras investigaciones no creemos que procede ella de este metal. Janssen asegura que esta raya se destaca mejor fuera de las protuberancias que dentro de ellas;

(1) Para que el lector pueda apreciar el grado de transparencia de la atmósfera en Palermo, basta decir que habiendo aplicado el prisma de vision directa al anteojo del observatorio palermitano, para formar el espectro sobre la mira del espectróscopo, bien pronto se fundió la sustancia que une los prismas, cosa que jamás habia ocurrido en Roma, empleando un anteojo de igual potencia.

tal es á lo ménos como se le presentó en el eclipse del 3 de Abril de 1875. El Sr. Lorenzoni vé habitualmente la $f=4544$ de Angström. Las demas estan indicadas en la lista anterior.

Para poder ver invertidas las rayas en el limbo solar, es necesario elegir el momento oportuno, aquel en que la atmósfera aparezca más pura y trasparente, porque con cielo brumoso ó blanquecino es absolutamente imposible la observacion; la luz difusa encubre completamente el fenómeno que se desea observar. Como es raro que las rayas invertidas se vean desde el primer momento, conviene mover el anteojo y ajustarlo en direccion varias veces seguidas hasta conseguir ver el fenómeno. Tal es la práctica seguida por el Sr. Tacchini. Tambien es necesario para esta observacion servirse de un anteojo excelente, capaz de dar una imágen distinta de objetos que no subtendan un ángulo mayor de un segundo; porque si no llenase esta última condicion, seria inútil para observar esta capa tan delgada y tan compleja, y no permitiria ver las rayas cuyo espesor corresponde sólo á una fraccion de segundo. Con razon, pues, dice Proctor, que para distinguir todos estos pormenores, es necesario servirse de un anteojo capaz de resolver estrellas dobles muy próximas, tales como γ de la Andromeda. Esto no obstante, debe evitarse una ampliacion demasiado poderosa y una dispersion sobrado grande, porque harian perder luz.

No todas las rayas invertidas alcanzan la misma altura, y si se exceptúan las del hidrógeno, las demas generalmente son muy bajas. Sin embargo, cuando sobre los surtidores de las erupciones se pre-

sentan nubes muy brillantes, puede verse, y áun nosotros hemos visto, alcanzar ciertas rayas metálicas una altura de 60 y hasta de 90 segundos; pero estos casos son raros. Los metales no aparecen generalmente más que en la base de las protuberancias, así es que podemos considerar la presencia de sus vapores á gran altura como un carácter mediante el cual se distinguen completamente las erupciones de las protuberancias ordinarias. Hasta el dia no hemos hallado más que hidrógeno en las regiones superiores á 90 segundos. El Sr. Tacchini fija en 40 por 100 el número de las protuberancias de espectro mixto; conteniendo los 90 restantes sólo hidrógeno y la sustancia que origina la raya D_3 . Pero es necesario distinguir en esta proporción los tiempos de calma y los de actividad; en los primeros las rayas metálicas se observan raras veces; tal es lo que se ha visto durante los años de 1874 y 1875.

No hay necesidad de observar protuberancias altas para ver las rayas metálicas; donde quiera que aparezca viva la cromoesfera y formada de llamas brillantes, por bajas que sean, allí se encontrará el espectro compuesto, (1) y el magnésio y el hierro se presentaran siempre en más cantidad que los demas metales. No es, pues, sólo en las erupciones donde se pueden ver invertidas ciertas rayas, sino tambien en gran parte del contorno solar, sin que en él haya ninguna verdadera protuberancia; esta observacion tie-

(1) Tacchini, Conferenza sulle forme delle protuberanze, etc. Palermo 1872.

ne gran valor, porque prueba que las protuberancias no son más que variaciones de nivel en una capa que envuelve por completo al Sol. Desde hace tiempo habíamos anunciado este hecho, que la observacion de los eclipses nos permitia considerar como cierto. La capa roja que se vé abrazar largos arcos en el limbo del Sol eclipsado, no es más que la cromoesfera.

Carnu ha probado, por experimentos concluyentes, que no todas las rayas se invierten á la misma temperatura; no debe, pues, causarnos extrañeza que la cromoesfera presente tan corto número de rayas brillantes, mientras que el espectro solar contiene tal multitud de rayas oscuras; el fenómeno es cuestion de temperatura, y se complica con la existencia de sustancias, cuya naturaleza puede no sernos conocida.

§ III. DE ALGUNAS PARTICULARIDADES DE LAS RAYAS ESPECTRALES.

Cuando se examinan al espectróscopo las protuberancias más brillantes, se notan ciertas particularidades que, á primera vista, parecen sin importancia, pero que sin embargo son de gran interes, á causa de las conclusiones á que pueden conducir. El lenguaje de la naturaleza está siempre lleno de finas insinuaciones, sobre todo, cuando nos habla por medio del espectróscopo, y es necesario estudiarlo con cuidado para no desatender ningun detalle, por insignificante que parezca, porque las particularidades menores pueden conducir á los más importantes resultados, como prón-

to tendremos ocasion de ver del modo más evidente. Los hechos de que se trata no han sido estudiados aún de una manera bastante completa para que podamos señalar los lazos que los unen. Vamos, pues, á exponerlos simplemente con toda la exactitud y claridad posible.

En estos trabajos se debe dar poca anchura á la mira, y debe poder variarse ésta para regular el aparato convenientemente; no ha de quedar, sin embargo, demasiado estrecha, porque disminuyendo inoportunamente la luz, se perjudicará fácilmente el resultado.

Suponiendo la mira perpendicular al limbo, de manera que muerda el disco, sin estar toda dentro de él, y observando, por ejemplo, la raya C, se verán el campo y la raya divididos en dos partes; presentáanse la línea observada, negra en el interior del disco, y brillante al exterior. Tal es el caso ordinario, y por decirlo así, normal; pero con frecuencia se presenta una particularidad, sobre la cual vamos á llamar la atención del lector: cuando se observa una protuberancia un poco viva, se vé frecuentemente que la parte brillante atraviesa la division de los campos distintamente iluminados, y entra, algunas veces hasta distancia considerable, dentro de la region del disco solar; en estos casos termina la raya en punta afilada por sus dos estremidades. (1) Este fenómeno se observa todo cerca de las manchas, prolongándose entonces la raya brillante hasta el núcleo, aunque esté alejado

(1) El mayor grueso corresponde á la línea de separacion de los campos. (N. del T.)

algunos segundos del limbo. La erupcion revelada por la raya se extiende, pues, por todo el espacio comprendido entre el borde de la mancha y el limbo; tantas veces hemos observado este fenómeno, que creemos inútil indicar las fechas de las observaciones.

En algunos casos, la raya luminosa aparece ensanchada en su base y termina en su parte superior en una punta tan fina, que donde cesa de ser visible, no hay medio de distinguir la raya oscura de la atmósfera terrestre, no viéndose más que una tinta uniforme sin señal de raya brillante ni oscura; el gas incandescente existe, pues, más allá de la parte visible de la raya brillante; pero su luz no es tan viva y su accion se equilibra con la de la luz de nuestra atmósfera. Actualmente no hay posibilidad de dudar de nuestra afirmacion, porque está confirmada por las observaciones hechas durante los eclipses; anteriormente habia sido puesta en duda.

Presenta en algunos casos la raya luminosa otra conformacion en un todo diferente á la descrita; aparece compuesta de dos partes de anchura distinta, situadas una á continuacion de la otra; la más gruesa inmediata al Sol, y despues, variando el grueso bruscamente, la más delgada, que generalmente es un filete muy fino y muy débil. Se ven, pues, en este caso dos regiones separadas por un limite perfectamente definido, reinando en cada una temperaturas bien distintas. Probablemente el fenómeno es debido á la presencia de dos surtidores superpuestos é independientes entre sí.

Tambien la raya D_3 ofrece fenómenos análogos, si bien no apareciendo oscura en el espectro solar, care-

ce del contraste que presentan otras, viéndose invertidas sobre la misma línea. Ya hemos dicho que su altura y su brillo no están siempre en relación con los de las otras rayas. (1) Como se proyecta sobre fondo claro, no es posible observar sus dilaciones tan perfectamente como las de la raya C. Sin embargo, es utilizable para el análisis de las protuberancias grandes, dando mayor abertura á la mira; porque entonces se ven brillar en este color las principales venas, muy vivas, y libres completamente de las nebulosidades que siempre las empañan cuando se emplea la raya C.

La raya F es de ordinario ménos elevada que la D_3 , y más dilatada por su base. Si se la examina atentamente, con un espectróscopo poderoso, aún en el espectro solar directo, se verá que en vez de aparecer perfectamente marcada, es algo confusa y tiene los bordes como esfumados. Esta raya tiene la misma apariencia en el espectro de Sirio y en el de las estrellas del mismo tipo; su dilatación es muy sensible; su parte superior termina en punta, mientras que la inferior entra en el disco solar. Parece en estos casos la parte brillante un hierro de lanza, cuya asta fuese la parte oscura.

(1) Estos hechos fueron puestos en duda, pero hoy están confirmados por las observaciones de Lockyer (Proceeding of the Royal Society Vn. XVIII p. 355.)

§ IV. CONCLUSIONES QUE RESULTAN
DE LAS PARTICULARIDADES SEÑALADAS EN EL PÁRRAFO
PRECEDENTE.

Los fenómenos de que acabamos de ocuparnos son interesantísimos, á causa de las consecuencias que podemos sacar de ellos, respecto á la temperatura del Sol, y á las presiones que actúan sobre su superficie. Comencemos por las presiones. Las dilataciones que presentan las rayas, indican que no son las presiones á que está sometida la cromoesfera, tan débiles como se habia supuesto; porque segun los trabajos de Plücker, de Wüllner y de Cailletet, las rayas del hidrógeno no empiezan á dilatarse y á aparecer esfumadas hasta la presion de 400 milímetros de mercurio, esto es, próximamente media atmósfera; por lo tanto, la presion en la superficie del Sol debe ser por lo ménos igual ó superior á este límite; pero si se tiene en cuenta la intensidad de la pesantez en la superficie solar, la masa capaz de ejercer esta presion sería bien poca cosa (1).

Cuando la mira está situada tangencialmente al limbo, tambien se observa que las rayas se dilatan é hinchan en los puntos en que atraviesan las protuberan-

(1) Siendo la atmósfera solar un conjunto de varios vapores, el límite señalado para la fuerza elástica del hidrógeno, está muy léjos de representar la presion total.—(N. del T).

cias. Ciertamente es que el calor sólo produce un efecto análogo: así, cuando la temperatura se eleva, las rayas se ensanchan sin que la presión crezca; pero en este caso los contornos de la raya permanecen perfectamente distintos, mientras que se esfuman y la raya se empasta cuando el gas crece á un tiempo en temperatura y densidad.

En el espectro solar, así como en el de las estrellas, las rayas más refrangibles son también las más difusas. El espectro de Sirio presenta muy dilatadas algunas rayas $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ y $H\delta$; fenómeno que también ofrece el espectro solar, aunque no de un modo tan sensible. La difusión corresponde generalmente á las partes más brillantes de las protuberancias, y cuando son muy numerosas, los ensanchamientos suceden á manera de cuentas de rosario. La parte más ancha no es siempre la correspondiente á la base, sino la que pertenece á la región más luminosa. Así suelen verse mayores dilataciones en las nubes que insisten sobre los surtidores filiformes, que en la base de estos mismos surtidores. Se ha tratado de explicar este fenómeno considerándolo como una simple apariencia, debida á la irradiación; pero estamos en el caso de responder á este dicho, manifestando que las observaciones nuestras han sido hechas con gran número de instrumentos, salidos de los talleres de los más hábiles constructores, y no es posible admitir que todos estos instrumentos tengan defectos de tal magnitud; por de contado que esta pretendida explicación no puede concordarse con las apariencias que presentan los espectros de los gases. Examinando tubos de Geissler, á temperaturas muy distintas, hemos obteni-

do de ordinario para el hidrógeno dos espectros muy diferentes. El primero, compuesto de cuatro rayas fundamentales, finas y perfectamente marcadas, acompañadas de otras muy finas y en gran número. Este es el descrito por Morren. Pero haciendo actuar sobre el carrete doce elementos grandes, y aumentando la tensión de la descarga por medio de un condensador, el efecto obtenido ha sido muy diferente: examinado el tubo á simple vista, presentaba un rojo más subido que en el caso precedente; pero observando con el espectróscopo, notamos que las rayas finas habian desaparecido, persistiendo las cuatro principales, muy bellas, muy brillantes, y mucho más anchas que de ordinario. Continuando el experimento por algun tiempo, vimos aparecer una raya amarilla, y por un momento creimos tener ante nuestros ojos la raya D_3 ; pero era la raya del sódio, procedente de la descomposicion del vidrio. Vemos, pues, que por medio de la elevacion de temperatura, simplemente, puede obtenerse un espectro formado de cuatro rayas principales, como el que ofrecen las protuberancias del Sol; pero la temperatura debe ser en extremo elevada. Hemos intentado calcular la temperatura del filete de hidrógeno así iluminado, y hemos obtenido una cifra que vacilamos al enunciarla: es cosa, por lo ménos, de medio millon de grados!

Queda, pues, que examinar, durante los eclipses, si los cúspides de las protuberancias dan el espectro de primer orden, del hidrógeno; y hay algun motivo para creerlo, porque las rayas son muy finas en esta region. Esta observacion no puede hacerse sino durante los eclipses, porque la iluminacion de nuestra at-

mósfera impediría ver las bandas secundarias, que son muy poco luminosas. (1)

Si conociésemos la presión á que están sometidos los gases en la cromoesfera, podríamos evidentemente, con ayuda del espectróscopo, determinar su temperatura; y recíprocamente, si conociésemos la temperatura, podríamos determinar la presión; pero en el estado actual de nuestros conocimientos nos es imposible separar estas dos incógnitas, y el problema queda indeterminado. Todo, sin embargo, nos conduce á creer que la temperatura debe ser muy elevada, y sobre todo ños parece imposible explicar bajo otro supuesto la pasmosa rapidez con que se elevan las enormes masas que constituyen las erupciones de que ya hemos hablado. Masas son estas, que despues de haberse separado del borde solar, continúan elevándose con una rapidez considerable, no obstante deber estar ya exentas, ó al ménos debiéndose suponer que lo están, de toda acción impulsiva que produzca el movimiento. Debe, pues, haber sido esta fuerza prodigiosa, lo que implica una gran cantidad de calor consumida y trasformada en fuerza viva.

Cuando un gas se vierte en el vacío, la velocidad de salida depende de la temperatura, y al parecer estas leyes deben aplicarse al movimiento de los gases

(1) Hecha esta observación en el momento de un eclipse, resolvería la cuestión de si los espectros de los gases son dobles ó simples, y si las bandas señaladas en el espectro del hidrógeno por Morren, son debidas al acetileno ó á las impurezas del gas.

incandescentes que componen las protuberancias solares. Rayet, partiendo de esta idea, ha calculado la velocidad que poseeria un gas difundándose libremente en el vacío desde la superficie del Sol. Hé aquí los resultados á que ha llegado: (1)

<u>Temperaturas.</u>	<u>Velocidades.</u>
	K
0°.	7
1000.	17
2000.	21
3000.	27

Rayet se ha detenido á los 3000 grados, límite bien bajo, segun es fácil notar, porque puede asegurarse con certeza que la temperatura de la superficie solar es mucho mayor. Suponiéndola solamente de 100.000 grados, se llegaria á una velocidad de 153 kilómetros por segundo, velocidad que ha sido realmente observada.

Al considerar estas enormes velocidades y esas curvas en forma de arcos, que se asemejan á las que vemos en las auroras boreales, hay motivo para dudar si estos cambios de forma de las protuberancias son verdaderos movimientos mecánicos, ó simples apariencias, debidas á cambios del estado físico. Y si tales cambios existen, ¿no estaran producidos por una acción eléctrica, ó por cualquier otra fuerza de igual

(1) La velocidad de salida varía tambien con la naturaleza del gas, en cantidad muy digna de tenerse en cuenta.

naturaleza? Se iluminan con tal rapidez las masas nebulosas, y tan prontamente se disipan, que se siente cierta inclinacion á creer más bien en trasformaciones momentáneas, que en trasportes reales.

Léjos estamos de negar la accion de las fuerzas eléctricas en el Sol. Aun suponiendo que los cambios de forma de las protuberancias procedan simplemente de expansiones gaseosas, es evidente que en ellos se desarrollará una considerable cantidad de electricidad. Pero esto no obstante, hay en el asunto ciertas dificultades graves, que conviene examinar con atencion.

¿Cuál es la naturaleza de la fuerza que llamamos *electricidad*? En otro tiempo se la consideraba como un fluido particular, capaz sólo de producir los fenómenos que llamamos *eléctricos*: podia entonces suponerse á este fluido animado de un movimiento muy rápido, y admitir que actuaba en la masa incandescente del Sol, segun las mismas leyes que seguia en la Tierra. Pero hoy los fisicos han adoptado otra manera de ver, y para ellos los fenómenos eléctricos son simples manifestaciones exteriores de modificaciones íntimas que los cuerpos experimentan en su estado termodinámico. (1) Siendo esto así, deben tambien manifestarse en el Sol estos fenómenos; pero en muy distinta escala y bajo aspectos muy diferentes. Es allí la temperatura ordinaria tan alta, que tiene á las moléculas de

(1) Esta proposicion reasume, á nuestro parecer, la naturaleza de los fenómenos eléctricos, con independencia de toda hipótesis sobre la naturaleza del agente, bien sea el éter ú otro fluido especial.

los gases en un estado comparable al que nosotros producimos artificialmente y de un modo pasajero con auxilio de las más poderosas fuerzas eléctricas de que podemos disponer. Si, pues, estas mismas fuerzas actúan sobre la materia incandescente que constituye el Sol, deben dar lugar á fenómenos que nos son del todo desconocidos. Todo cuanto pudiéramos decir sobre el asunto es pura fantasía, y sería engañarnos nosotros mismos al tratar de aplicar á la física solar las leyes de los fenómenos eléctricos que hemos estudiado en circunstancias tan diferentes. Añadamos á esto, que cuando se trata de fenómenos relativos á todo el globo terrestre, las cosas no son muy claras. Algunos físicos piensan que todo el globo está electrizado; otros opinan que no; é igual divergencia hay en otras cuestiones.

Se ha hecho notar con gran insistencia que las grandes erupciones solares coinciden de ordinario con las auroras boreales terrestres. Como estos últimos fenómenos son realmente eléctricos, se ha inducido que la electricidad debe actuar en el Sol, y reaccionar sobre la Tierra. No negaremos la coincidencia, porque bien á menudo se verifica, y aun haremos notar que mucho tiempo ántes de los últimos descubrimientos, y especialmente en 1861, señalamos la coincidencia entre las auroras boreales y la aparición de las manchas, ó lo que es decir, según al presente sabemos, la coincidencia con las erupciones y, por lo tanto, con las protuberancias. El P. Mancini, por encargo nuestro, había llegado á hacer una extensa discusión de los hechos, y había probado que las coincidencias son muchas; y el P. Ferrari, bajo nuestra dirección, ha con-

tinuado este trabajo con un éxito cada vez mayor. Estamos, pues, persuadidos que existe una relacion entre estas dos clases de fenómenos. ¿Pero cuál es? ¿Cómo puede influir la electricidad solar sobre el globo terrestre? Si el espacio que separa los dos astros está vacío de materia ponderable, la induccion electroestática es imposible, tan imposible como la comunicacion directa de la electricidad. La induccion dinámica podría verificarse á través de los espacios vacíos, tal como ocurre con la de los imanes; pero de esto nada sabemos. ¿Se propagaría esta accion por la componente de los movimientos longitudinales del éter, ó por las vibraciones trasversales que producen la luz, ó por los pequeños torbellinos que propagan el magnetismo? ¿Llegará el magnetismo solar hasta nosotros bajo la forma de radiacion luminosa, de suerte que la luz pueda llamarse un *movimiento magnético*? (1)

Preciso es confesar que la ciencia no está en estado de resolver estos problemas, y que el tiempo empleado en tratar de conseguirlo, actualmente sería tiempo perdido para nuestro asunto. Lo que hoy por hoy nos parece más probable, es: 1.º Que el Sol ejerce ciertamente una influencia, quizá indirecta, sobre el magnetismo terrestre. La actividad solar se desarrolla y exalta en ciertas épocas, y los planetas tie-

(1) Maxwell ha desarrollado ya una «Teoría magnética de la luz,» que no es otra cosa en el fondo más que la propagacion de la luz y del magnetismo por el mismo éter; pero aún queda por decidir si es un movimiento idéntico ó dos diferentes lo que constituye los dos fenómenos, luz y magnetismo.

nen precisamente que sufrir las influencias de estas variaciones; los rayos caloríficos llegan en más abundancia á nuestro globo, y deben producir una perturbacion en la meteorología terrestre; los fenómenos físicos que se realizan en nuestra atmósfera se encuentran modificados, y no es extraño que las auroras boreales aumenten en circunstancias tan excepcionales. Esta manera de ver parece corroborada por una notable coincidencia: en las regiones ecuatoriales, las borrascas, los ciclones y las lluvias ofrecen variaciones periódicas bien marcadas, como han hecho ver Meldrum y Poëy; ahora bien, este periodo coincide con el periodo decenal de las manchas solares. El señor Tacchini acaba de encontrar que el periodo de las nieves invernales de Palermo coincide con el minimo de las manchas! 2.º Que una accion directa, de orden magnético, parece indicada por el periodo undecenal de las manchas y de los fenómenos megnéticos terrestres, sin que hasta el presente se pueda señalar una variacion proporcional de temperatura terrestre ni solar. Esta accion magnética podrá trasmitirse á través del éter sólo, de un modo que todavía nos es desconocido.

Si se admite que los espacios interplanetarios están llenos de una materia ponderable muy ligera, análoga á la que es asiento de la luz zodiacal, la cuestion parece más fácil de resolver; pero entónces se presenta una gravísima dificultad, bajo el punto de vista de la mecánica celeste. ¿Cómo no modifica esta materia con su resistencia el movimiento de los astros?

Debemos, sin embargo, recordar algunos hechos

que parecen favorables á esta doctrina, porque al parecer anuncian la existencia de fuerzas capaces de trasportar el hidrógeno electrizado desde el Sol á la Tierra; nos referimos á la fuerza repulsiva, cuya existencia en la materia que constituye los cometas se admite generalmente, y á la accion diamagnética de los cuerpos imantados sobre el hidrógeno; pero estas fuerzas son tan poco conocidas, sus leyes son tan oscuras, su naturaleza tan dudosa, que no pueden servir de base para el establecimiento de una teoria formal. Quizá nadie está más propenso que nosotros á una especulacion de esta especie; pero por el momento creemos que es necesario esperar.

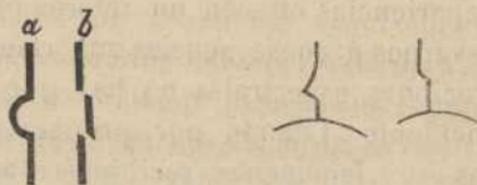
En cuanto á la cuestion que nos ocupa actualmente, esto es, saber si los movimientos de la materia incandescente que constituye las protuberancias son reales ó aparentes, quedará ámpliamente esclarecida, y aún nos atrevemos á añadir que resuelta, por los hechos que vamos á exponer en los párrafos siguientes. Despues de haberlos estudiado con madurez, no habrá duda alguna en afirmar, como nosotros lo hacemos, que las erupciones solares no son explicables por simples iluminaciones debidas á descargas eléctricas, y que son verdaderos movimientos mecánicos, trasportes de materia ponderable, hechos con tales velocidades, que no conocemos otras análogas hasta el presente.

§ V. DE LOS CAMBIOS DE REFRANGIBILIDAD OBSERVADOS
EN LAS RAYAS.

Observó Lockyer, examinando las erupciones solares, que en algunos casos parecía que las rayas espectrales se encorvaban y presentaban sinuosidades irregulares, como si la mira recta del colimador estuviese reemplazada por una abertura de forma extraña. Young, en Dartmouth, Estados-Unidos, hizo también análogas observaciones.

Este curioso fenómeno es extraordinariamente notable en algunas protuberancias que se proyectan fuera del disco solar, y nosotros hemos visto con frecuencia, observando masas vivamente incandescentes, tomar la raya C un aspecto sinuoso, y aún fragmentario, como se representa en la figura 39.

Fig. 39.



Lockyer ha visto movimientos é inflexiones bien extraordinarias al observar las protuberancias. Así, por ejemplo, ha visto á la raya F afectar la forma de una llama oscilante, en sus dos posiciones extremas;

la ha visto también dilatada y ondulada, con cambios de intensidad; dividida en secciones de mayor ancho que largo, bien unidas irregularmente, marcando aún en parte la dirección teórica de la raya, bien separándose por completo de esta dirección. Cuando se observan estos movimientos, dando á la mira una abertura considerable, aparecen las protuberancias brillantes con el aspecto de una masa viva muy inestable, difícil de comprender. Generalmente estas formas son muy fugaces: cuando se observa atentamente un surtidor lanzado vigorosamente, se nota en su constitución algo de confusión; las venas que lo constituyen parecen difusas y agitadas por sus contornos, ofreciendo el aspecto que presentarían si los rayos luminosos atravesasen una corriente de aire caliente. A primera vista se siente el observador inclinado á atribuir estos fenómenos á la agitación del aire atmosférico; pero pronto se conoce que no es admisible este supuesto, porque la agitación no existe en los demás puntos del disco solar, cuyos menores detalles pueden apreciarse; si se estrecha la mira, se vé que las rayas del hidrógeno están esfumadas por sus bordes.

Estas apariencias ofrecen un interés particular, y pueden llevarnos á consecuencias importantísimas; en las observaciones espectrales no hay que desatender ningún incidente. Cuando por primera vez fueron anunciados estos fenómenos, recibimos el anuncio nosotros, así como otros muchos, con la mayor desconfianza; y aún después de haber comprobado el hecho personalmente, estábamos poco dispuestos á concederle realidad, y más de una vez nos hemos preguntado si no éramos víctimas de una ilusión debida á de-

fectos del instrumento, á la agitacion del aire, ó á otra causa cualquiera.

Es indudable que ciertas apariencias, análogas á las que acabamos de describir, pueden ser debidas á ilusiones. Supongamos, por ejemplo, que se trata de simples inflexiones en las rayas espectrales; es evidente que pueden provenir de diferencias de brillo entre los diferentes puntos de una protuberancia. En efecto, teniendo la mira necesariamente una cierta anchura, pueden proyectarse una série de puntos brillantes que no esten rigurosamente en línea recta, y podrán verse á una y otra parte de la línea central puntos más ó ménos luminosos, lo que puede inducir á atribuir á la raya una sinuosidad de que carece realmente. Del mismo modo, basta que el prisma ó el ocular no esten bien enfocados, para que las rayas aparezcan dobles ó confusas. El aire caliente que está en contacto con la mira puede tambien, por las refracciones que produce, ocasionar una agitacion aparente de la imágen.

Todas las circunstancias que acabamos de enumerar pueden presentarse, y dar origen á deformaciones de las rayas; pero de aquí no debe inducirse que todas las deformaciones observadas dependen necesariamente de estas causas, ó de otras análogas. Así, cuando se vé una raya espectral completamente clara, las diversas partes del aparato estan ajustadas de una manera satisfactoria; y si de repente se vé á la imágen hacerse confusa, duplicarse, perder la limpieza en uno de sus contornos, ó separarse en una parte de su longitud, bien á la derecha, bien á la izquierda, no es posible atribuir el fenómeno á falta de enfoque, sobre todo si despues de haber durado la apariencia

algun tiempo, cesa bruscamente, como habia comenzado. Respecto á la agitacion del aire, puede existir y producir ciertas ilusiones, pero en tal caso debe extenderse su accion á todos los objetos visibles en el campo del instrumento. En consecuencia, cuando se presencia alguna de estas dilataciones ó deformaciones, debe inquirirse si las apariencias observadas pueden depender de alguna de las causas accidentales que hemos señalado; si se adquiere la conviccion de que ninguna de ellas es bastante á explicar lo que se observa, hay necesidad de buscar la causa de fenómenos tan singulares. Ahora bien, muchas y repetidas observaciones han producido en nosotros la conviccion de que, en muchos casos, las deformaciones existen sin que sea posible atribuir las á defectos de los instrumentos; se trata, pues, de fenómenos que tienen realidad objetiva, y no de simples apariencias producidas por juegos de luz. Estos fenómenos tienen una causa real, que debe radicar en el Sol, y de investigar esta causa tratamos actualmente.

§ VI. EXPLICACION DE LOS FENÓMENOS DESCRITOS EN EL PÁRRAFO ANTERIOR.

Todos estos fenómenos pueden reasumirse en una sola frase: *variacion en la refrangibilidad de los rayos luminosos*. Respecto á la explicacion teórica, parecenos que no puede admitirse más que una de estas dos bases: 1.^a La refrangibilidad de los rayos que producen una raya determinada, varia con la temperatura

del cuerpo radiante; 2.^a El movimiento del cuerpo luminoso puede influir sobre las propiedades y sobre el grado de refrangibilidad de la radiacion que emite. Pero como hasta el dia no se ha presentado ningun hecho, ninguna observacion, que nos autorice á admitir la posibilidad de las variaciones debidas á la temperatura, es preciso buscar en la segunda de las causas enunciadas la explicacion del fenómeno. Para que el lector se penetre bien del fundamento de esta explicacion, vamos á dar á conocer en pocas palabras los trabajos de los físicos sobre el asunto.

Doppler hizo notar en 1842 y Fizeau confirmó experimentalmente en 1848, que el movimiento impreso á un cuerpo sonoro altera la tonalidad del sonido producido: segun que el cuerpo sonoro se acerca ó aleja del observador, el sonido es más agudo ó más grave. Mediante experimentos ingeniosos, se han hecho constar estas variaciones, que por lo demás cualquiera puede comprobar mediante una observacion bien sencilla: cuando van á cruzarse dos trenes de ferro-carril en un apartadero, el silbato de una máquina se aproxima á los viajeros del otro tren hasta el momento del cruce, y despues se aleja; el sonido debe parecer más agudo en la primera parte de la observacion y más grave en la segunda; esto es precisamente lo que sucede. Por lo demas, hé aqui otro experimento fácil de repetir: se preparan dos diapasones, completamente concordantes, de tal modo que cuando el uno vibre, haga vibrar por simpatia al otro; ahora bien, si puesto en movimiento uno de los diapasones se le hace vibrar, el otro parecerá mudo, y si se quiere que responda por simpatia, será necesario modifi-

carlo hasta que sea capaz de dar un número de vibraciones dependiente de la velocidad de traslación impresa al otro instrumento.

Estos fenómenos son de fácil comprensión, recordando la naturaleza del sonido y las circunstancias que determinan la tonalidad. El sonido se trasmite á nuestro oído por las vibraciones del aire, y es tanto más agudo cuantas más impresiones recibe en igual tiempo nuestro órgano, ó lo que es lo mismo, es más agudo mientras más corta es la onda sonora. Supongamos, pues, que el cuerpo sonoro se aproxima al observador: las vibraciones van produciéndose en puntos más y más cercanos, y llegarán al oído con más frecuencia que si el cuerpo sonoro estuviese en reposo; el observador recibirá más ondas en igualdad de tiempo, y el sonido le parecerá más agudo. Lo contrario ocurrirá si se aleja el cuerpo sonoro: cada onda llegará con un pequeño retraso, y en total el oído recibirá ménos impresiones en igual tiempo; el sonido resultará más grave. (1) Probable es que el timbre tambien

(1) Puede expresarse esta teoría de otra manera. La onda no es más que el espacio recorrido por el movimiento vibratorio en el medio elástico durante una vibracion del cuerpo sonoro: así, la onda resultará alargada ó acortada de toda la cantidad que el cuerpo recorra durante una vibracion, segun el sentido de la marcha del mismo. Debemos, sin embargo, hacer constar que Hr. Van der Willigen ha emitido dudas respecto á esta teoría, aplicada á la luz, cuyas vibracionesson trasversales; pero los fisicos no parecen haberse convencido por sus objeciones.

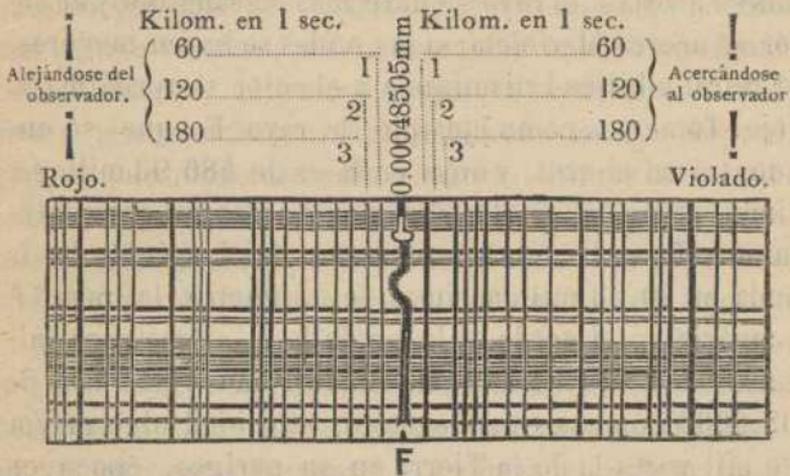
se modifique. Para nuestro objeto basta con la variación de tonalidad que acabamos de exponer, y veamos ahora cómo puede aplicarse á la luz lo que hemos dicho del sonido.

La longitud de la onda luminosa determina el color del rayo y su grado de refrangibilidad. Si las ondas se acortan, el rayo se hace más refrangible y el color se acerca al violeta; si las ondas se hacen mayores, la refrangibilidad disminuye y el color se aproxima al rojo. Tomemos como ejemplo la raya *F*, que se encuentra en el azul, y cuya onda es de 486,93 millonésimas de milímetro (1); si el movimiento del cuerpo luminoso fuese bastante á aumentar la longitud de la onda en 40,63 millonésimas de milímetro, la raya *F* ocuparía en el verde el lugar de la *E*. Pero para alcanzar este resultado, sería precisa una velocidad de 32,000 kilómetros por segundo, velocidad algo mayor de mil veces la de la Tierra en su perigeo, época en que alcanza próximamente 30 kilómetros por segundo. Pero no es necesario que las desviaciones del rayo luminoso sean tan considerables para que se puedan hacer constar, y nuestros espectróscopos pueden apreciar cantidades mil veces menores. Así, la distancia entre *D'* y *D''* del sódio, corresponde á una diferencia de 0,4 de millonésima de milímetro; ahora bien, con un buen espectróscopo se puede medir fácilmente una distancia diez veces menor, y con ma-

(1) Entre el valor citado y el que asigna la tabla de Young, teniendo en cuenta la diferencia de unidad, hay alguna diferencia, pero esto no altera en nada el razonamiento del autor.—(N. del T).

damente las inflexiones sobre una recta. Para producir la traslación de D_1 á D_2 se necesitaría una velocidad de 304 kilómetros; vemos, pues, que el espectróscopo permite apreciar movimientos cuya velocidad alcanza 30 kilómetros.

Fig. 40.



Examinando la fig. 40, que tomamos de Schellen, es posible ver aproximadamente las posiciones que tomaría la raya F por efecto de velocidades de 60, 120 y 180 kilómetros viniendo á ponerse sucesivamente en la prolongación de las líneas de puntos señaladas con los números 1 2 y 3 (1).

Comprendidos bien estos principios, fácil es explicar las variaciones de refrangibilidad que presentan

(1) Las rayas á lo largo del espectro, en este dibujo como en otros muchos de la misma clase, no son otra cosa que efecto de los granos de polvo que hay frecuentemente en los bordes de la mira. Estas líneas fortuitas sirven en algunos casos para facilitar ciertas mensuras. —(N. del T.)

por razon será apreciable, si basta estimar aproximadamente las rayas espectrales de las protuberancias. Los gases, puestas en movimiento por las erupciones solares, pueden ser lanzados en todas direcciones: si un surtidor de materia luminosa fuese lanzado hácia el observador, los rayos luminosos procedentes del surtidor que llegasen hasta nosotros, tendrian sus ondas acortadas, su refrangibilidad aumentada y en el espectróscopo se desviarían hácia el violado; cuando la desviacion se observase en sentido del rojo, la materia habria sido lanzada en sentido contrario al caso anterior, y en ambos casos podrá esta desviacion aparente servir para valuar la velocidad del movimiento de traslacion. Así, una desviacion igual á la que separa las rayas D' y D'' corresponde á una velocidad de 504 kilómetros. Es raro que las desviaciones producidas en el espectróscopo sean tan considerables, y áun en tal caso es difícil medirla, porque los fenómenos son muy fugaces, y como se producen instantáneamente, sin que nada haga preverlos, nunca se está prevenido, se observa mal y no se aprovechan los pocos instantes que son visibles; así no se puede obtener buen éxito más que cuando el observador está muy acostumbrado á esta clase de trábajos, y tiene á su disposicion un instrumento muy poderoso.

Cuando una masa considerable está puesta en movimiento, sus diversas partes tienen velocidades distintas, de lo que resultan, en el espectróscopo, deformaciones irregulares, que producen ensanchamiento y difusion de las rayas; determinando el máximo de estas dilataciones, se podrá calcular la velocidad de traslacion correspondiente. No creemos haber obser-

vado jamás una desviación igual á la que separa á D' de D'' , pero no por eso podemos afirmar que sea imposible observarla. Las mayores desviaciones que hemos visto y medido corresponden de 30 á 90 kilómetros (1); basta esto para darnos la certeza de que los movimientos en las protuberancias son verdaderos movimientos mecánicos, no simples apariencias, según manifestamos al finalizar el § IV.

La variación de refrangibilidad, que es un fenómeno de los más importantes, puede llegar á ser un medio de investigación delicadísimo. Así hemos podido nosotros determinar la velocidad de rotación del Sol, observando al espectróscopo las dos extremidades del diámetro ecuatorial, y midiendo la pequeña desviación de la raya C con relación á las rayas atmosféricas que la rodean. Zöllner y Vogel han comprobado nuestras conclusiones sirviéndose de un aparato especial, el espectróscopo de reversion. Da este nombre H. Zöllner á un espectróscopo compuesto de dos prismas de visión directa, dispuestos en sentido contrario el uno al otro, lo que permite conocer y apreciar las más ligeras diferencias de posición de las rayas que componen los dos espectros. De este modo ha podido cerciorarse de que ciertas rayas muy finas ocupan po-

(1) Estos hechos no contradicen en manera alguna las observaciones de Lockyer, Young, Respighi, Tacchini y el autor, consignadas en el Capítulo III, § IV. El espectróscopo no puede apreciar más del movimiento que la componente, según el rayo visual, y esta, en la mayor parte de los casos, sobre todo en las protuberancias altas, debe ser mucho menor que el movimiento normal.—(N. del T).

siciones sensiblemente distintas, según que se observe el limbo oriental ó el limbo occidental del Sol. Hace tiempo que nosotros habíamos empleado un sistema de dos prismas opuestos entre sí, para el estudio de las estrellas, y ya tendremos ocasion de hablar de él. En lugar del segundo prisma de vision directa¹ acoplado al primero, emplea H. Zöllner actualmente un simple prisma en ángulo recto, colocado delante del ocular, próximamente como una cámara clara; de este modo una parte del espectro se invierte de posición por efecto de la reflexion total sobre la hipotenusa del prisma, y puede compararse con la parte que ha sido trasmitida directamente.

Volvamos aún por un momento sobre las velocidades con que son lanzados los gases que constituyen las protuberancias. Si es verdad, como todo nos induce á creerlo, que estos fenómenos son verdaderos movimientos mecánicos, es evidente que masas tan considerables, animadas de tales velocidades, deben obedecer é fuerzas muy grandes, y que estas fuerzas no pueden ser más que presiones. Es, sin embargo, imposible admitir la existencia de tales presiones en la region solar accesible á nuestros instrumentos. Una presion de 45 atmósferas basta para que el espectro del hidrógeno se haga continuo; á una presion mucho menor, á 400 milímetros de mercurio, poco más de media atmósfera, ya comienza á difundirse. Esto no obstante, para lanzar tales masas con tan gran velocidad, á pesar de la gravitacion solar, deben ser las fuerzas mucho mayores de lo que representan tales presiones; estas fuerzas deben provenir de la masa interior del globo y de

las reacciones químicas que se realicen tumultuosamente en su seno. Nos parece, pues, natural y legítimo inferir de esto que las erupciones no pueden ser consideradas, cual hace Faye, como unas pequeñas agitaciones de la cromoesfera; nosotros, por el contrario, las creemos pruebas ciertas de crisis y violentos trastornos en la masa interior del globo solar.

Se ha supuesto que las masas gaseosas de las protuberancias son lanzadas por orificios practicados en la capa, sólida según unos, líquida según otros, que termina al Sol. Ya hemos dado á conocer gran número de razones que nos impiden admitir la existencia de una capa sólida ó líquida, al ménos cerca de la superficie. Por el momento bástenos hacer constar que esta hipótesis es completamente inútil para la explicación de los fenómenos que nos ocupan. Bien pueden verificarse explosiones en el seno de una masa gaseosa, y estas explosiones producir expansiones súbitas y violentas; basta para que así suceda que dos gases se encuentren y combinen, que es precisamente lo que ocurriría en la Tierra, si dos masas considerables de cloro é hidrógeno vinieran á mezclarse en presencia de la luz solar. Y no se objete que la forma filamentososa de las protuberancias supone una erupción á través de un orificio capaz de dar tal aspecto á la masa incandescente, porque con frecuencia hemos visto con la misma estructura masas aisladas y suspensas en la atmósfera solar; y también frecuentemente hemos observado como las nubes se trasforman en venas flúidas, análogas á las venas y surtidores que forman las protuberancias, y sin embargo, en tales nubes no es de admitir la existencia de orificios que

hagan tomar la estructura filiforme á la materia luminosa.

Recordando la constitucion de los gases, es fácil darse cuenta de estas explosiones. Cuando los flúidos elásticos están sometidos á grandes presiones, como las que deben existir á gran profundidad bajo la superficie del Sol, pueden pasar á este estado intermedio entre el gaseoso y el liquido, de que nos hablan Cagniard-Latour y Andrews. Ahora bien, ese estado es muy inestable, y en él basta una ligera variacion en la presion para producir unas explosiones de que no tenemos idea. Nada más verosimil que la produccion de esas violentas acciones en un cuerpo como el Sol, formado por enormes masas de sustancias heterogéneas, elevadas á altísimas temperaturas. Convengamos, pues, en la inutilidad de recurrir á orificios abiertos en capas sólidas ó líquidas.

CAPÍTULO V.

Distribucion de las protuberancias.

§ I. HISTORIA.

La observacion de los eclipses totales habia dado á conocer la existencia de las protuberancias, pero si hubiese sido preciso esperar, para estudiarlas, á la repeticion de estos fenómenos excepcionales, habria sido ménos que imposible reconocer su distribucion en

la superficie del astro, y su relacion con los demas hechos de la fisica solar. Ya Schweizer, en 1851, habia sospechado que existia alguna relacion entre ellas y las fáculas (1); pero ¿cómo se hubiera llegado á demostrar esta relacion? El espectróscopo ha permitido observar asiduamente las protuberancias, y permite verlas siempre que el estado del cielo deja ver al Sol durante algunos instantes; así se ha hecho fácil estudiarlas, tanto en su distribucion, cuanto en las relaciones que puedan tener con las fáculas y con las manchas.

Poco tiempo despues del descubrimiento de Jansen hicimos notar que las protuberancias son más numerosas, más elevadas y más brillantes en la region de las manchas, alrededor de las cuales forman frecuentemente prominencias, así como una especie de rodete, precisamente en la region donde sabemos que hay siempre fáculas (2)

Fué puesta en duda la realidad de estas coincidencias, pero nosotros las habiamos observado bastantes veces desde aquella fecha, y ántes que se introdujese el uso de la mira dilatada, aunque el procedimiento era muy penoso. Poco tiempo despues, Hr. Zöllner hizo notar la facilidad con que podian observarse las erupciones manteniendo la mira ensanchada. Los primeros ensayos que hicimos en esta nueva via fueron poco satisfactorios: la gran magnitud de las imágenes

(1) Véase Astr. Nachr. números 489, 1275 y 1348.

(2) Véanse. *Bullettino meteorológico del Osservatorio del Collegio Romano*, nov. 1868, p. 90, y *Memoria II. sullo spettro solare, Soc. Italiana* t. 1 3.^a série.

en nuestro refractor, hacia que nuestro ojo poco experto aún las desconociese. En Octubre del 69 Hr. Zöllner mostró en Viena su manera de proceder, y nosotros recibimos datos preciosos de los astrónomos alemanes que vinieron á reunirse en Florencia para la medicion del meridiano central europeo. Habiendo reconocido así la causa de nuestro fracaso, invitamos al Sr. Respighi, que tenia á su disposicion un antejo más pequeño, á ocuparse á su vez del asunto. Este astrónomo consiguió hacer una série de observaciones del limbo solar, llenas de gran interés. Por nuestra parte, pronto vencimos las dificultades que nos habian detenido en un principio, y pudimos, desde el mes de Diciembre siguiente, examinar las protuberancias con la mira ensanchada, reconociendo las numerosas ventajas que tiene una imágen de grandes dimensiones sobre otra más pequeña.

El Sr. Respighi, por los resultados que obtuvo, confirmó nuestras conclusiones, y mediante un estudio asiduo y rápido, aunque superficial por falta de tiempo, llegó á formular algunas proposiciones muy interesantes, pero que exigian una discusion más completa.

Hay ciertas verdades que se entreven fácilmente al abordar los fenómenos nuevos de la naturaleza; la dificultad está en presentarlos bajo una forma capaz de convencer á los demas. En la cuestion que nos ocupa en este momento, era necesario poner en evidencia las relaciones que existen entre las protuberancias, los diferentes elementos de la rotacion solar, y la posicion de las manchas de las fáculas; y era necesario, pues, observar con cuidado y simultáneamente las manchas y las fáculas; que hasta entónces no habian

sido estudiadas más que de paso, á la ligera, é independientemente unas de otras. Tal fué el fin que nos propusimos al emprender poco despues una série de observaciones tan sostenidas como ha sido posible, y dirigidas de modo que se pudieran coordinar y discutir fácilmente los resultados. No fué nuestro trabajo infructuoso, porque al cabo de algunos meses nos hallábamos en posesion de copiosos materiales, cuya discusion nos conducia á conclusiones nuevas, tan evidentes é interesantes que nos animaron á proseguir nuestro trabajoso empeño; y lo hemos seguido con perseverancia desde el 23 de Abril de 1871 hasta el dia de hoy (30 de Enero de 1876), sin dejar pasar una ocasion en que el cielo estuviese lo bastante puro para permitir una observacion útil.

Despues de las primeras publicaciones de nuestros resultados, el Sr. Respighi volvió sobre sus observaciones anteriores y las discutió, segun el método que habiamos adoptado, pudiendo de esta manera hacer remontarse á vários meses más atrás la historia de los fenómenos solares. Pronto veremos la importancia de esta adiccion. Desde esta época tomó gran impulso el estudio de los fenómenos: se fundó la Sociedad de los espectrosopistas italianos, cuyo fin era no dejar pasar un dia sin examinar el limbo solar, en cuanto fuera posible. Tacchini, Spörer, Bredichin y otros entraron tambien en esta via; se fundaron observatorios dedicados al estudio del Sol, como los de Potsdam, en Prusia; Oxford, en Inglaterra; Calcuta, en la India; y los colosales instrumentos de Young, Winlock y Langley, fueron empleados en América.

Si este arranque no se detiene, pronto se tendrá

para la discusion de las leyes de las protuberancias, un material tan abundante como el que poseemos para las manchas.

Vamos á exponer en este capítulo los métodos de observacion y los resultados obtenidos.

§ II. MÉTODO DE OBSERVACION.

Se ensancha la mira del colimador, y se observan las protuberancias determinando su forma y el ángulo de posicion, segun los procedimientos que anteriormente hemos indicado. Para registrar sus posiciones, gráficamente, pueden emplearse dos métodos distintos. Se puede referirlas á una linea recta dividida en 360 partes, que representan la circunferencia, lo que tiene la ventaja de poder reunir sobre la misma hoja de papel las observaciones de vários dias consecutivos, y permite apreciar de una ojeada la duracion de las cadenas de protuberancias que se suceden de un dia á otro en longitud; esta es la razon que ha determinado al Sr. Respighi y á la Sociedad espectroscopista á adoptar en sus publicaciones esta económica disposicion; pero haciéndolo así, se pierde la ventaja de poder examinar de un golpe las relaciones que pueden existir entre las protuberancias y los demás fenómenos observados al mismo tiempo sobre el disco. A fin de poder realizar esto último, hemos adoptado otro método, que consiste en señalar las protuberancias sobre la circunferencia de un círculo, del mismo círculo en que diariamente dibujamos las manchas y las fáculas.

Mediante esta disposicion, hemos podido reconocer inmediatamente las relaciones que existen entre estos diferentes fenómenos.

Hé aquí el procedimiento que seguimos en el trabajo. Todos los días en que el estado de la atmósfera permite hacer observaciones, comenzamos trazando la figura del disco solar sobre una proyeccion de 244 milímetros de diámetro, empleando nuestro ecuatorial de cauchoix, que sigue al Sol, movido por una máquina de relojería. Cuando está ya trazada la imágen del disco, señalamos todas las manchas y áun los contornos de las fáculas, que se perciben bien, gracias á la oscuridad que reina bajo el domo, donde el operador no tiene otra luz que la de la proyeccion solar, estando interceptada la del dia por una cortina negra. Y no solamente podemos marcar las fáculas, sino tambien dibujar las granulaciones que existen en diversas partes del disco, y más particularmente en ciertas épocas sobre los casquetes polares. Gracias al movimiento automático de la ecuatorial, la observacion es fácil y muy exacta, sin que exija gran molestia.

Terminada esta primera operacion, se marca sobre la hoja de papel la direccion del movimiento diurno de la esfera celeste; para esto, se hace girar el antejo al rededor del eje del aparato, de manera que pase sobre el dibujo la imágen de una mancha bien perceptible; permaneciendo inmóvil el instrumento, se señalan los puntos en que esta mancha encuentra durante su paso á la circunferencia, pudiéndose hacer siempre que pase cerca del centro. La cuerda determinada de este modo debe considerarse como paralela al ecuador celeste; porque evidentemente puede des-

preciarse la variación que sufre la declinación del Sol durante el paso, movimiento que es poco sensible en tan corto tiempo, y que no puede introducir ningún error apreciable en un procedimiento gráfico que no exige una exactitud absoluta. Se traza un diámetro paralelo á la cuerda y despues se coloca sobre la figura un círculo metálico graduado con toda exactitud, cuyos grados esten marcados en el mismo orden que los del círculo de posición que lleva el espectróscopo; con ayuda de este trasportador se reproducen sobre la figura las protuberancias á medida que se las observa. Los números inscritos sobre el trasportador no se reproducen sobre la figura, solo se marca el cero; porque vale más conservar la libertad de inscribir otros números tomando otro sistema de coordenadas, como, por ejemplo, el de las latitudes heliográficas: pronto veremos como puede haber en esto algunas ventajas.

En seguida se recorre cuidadosamente todo el limbo, marcando todas las protuberancias; cuando se encuentra una, se pone la mira tangente al punto de la circunferencia solar á que corresponde, cosa que puede hacerse con error de ménos de un grado; se transporta la posición á la figura, y se dibuja con toda la exactitud posible. Se valúan las dimensiones, en altura, por la magnitud de la imágen que el buscador de la ecuatorial proyecta sobre el carton (Capítulo I, § I); en casos de mucho interés, se las mide con el micrómetro de lámina de vidrio (Capítulo I, § V). La base se valúa por el arco comprendido entre las dos extremidades. Segun las dimensiones de nuestros dibujos, una altura de 1 milímetro corresponde á $7''9$, ó sea, á 8

segundos próximamente; y un grado en la base, á 16 segundos. Los detalles dignos de ser notados se dibujan aparte en mayor escala.

Quando se ha dado la vuelta al disco solar de este modo, se vuelve sobre los puntos más importantes para observarlos de nuevo; la atención debe fijarse principalmente sobre el borde oriental, á fin de ver si durante el trabajo se ha producido algun nuevo fenómeno digno de atención. La duración de esta observación depende del número y la complicación de las protuberancias; pero, por término general, puede decirse que es de una hora. La fig. 36 (1) es la reproducción del dibujo ejecutado el 23 de Julio de 1873, entre 8,30 y 9,55.

Terminadas estas operaciones, se traza sobre la figura el eje de la elipse según la cual se proyecta el ecuador solar, calculando su posición con auxilio de la tabla que hemos dado en el tomo primero, página 42, y una recta perpendicular á la anterior dará la dirección del meridiano que pasa por los polos del Sol. La fig. 36 es una reducción obtenida mediante la fotografía, así es que se parece extraordinariamente al original. Este dibujo dá una idea exacta del conjunto de los fenómenos y de sus dimensiones con relación al globo solar. Vamos á dar á continuación una descripción sucinta de la figura precedente, comenzando por el polo Norte. La recta *ab* indica la dirección del movimiento diurno de la esfera celeste.

N.º 1. Protuberancia doble, de estructura filiforme,

(1) Véase pag. 41.

inclinada hácia el ecuador. Las venas se distinguen muy bien en la base, pero en el cùspide una ligera nube une las dos masas y hace ménos distinta la estructura interior. La intensidad luminosa es pequeña.

N.º 2. Protuberancia compuesta de filamentos dirigidos en sentido contrario á los precedentes. Las protuberancias 1 y 2 tienen los cùspides conectados por algunas bandas poco luminosas. Despues, hay un arco de la cromoesfera cubierto de pelos, dirigidos hácia el ecuador en la primera parte, y hácia el polo en la segunda.

N.º 3. Protuberancia gigantesca, en cuya base se distinguen claramente algunos surtidores fibrosos, que llegados á cierta altura se cruzan en todos sentidos, difundiéndose en los extremos superiores y formando una verdadera nube. La altura es de 2'40". La luz no es demasiado viva, salvo en la base del surtidor principal. Esta masa tardó en pasar por el limbo vários dias. Comenzó á verse el 22, y no desapareció hasta el 27. A partir del dia 24 se unió á la protuberancia número 5 por arcos de estructura filiforme. El 27 habia disminuido considerablemente de altura cuando se percibió una mancha que venia detrás. El dia 24 alcanzó la altura máxima, teniendo entónces 3'10", próximamente diez veces el diámetro de la Tierra. Su forma variaba de un dia á otro de una manera pasmosa. Ocupaba en longitud una extension de 65 grados, y su mayor tamaño en latitud fué de 60 grados. El 13 de Julio se observó, hácia el Suroeste, una masa semejante, más alta y de estructura más complicada. La forma general de esta protuberancia se prestaba á ser comparada con un árbol; pero examinándola atenta-

mente, se pudo asegurar que no habia en ella verdaderas ramificaciones: los surtidores no se subdividian como las ramas de los árboles; sólo habia la apariencia de esto, producida por los surtidores luminosos que se superponian y cruzaban, proyectándose parcialmente los unos sobre los otros.

N.º 4. Llama inclinada hácia el polo Norte; esta es la direccion general de todos los filamentos luminosos en esta region.

N.º 5. Masa de llamas semejantes á la precedente; la principal se dirige al Norte; hay un surtidor secundario dirigido en sentido opuesto. Entre estas dos protuberancias se distingue una nube aislada, compuesta de filamentos cuya direccion es contraria á la de las protuberancias. Estos filamentos se desprenden de una masa más viva, que forma como un centro de radiacion, del cual se escapa una multitud de filamentos incandescentes.

N.º 6. Llaminas dirigidas en todas direcciones, rodeadas de la cromoesfera recubierta de surtidores en gran número.

N.º 7. Nube completamente aislada, de estructura filiforme, teniendo una altura de 80 segundos próximamente. En su base se distingue un pequeño montículo, compuesto de filamentos paralelos al borde.

N.º 8. Cerca del polo Sur, protuberancia compuesta de hilos completamente separados los unos de los otros, y casi perpendiculares al borde del disco. Luz muy débil. Del n.º 8 al n.º 9 la cromoesfera es muy poco elevada.

N.º 9. Protuberancia también filiforme, muy baja; los filamentos estan inclinados, y terminan en

una pequeña nube filamentosa que está sobre una masa cumuliforme. Estas dos masas, á causa de su proximidad al polo, permanecieron varios días en el mismo lugar.

N.º 10. Llamas inclinadas, muy bellas, de estructura filiforme, compuestas en la base de tres surtidores bien distintos, que se confunden en el cúspide.

N.º 11. Grupo compuesto de tres llamas; la del medio es cumuliforme; las otras dos de direcciones opuestas entre sí, tienden á cubrir la central.

N.º 12. Mancha que se acerca al limbo. Surtidores en gran número, poco elevados, pero muy vivos; dos de ellos encorvados é inclinados hácia el Sur, siguiendo la dirección más frecuente en esta region.

N.º 13. Masa muy viva de donde sale una ráfaga más brillante, que pasa evidentemente delante de las llamas ménos elevadas (9^h y 10^m). La base de esta masa se inclina hácia el Ecuador, su cúspide en dirección opuesta, como si estuviese doblegado por la acción de una enérgica corriente. La raya C estaba sensiblemente difundida, por efecto sin duda de la variación de refrangibilidad. La raya del sódio aparecía invertida; no se examinaron las demás rayas. A las 5 no quedaban más que algunos surtidores luminosos, poco extensos y casi insignificantes.

N.º 14. Dos surtidores luminosos que se cruzan en sentido opuesto por su parte superior, donde son arrastrados por una corriente de gran intensidad. Se hallan sobre el contorno de una mancha próxima al limbo. Un poco más léjos, sobre las fáculas, se distinguen unas llamitas brillantísimas.

N.º 45. Nube ligera, inclinada hácia el Ecuador, seguida de otras dos llamas más pequeñas.

N.º 46. Bellísimo sistema de surtidores finos, inclinados hácia el Norte y encorvados por los cúspides. Se halla situado en el límite de las granulaciones indicadas por la línea sinuosa que va del n.º 46 al número 1.

N.º 47. Grupo de surtidores finos, casi verticales, con una dirección poco definida, lo que muestra la acción de corrientes poco intensas. Estas protuberancias polares subsistieron durante varios días.

El lector ha visto, mediante este ejemplo, una muestra de los dibujos que nos han servido para plantear nuestras discusiones; pero no basta con hacer los dibujos ni con examinar escrupulosamente los más pequeños pormenores, es necesario también hacer un trabajo de síntesis, que no puede realizarse bien más que sobre números. Hé aquí como procedimos para llegar á resultados numéricos.

Después de haber trazado sobre el disco la línea de los polos del Sol, con ayuda del transportador y de una regla graduada determinamos para cada protuberancia su distancia angular al polo Norte sobre el limbo (1), su altura y su ancho. Estas cifras se escriben en un cuadro, añadiendo una breve descripción, la indicación de la dirección de los surtidores, y el

(1) En rigor, la distancia tomada de este modo no es la verdadera distancia al polo solar, sino á su proyección; pero como esta proyección cae siempre muy cerca del limbo, la diferencia de posición no es nunca muy considerable.

producto numérico de multiplicar la altura por la base. De esta manera obtenemos un cuadro dividido en seis columnas, que sirve de punto de partida para nuestros futuros trabajos.

Estado de las protuberancias observadas el 23 de Julio de 1871, desde las 8^h 30^m á las 9^h 55^m (véase la fig. 36).

Posi- cion.	Altura.	Ancho	Area.	DESCRIPCION.	
12 ^o	6	5	30	Dos surtidores filiformes uni- dos con una nube.	—
21	6	4	24	Masas poco filamentosas.	+
64	10	8	80	Primera parte de la gran masa de los surtidores.	+
74	20	7	140	Grueso surtidor de la gran ma- sa reunida.	+
80	7	5	35	Idem.—Nube entre ámbos.	+
102	3	2	6	Pequeño grupo de hilos.	+
108	4	3	12	Idem.	—
118	5	3	15	Masa luminosa.	+
122	10	5	50	Nube suspendida, filamentosas.	±
130	5	8	40	Masa de hilos casi horizontales.	»
170	6	5	30	Hilos casi verticales.	+
180	7	7	49	Idem oblicuos, raros.	±
206	6	5	30	Bellos surtidores de hilos incli- nados.	+
230	7	10	70	Tres surtidores, dos en sentido opuesto, uno en medio ver- tical.	±
243	9	5	45	Dos hermosos penachos filifor- mes.	+
248	5	3	15	Hilos bellos, muy vivos, sobre la mancha.	+
254	6	3	18	Surtidor luminoso doblado en lo alto.	+
280	7	5	35	Dos bellos surtidores, vivos.	+
307	4	2	8	Surtidorsito, bajo.	—
330	8	5	40	Dos magníficos surtidores fili- formes.	+
332	6	5	30	Tres surtidores filiformes, ver- ticales.	+

Límites de las granu- laciones.	Fáculas.	Inclinaciones.
6 N.	de 48° á 68°	Concordantes. 12.
146 S.	de 79 á 84	Discordantes. . 4.
192 S.	de 95 á 121	
330 N.	de 224 á 233	
	de 239 á 261	
	de 280 á 296	

Con este primer cuadro formamos despues otros cuatro, en los que se registran las protuberancias por el ángulo de posicion de las mismas sobre la circunferencia, de 40 en 40 grados, á partir del polo Norte. El primero de estos cuadros contiene las alturas; el segundo los anchos; el tercero el producto de estas dos dimensiones; y como la base está medida en una unidad doble de la que sirve para la altura, este producto representa la superficie de la protuberancia, supuesta triangular, aproximacion que puede considerarse suficiente; por último, en el cuarto cuadro se registran las fáculas. Varios de estos cuadros han sido publicados en nuestras Memorias; aquí sólo citaremos sumariamente los resultados obtenidos.

§ III. DISTRIBUCION DE LAS PROTUBERANCIAS.—RESULTADOS OBTENIDOS.—NÚMEROS RELATIVOS.

Las observaciones cuyos resultados podemos presentar, abarcan un periodo de sesenta y dos rotaciones completas, estudiadas en el Colegio Romano. Po-

demo añadir tres periodos del Sr. Respighi, que abrazan un intervalo anterior, comprendido entre el 26 de Octubre del 69 y 30 de Abril del 71, cuya importancia tendremos pronto ocasion de conocer. En todo, seis años y tres meses de observacion. Sin duda no es este período lo bastante largo para que podamos sacar de nuestras observaciones leyes definitivas, pero es lo suficiente para que nos enseñen ciertas cosas de gran interés, que nosotros presentamos al lector como un ensayo de lo que para el porvenir reserva este fecundo estudio.

Para la discusion que vamos á abordar, es necesario desde luego distinguir entre el número *absoluto* de las protuberancias y su número *relativo*. El primero depende de la asiduidad del observador, del estado del cielo, de la bondad del instrumento y del criterio práctico que el observador se forma para la clasificacion de los objetos; es, digámoslo así, el número bruto de observaciones colectadas. Este número, para que pueda ser comparable con otros, necesita sufrir algunas correcciones. Así, durante el estio, se puede recoger abundante cosecha de observaciones, porque pueden hacerse á cualquier hora del dia, siempre en condiciones favorables; durante el invierno ocurre lo contrario, porque el mal tiempo restringe el número de los dias hábiles para observar. No seria muy discreto juzgar de la frecuencia media de las protuberancias con arreglo á las cifras obtenidas de este modo; evidentemente seria necesario ántes referirlas á cada dia de observacion, dividiendo la suma por el número de dias, y así se obtendria la frecuencia media; pero si se trata de estudiar solamente la distribucion

de estos objetos sobre el limbo solar, la operacion dicha no es necesaria, porque siempre que el limbo esté completo, el número, para una cierta parte del contorno, será siempre proporcional al total notado.

En el cuadro A (véase más adelante) se ha reasumido: primero, la fecha aproximada del principio de la rotacion, tomando la duracion sinódica de veinte y siete y de veinte y ocho dias alternativamente; (1) en seguida, en las columnas 3 y 4, el número total absoluto de las protuberancias examinadas, estableciendo empero separacion entre ámbos hemisferios; despues, en la columna 5, el número de dias de observacion, en cada rotacion. Si el número es muy pequeño en algunos casos, depende del estado de la atmósfera, porque los dias en que no he podido yo observar, ha ocupado mi puesto el R. P. Ferrari. Ambos hemos hecho varias séries para determinar nuestra ecuacion personal, y el resultado ha sido hallarnos sensiblemente de acuerdo. La columna 6 señala la relacion entre el número total y el de los dias de observacion.

Respecto á las dimensiones, el limite inferior para la altura se ha fijado en tres unidades de nuestra escala, es decir, en 24 segundos. Hay en esto una circunstancia que no debemos pasar en silencio, y que tiende á disminuir el número de protuberancias al principio de la série y á aumentarlo hácia el fin; y es,

(1) En el primer año se han hecho entrar en la última rotacion las observaciones correspondientes á los diez excedentes: por lo demas esta rotacion era bastante pobre.

que cuando se presentan en gran número, suelen hallarse muchas en la misma decena de grados, y entonces suelen valuarse como formando una sola con la anchura de la suma de todas; además, muchas de las pequeñas quedan olvidadas involuntariamente; cosas que no ocurren en épocas de mínima, porque entonces es raro que haya varias en la misma decena, y además, el observador tiene más cuidado con las pequeñas. Esta advertencia debe tenerse en cuenta al apreciar ciertos resultados.

En la segunda parte del cuadro hemos consignado el número de *nuevos* grupos de manchas que han aparecido durante cada rotación; pero como la cantidad de manchas se valúa muy arbitrariamente por este medio, hemos anotado también la superficie, tal como ha sido medida sobre los dibujos diarios, siendo la unidad de superficie un cuadrado de 8 segundos de lado; sigue después el número de días durante los cuales se han observado manchas, y por último el cociente de dividir la superficie por el número de los días de observaciones (columnas 7, 8, 9 y 10.)

El exámen del cuadro A nos conduce á las siguientes conclusiones:

1.^a Si consideramos el número medio de protuberancias visibles en el limbo solar, sin hacer distinción alguna con respecto al tamaño, vemos que este número varía mucho con el tiempo, habiendo ciertas épocas en que disminuye muy sensiblemente, llegando casi al punto de ser cero. Si se construye una curva cuyas abscisas sean los números de orden de las rotaciones, y las ordenadas los números de protuberancias correspondientes, se verá de un sólo golpe la

existencia de este miñimo, tras un descenso progresivo. Este descenso es aún más notable, si se consideran los dias aisladamente. En las primeras rotaciones hubo dias en que contamos cuarenta protuberancias separadas, y en las últimas ha habido dias en que sólo hemos contado dos ó tres, (Enero del 76). Esta disminucion de las protuberancias es todavia más notable examinando las valuaciones de las superficies, hechas segun dijimos anteriormente. Como ejemplo, apuntamos los siguientes resultados:

<u>N.º de la revolucion.</u>	<u>Superficie.</u>
III.	44.634
XX.	4.223
XL.	4.129
LX.	636

2.^a Si sirviéndonos de otras tablas, que no podemos reproducir, nos fijamos sólo en las protuberancias cuya altura excede de 40 segundos, veremos á partir de la VI.^a revolucion de Setiembre del 71 una disminucion aún más notable: decrecimiento que ha continuado, salvo ligeras oscilaciones, hasta la época presente (1876), en que las protuberancias son bastante escasas.

3.^a Si consideramos las protuberancias cuya altura pase de 64 segundos, la disminucion de su número es aún más patente, á partir de la V.^a rotacion, (véase el cuadro D, más adelante). Hubo, pues, un máximo de actividad entre la I.^a y la V.^a rotacion, esto

es, desde la mitad de Abril hasta el mes de Agosto de 1874; este máximo fué seguido de una época de calma relativa en la fuerza que produce las protuberancias. Esta calma ha venido haciéndose mayor hasta 1876; pero no podemos aún decidir si esta fecha marcará un mínimo absoluto, porque las fluctuaciones son demasiado grandes aún en periodos de corta duracion.

4.^a Debemos hacer constar tambien que á la disminucion del número de protuberancias ha acompañado la falta casi absoluta de erupciones vivas que produzcan espectros metálicos, así como tambien la supresion completa de la curvatura en los surtidores.

Si á la curva que indicamos en la conclusion 1.^a se añade otra construida segun el mismo principio con la extension media de las manchas en cada rotacion, se verá que ámbas curvas varían en el mismo sentido, sin que las variaciones sean proporcionales. La curva de las manchas presenta más irregularidades y más cambios bruscos. Hay varias razones para estas diferencias, razones que analizaremos despues. Por el presente bástenos decir que si solamente tuviésemos en cuenta el número de grupos, el resultado seria erróneo en gran parte, porque en el último periodo, habiendo disminuido notablemente la superficie de las manchas, el número de grupos no ha mermado gran cosa.

§ IV. DISTRIBUCION DE LAS PROTUBERANCIAS POR LAS LATITUDES HELIOGRÁFICAS.

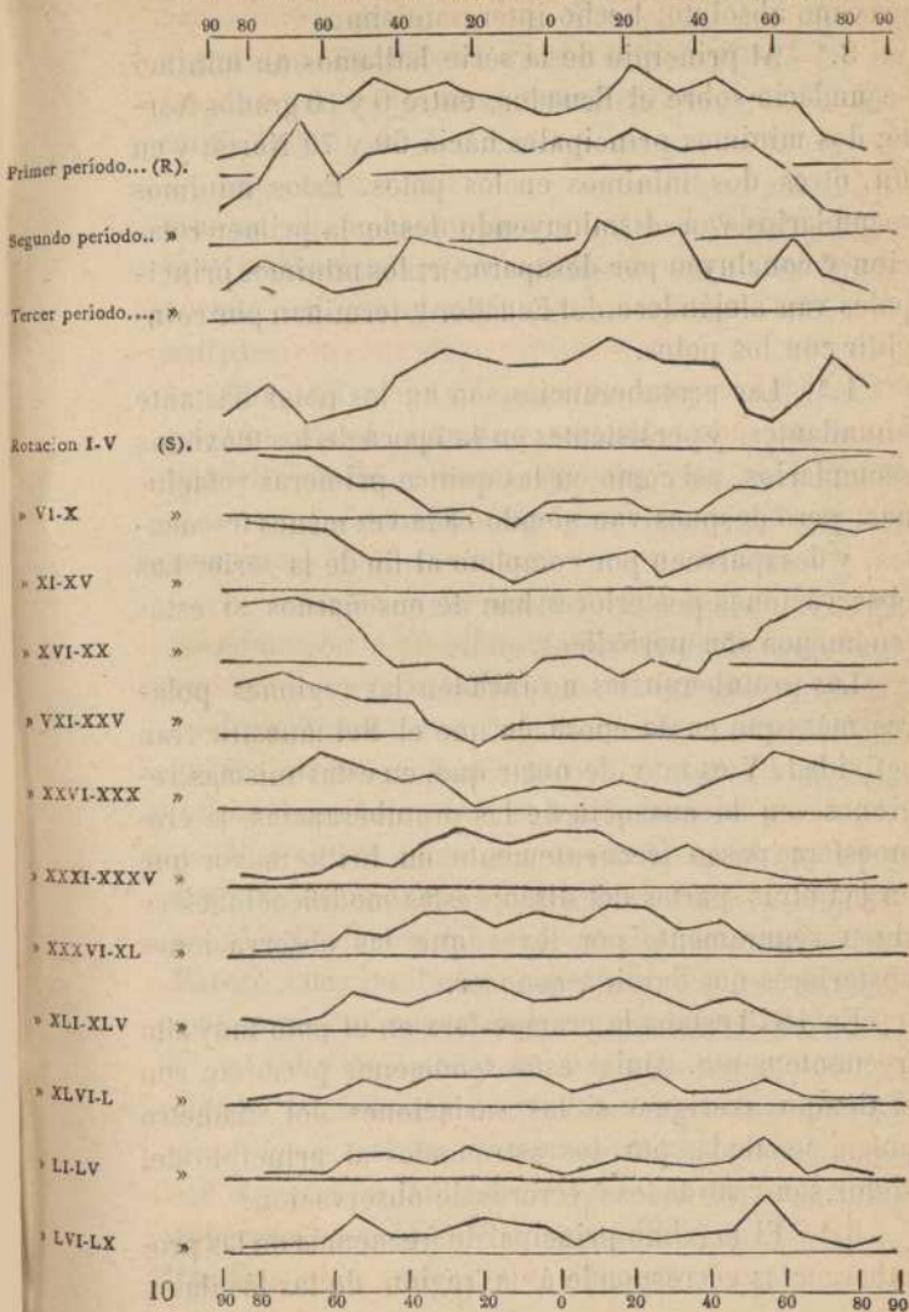
El cuadro B nos dá la distribucion de las protuberancias, segun las latitudes, por grupos de 10 grados. Se comprenderá mejor agrupando las rotaciones de cinco en cinco y construyendo las curvas figurativas, como se representan en la figura 41. Deben tenerse en cuenta las tres primeras curvas que se refieren á los tres periodos tomados al Sr. Respighi, por las razones que ahora veremos.

Hé aquí las conclusiones principales á que hemos sido conducidos por su exámen:

1.^a Al principio de nuestra série hay en general dos máximos, uno en el hemisferio Norte entre los 20 y 30 grados, y otro en el Sur, entre los 40 y 20.

2.^a Hasta la VI.^a revolución se observan ademas dos máximos secundarios perfectamente marcados, situados en ámbos hemisferios, entre los 70 y 80 grados, van despues debilitándose progresivamente y terminan por desaparecer. Las observaciones del señor Respighi, comenzadas en Octubre de 1869, prueban que en tal época no existian los máximos polares, y que se han desarrollado en el trascurso del año 70, llegando á su mayor valor en 1871. Del 26 de Octubre al 30 de Abril se asemeja la curva á la correspondiente á las rotaciones XVI, XX (18 de Junio á 5 de Noviembre de 1872.) El polo Norte muestra su máximo ántes que el polo Sur, y el intérvalo de la I.^a á la

Fig. 41.—Curvas que representan los números de protuberancias observadas sobre el limbo solar en cada latitud heliográfica.



V.^a rotacion (23 de Abril á 10 de Setiembre) abarca el máximo absoluto; hecho interesantísimo.

3.^a Al principio de la série hallamos un mínimo secundario sobre el Ecuador, entre 0 y 10 grados Norte; dos mínimos principales hácia 60 y 70 Norte; y en fin, otros dos mínimos en los polos. Estos mínimos secundarios van disminuyendo desde la primer rotacion y concluyen por desaparecer; los mínimos principales van alejándose del Ecuador y terminan por coincidir con los polos.

4.^a Las protuberancias son en los polos bastante abundantes, y persistentes en la época de los máximos secundarios, así como en las quince primeras rotaciones; pero despues van siendo cada vez ménos frecuentes, y desaparecen por completo al fin de la série. Las observaciones posteriores han de enseñarnos si estos fenómenos son periódicos.

Las protuberancias no invaden las regiones polares más que en la época en que el Sol muestra gran actividad. Y es muy de notar que, en estas mismas regiones, en la ausencia de las protuberancias, la cromoesfera posee frecuentemente un brillo mayor que en las otras partes del disco; estas modificaciones se rigen seguramente por leyes que las observaciones posteriores nos daran á conocer.

En 1873 estaba la cromoesfera en el polo muy alta frecuentemente. Quizá estos fenómenos permitan con el tiempo averiguar si las variaciones del diámetro polar, señaladas por los astrónomos al principio del siglo, son realidades ó errores de observacion.

5.^a El máximo principal de frecuencia de las protuberancias corresponde á la region de las fáculas y

de las manchas; el mínimo secundario, situado en las regiones ecuatoriales, cae en la parte del disco que separa las zonas reales de las manchas y de las fáculas. Los máximos secundarios corresponden á los límites de las granulaciones que se ven en la region de los polos en las épocas de gran actividad. Esta aparición no es constante; en el 73 desapareció, y con ella las protuberancias. En esta misma region es donde la corona es más elevada, segun se ha visto en los eclipses.

En la IX.^a y XI.^a rotacion vimos reaparecer las protuberancias polares, pero duraron poco; esto fué una de esas fluctuaciones de corto periodo á que estamos muy acostumbrados, pero cuya causa desconocemos.

6.^a Desde la L.^a revolucion reaparecen los máximos entre 50 y 60 grados, y un mínimo, quizá relativo, existe en esta época para las manchas. En el hemisferio Sur faltaron durante varias revoluciones seguidas, pero ignoramos todavia si habrá sido esto un mínimo absoluto (3 de Febrero de 1876.)

Una ojeada sobre las curvas de la figura 41 hace ver las frecuentes fluctuaciones que experimenta la actividad solar en las diversas regiones de este astro. Parece constituida su atmósfera por una envolvente que se mueve segun ondas gigantescas, trasportando el máximo de actividad ya á una region, ya á otra, siendo la direccion dominante, al parecer, del Ecuador á los polos. Ya eran conocidas las fluctuaciones de las manchas en latitud á largo periodo, y en las protuberancias volvieron á encontrarse aún más acentuadas.

Fácil es apreciar la ligereza del crítico que ha declarado inexactas nuestras observaciones sobre la distribución del calor en la superficie, porque Langley en 75 no encontró la misma distribución que nosotros hallamos en 52, (1) como si el Sol fuese un cuerpo dotado de una invariabilidad absoluta, sin reflexionar que el año de 52 era una época de agitación y el 75 de calma. El entendido astrónomo americano ha opinado de distinto modo, y ha reconocido que era necesario esperar mayor esclarecimiento para decidirse. Fué más bien por una especie de intuición bien justificada, por lo que nosotros dijimos que debían repetirse las observaciones para ver si las fases halladas permanecían constantes, y no en modo alguno por desconfianza en nuestras propias observaciones. Esta prudente reserva ha sido interpretada contra nosotros, como si no estuviésemos seguros de nuestros propios resultados!

Sin faltarnos confianza en las observaciones, y sin ofender en nada á los astrónomos que se ocupan en hacerlas, podemos afirmar que las leyes de las oscilaciones de la atmósfera solar exigen muchos años de investigaciones ántes de que puedan considerarse como establecidas. Nos consideramos afortunados por haber abierto tan ancho horizonte de observaciones, y la sociedad espectroscópica puede estar orgullosa de haberlas inaugurado; pero como para establecer tales leyes será necesaria una observación asidua, constan-

(1) Véanse. *Atti della R. Accademia de' Lincei*. Roma, 2.^a série. t. II, p. 656, año 1875.

te, tal como no puede hacerla nunca un observador aislado, será preciso que los que se consagran á esta tarea publiquen los resultados que obtengan con figuras detalladas, á fin de que sean útiles á todos. Con cuánto sentimiento hemos visto que un ilustre hombre de ciencia ha declarado que la publicacion de así figuras de la Sociedad espectroscópica habia llegado á ser inútil! Sin esta publicacion, cómo llenar los vacíos de las observaciones particulares? Cómo evitar la influencia de los errores personales y las divergencias provinientes del distinto poder de los instrumentos? Abrigamos la esperanza de que este malaventurado consejo no sea seguido; al contrario, contamos con los observadores de la India y de América para llenar los huecos que á veces se encuentran durante ciertas estaciones en la Europa entera.

§ V. RELACIONES ENTRE LA ALTURA DE LAS PROTUBERANCIAS Y SUS LATITUDES.

Las alturas medias de las protuberancias constan en el cuadro C, donde estan distribuidas segun las rotaciones y segun las latitudes. Es imposible sacar de este cuadro medidas generales, porque las alturas varian mucho con el tiempo. Pero, sin embargo, es posible sacar las siguientes conclusiones:

1.^a Hasta el fin de la V.^a rotacion, la altura media es de 7 unidades, ó lo que es lo mismo, 56 segundos: pero en las rotaciones sucesivas disminuye rápidamente reduciéndose á unos 40 segundos, y despues

á 32, notándose al final de la série sólo simples exageraciones de la cromoesfera.

2.^a La altura siempre es mayor en las zonas de los máximos; pero en las últimas rotaciones, en que no hay protuberancias polares, se hallan alturas muy considerables entre 30 y 40 grados. Esta region es precisamente á la que corresponden las prominencias de la corona, observadas durante los eclipses.

3.^a El cuadro D contiene lo que concierne á las protuberancias más elevadas, ó sea, á las que alcanzan una altura de 8 unidades á lo ménos, 64 segundos. El máximo corresponde en el hemisferio Norte á la region comprendida entre 30 y 40 grados, y en el hemisferio Sur á la que limitan los paralelos del 20 y el 30. En las rotaciones II.^a y III.^a se encuentran los números mayores; este máximo, aunque va disminuyendo, conserva su posicion.

4.^a Cuando son frecuentes las protuberancias en los polos, no llegan á alcanzar jamas alturas considerables. Las de 8 unidades, 64 segundos, son en extremo raras; generalmente no pasan de 40 segundos, 5 unidades. Entre las rotaciones X.^a y XIII.^a, época en que la actividad solar iba decreciendo, presentaba ordinariamente la cromoesfera una gran elevacion en las inmediaciones de los polos, elevándose frecuentemente á 3 unidades, 24 segundos. En 1875 la cromoesfera se deprimió en gran manera y hasta llegó á anunciarse que habia desaparecido, pero fué un error; solamente se habia reducido á un estrecho filete sin puntas ni llamas, y con buenos instrumentos era bien perceptible; sin embargo, esta misma dificultad de verla con instrumentos medianos, unos dias, y la fa-

cilidad con que en otros era observable, prueban suficientemente su variabilidad. Pronto veremos otras curiosas particularidades de esta época.

La altura de las protuberancias no es siempre proporcional á su brillo, que depende de la naturaleza de las sustancias metálicas incandescentes, más luminosas que los gases. Las protuberancias más vivas se encuentran en la region de las manchas y alcanzan grandes alturas durante las erupciones; pero también las hay de esta clase muy elevadas hácia los 40 grados, donde no suele haber manchas. En esta region, próxima á la de las manchas, es donde se encuentran las alturas máximas durante los períodos de tranquilidad: de aquí la forma cuadrada de la atmósfera solar. Estas protuberancias emiten poca luz, no presentan los caracteres de las llamas de las erupciones, ni se reconoce en ellas la presencia de los metales.

Quando los vapores metálicos se presentan en las protuberancias, no suelen elevarse á más de 60 ó 70 segundos, constituyendo lo demas solamente el hidrógeno y el helio. Las erupciones pequeñas, rodeadas de cromoesfera muy brillante y erizadas de puntas, generalmente son muy ricas en vapores metálicos, no presentándose comunmente más que en la zona de las manchas. Vemos, pues, que hay motivo para estudiar las protuberancias bajo el punto de vista de su poder luminoso, tan grande algunas veces, que permite abrir la mira cuatro tantos que de ordinario, y aún verlas á traves de las nubes.

§ VI. ESTUDIO DE LAS PROTUBERANCIAS EN LATITUD Y EN LONGITUD.

Llamamos *ancho* ó *anchura* de una protuberancia el número de grados que ocupa en latitud heliográfica. El cuadro E, (véase más adelante), análogo á los precedentes, ha sido formado con objeto de ver la relacion que existe entre la anchura y la distribucion á lo largo del meridiano. Las cifras representan, en grados del disco solar, la anchura media en cada grupo de diez grados.

Este cuadro, aunque no sea muy detallado, permite notar ciertos hechos importantes.

1.º En las regiones en que las protuberancias son más altas y más frecuentes, tambien son más anchas.

2.º Teniendo en cuenta el valor distinto de unidades con que estan medidas, se observa que, por término general, el ancho es doble de la altura; no hay que dar, sin embargo, á esta ley una generalidad que no tiene; con frecuencia las protuberancias muy bajas tienen una muy considerable anchura.

Para estudiar con fruto lo que concierne á la anchura de las protuberancias, era necesario adoptar un método especial, distinto del empleado para la redaccion de los cuadros. Con este fin hemos puesto en una columna todas las protuberancias cuyo ancho no llega á 10 grados; en otra todas las comprendidas entre 10 y 20, etc., marcando su latitud, aprovechando para esto los perfiles del limbo solar, publicados por la So-

ciudad espectroscopista. En ellos se observan grandes cadenas, que con frecuencia abarcan 20, 30 y hasta 50 grados, con muy pequeños intervalos; las mayores cadenas de éstas corresponden á la region de las manchas, aunque un poco más avanzadas hácia los polos. Al principio de la série eran muy comunes estos fenómenos, pero despues han ido haciéndose cada vez menos comunes. Cuando se ha visto una parte de la cromoesfera muy viva, alcanzando una elevacion de 24 segundos, se ha considerado como una protuberancia. Estos casos estan consignados en el cuadro E.

4.º La anchura, tal como la hemos definido, no señala más que la extension en el sentido de la latitud heliográfica. En cuanto á la extension en longitud no se ha hecho aún discusion numérica; pero examinando los dibujos publicados por el Sr. Tacchini, segun sus observaciones y las nuestras, es fácil ver que las protuberancias se suceden con notable persistencia sobre un mismo paralelo, de modo que ocupan en longitud arcos de 50, 60 y aún más grados. Las más elevadas y de más compleja estructura, ocupan generalmente mayor extension. Hemos procurado ver si presentan alguna ley de variacion en latitud, pero hasta el presente no hemos hallado ningun resultado cierto.

Para estudiar la distribucion en longitud, hemos construido las curvas de las áreas correspondientes á cada una de las rotaciones comprendidas en nuestros cuadros, curvas que sentimos no poder publicar aquí. Cada rotacion entera dá dos contornos del Sol, el uno al borde oriental, el otro al occidental. Combinando las observaciones hechas sobre cada semi-circunferencia, se tiene en catorce dias un contorno completo. De

este modo hemos podido ver que durante varias rotaciones sucesivas, presentan las curvas con regularidad los máximos y los mínimos en las mismas longitudes. Los máximos corresponden á los puntos en que abundan más las manchas. Hay, no obstante, sus notables irregularidades, dependientes de que las protuberancias se presentan en gran cantidad hácia los 40 grados de latitud, region en que las manchas no son frecuentes.

Las protuberancias que se observan en las altas latitudes, fuera de la region de las manchas, no son más, comunmente, que simples expansiones filamentosas de la cromoesfera; sin que sean debidas, como las que se producen en la proximidad de las manchas, á verdaderas erupciones de vapores metálicos, procedentes del interior del Sol. Su presencia comienza á manifestarse en el límite de las zonas reales, allí donde principian las granulaciones ménos vivas en la superficie del astro.

Debe comprenderse que es absolutamente necesario esperar á tener nuevos datos para establecer leyes definitivas. Las observaciones que acabamos de exponer no son más que una simple muestra del trabajo que hay que hacer en este vasto campo, abierto á la actividad de los físicos y de los astrónomos.

§ VII. EXTENSION GENERAL Ó SUPERFICIAL

DE LAS PROTUBERANCIAS.

El elemento que permite apreciar mejor la actividad solar, es la superficie aparente de las protuberan-

cias, entendiendo por tal el área cortada en el campo del anteojo por el perfil del contorno observado. No es realizable la pretension de calcularla exactamente; las formas son demasiado variables é irregulares; pero tomando la mitad del producto de la base por la altura, que viene á ser considerarlas como triángulos, segun dijimos en el § II, se obtiene una aproximacion suficiente; y como la base está valuada en grados de la circunferencia solar, cuyo valor es doble de la unidad que sirve para valuar las alturas, se obtiene un número proporcional á las áreas multiplicando las bases por las alturas, tal como aparecen en el estado del § II. Los resultados de estos cálculos están reunidos en el cuadro F.

El exámen de este cuadro conduce á las siguientes conclusiones:

1.^a Las áreas de las protuberancias presentan, en diversas épocas, fluctuaciones considerables.

2.^a Las áreas máximas corresponden á las regiones donde se hallan las mayores alturas.

3.^a Las magnitudes de las áreas siguen en sus variaciones, próximamente, la misma marcha que las alturas, pero esta ley no está aún bien clara: en general puede decirse que van creciendo de los polos al ecuador.

§ VIII. RELACION ENTRE LAS PROTUBERANCIAS Y LAS FÁCULAS.

Ya hemos hablado de las relaciones que existen entre las manchas y las fáculas; en el párrafo presente

vamos á ocuparnos de las fécúlas y las protuberancias, reservándonos hablar después, con más elementos, de las relaciones que existen entre las manchas y las protuberancias.

Hemos estudiado, sobre los dibujos que ejecutamos diariamente, la distribución de las fécúlas, marcando con cuidado el ángulo de posición de las partes brillantes que se encuentran cerca del limbo. En el cuadro G hemos reasumido un cierto número de resultados, siendo la unidad de medida empleada el grado de la circunferencia.

En este cuadro es fácil hallar los hechos siguientes:

1.º Las fécúlas aparecen condensadas á una y otra parte del ecuador, presentando un máximo hácia los 20 ó 30 grados de latitud, y un mínimo relativo sobre el ecuador. En los polos también hay un mínimo frecuentemente. Estos hechos eran conocidos, pero sin plena certidumbre.

2.º El máximo de las fécúlas en tamaño y número coincide con el de las protuberancias, extendiéndose sin embargo algo más hácia los polos. Este hecho confirma lo dicho anteriormente respecto á que las fécúlas y las protuberancias se presentan reunidas.

3.º Examinándolas por épocas sucesivas, se percibe, á primera vista, la gran disminución que en las últimas rotaciones ha experimentado el espacio que ocupan. Las regiones polares son las primeras que aparecen vacías, y al fin no quedan más que en muy poco número á los dos lados del ecuador, presentándose también sobre esta línea un mínimo relativo.

4.º Al mismo tiempo que la frecuencia disminuye la extension, no quedando en el lugar de aquellas grandes extensiones brillantes más que pequeños círculos, ú óvalos irregulares, destacándose sobre el fondo general. Las granulaciones permanecen bien marcadas, y el retículo negro que forma sus bases aparece bastante distinto; pero este elemento depende demasiado del estado de la atmósfera para que pueda ser comparable á largos intervalos. Las últimas columnas hacen notar bien la disminucion al fin de la série.

5.º Varias veces hemos ya hecho notar que se encuentra el minimo en el polo, pero este minimo está léjos de tener siempre el mismo valor absoluto; así, en las rotaciones IIIª y IVª es bastante elevado, mientras en las últimas llega al cero absoluto. En las primeras rotaciones aparecieron muy desarrolladas las protuberancias polares, tan desarrolladas que formaban una especie de corona al rededor de los polos. Estaban tan bien marcadas que las hemos seguido durante varias rotaciones, encontrando que los centros de estas coronas no coincidian con los polos del eje de rotacion del astro, y que efectuaban las suyas en veinte y cinco ó veinte y seis dias, de tal modo que hubiera sido posible averiguar por este medio si es ó no cierto que la velocidad de rotacion del globo solar disminuye cerca de los polos. Desgraciadamente pronto cesaron; á partir ya de la VIª revolucion se debilitaron tanto que era en extremo difícil observarlas, mientras que en el período anterior llamaban la atencion del observador ménos atento. Despues de debilitarse cesaron, como ya hemos dicho.

6.º Siempre que una fácula brillante llega al

limbo, si no hay verdadera erupcion, se puede ver á lo ménos que la cromoesfera está más elevada, es más viva, y está compuesta de masas cumuliformes y pequeños cúmulos brillantes.

7.º Realmente hay dos clases de faculas: unas recortadas, claras, bien determinadas, brillantes, casi el doble del medio en que se encuentran, de formas redondas, ovaladas y afectando frecuentemente la de una habichuela; las otras son difusas é indefinidas. Estas primeras que son donde con frecuencia aparecen los puntos negros, rudimentos de las erupciones, solamente se presentan en la region de las manchas. Las que formaban las coronas polares eran de la segunda especie. Realmente habia relacion entre ellas y los máximos secundarios de las protuberancias, observados en esta época en la misma region.

8.º Calculando la relacion que existe entre el número de fáculas observadas y el de los dias de observacion, hemos visto que la media diurna es muy variable; pero esto no obstante el máximo subsiste de un modo bien perceptible entre la IIIª y IVª rotacion.

Aunque el éxito de estas observaciones depende mucho del estado de la atmósfera, por más desfavorables que hayan sido las circunstancias en algunos casos, jamás pueden haber introducido una causa de error considerable en nuestras observaciones, en vista especialmente de la precaucion que siempre hemos tenido de conservar el interior del domo en completa oscuridad, á fin de garantizar al observador de la accion de toda luz extraña á la observacion. Nuestros resultados son, pues, incontestables, aunque en los pe-

queños detalles no haya la misma certeza que respecto á las manchas.

§ IX. DIRECCION DE LAS PROTUBERANCIAS.

Las protuberancias eruptivas no parecen seguir ley alguna respecto á su direccion. Las fuerzas á que obedecen actúan en todos sentidos; de ordinario lanzan surtidores luminosos en opuestas direcciones, ya convergiendo, ya divergiendo, ya en forma de espirales de eje horizontal ó vertical. No ocurre lo mismo respecto á las protuberancias en forma de llamas y penachos; estas masas, compuestas exclusivamente de hidrógeno, formadas por filamentos serenos y tranquilos, que principalmente se hallan en las latitudes medias, de los 30 grados arriba, siguen de ordinario direcciones bien marcadas. Con objeto de ver si en estas direcciones hay algo de regular, hemos hecho una estadística de todas las protuberancias registradas desde el mes de Agosto de 1871 hasta el mes de Diciembre de 1873. Hé aqui el resultado de este trabajo:

PRIMERA SÉRIE.

Períodos y su duración.	Protuberancias con dirección definida	
	Hacia el Polo.	Hacia el Ecuador.
Del 1.º de Agosto al 31 de Diciembre 1871	+370	-101
Del 1.º de Enero al 27 de Abril de 1872.	+342	- 56
Del 24 de Abril al 12 de Agosto. . . .	+532	-167
Del 13 de Agosto al 31 de Diciembre. .	+292	- 89
Suma. . . .	+1536	-413
Relacion: 3,72.		
SEGUNDA SÉRIE.		
Del 1.º de Enero al 23 de Abril de 1873.	+342	- 67
Del 24 de Abril al 10 de Junio. . . .	+114	- 43
Del 11 de Junio al 31 de Diciembre. . .	+240	-110
Suma. . . .	+696	-220
Relacion: 3,16.		

Resulta de este cuadro que, por término medio, hay tres protuberancias y media inclinadas hacia los polos por una vuelta hacia el ecuador. Pero para apreciar con más exactitud este resultado, es necesario tener en cuenta los hechos siguientes:

1.º No todas las protuberancias tienen una inclinación determinada: varias son derechas, ó acopladas dos á dos en sentido contrario en los torbellinos, y todas estas han sido omitidas.

2.º En los polos los penachos son verticales ó ligeramente inclinados, á veces figuran la caída vertical de la lluvia. Esta disposición la hemos observado tantas veces que la consideramos como absolutamente incontrovertible, estando además completamente de

acuerdo con la ley que resulta, al parecer, en la discusion anterior; porque si las protuberancias tienden hácia los polos, en ellos han de perder toda direccion definida, ya en un sentido, ya en otro.

3.º Considerando el número total de las protuberancias en periodos de igual tamaño, se observa que la proporcion de las inclinadas disminuye un poco en los últimos años, y la relacion de las dos direcciones tambien se hace menor.

4.º Hácia fines del 75 y principios del 76, al mismo tiempo que los surtidores iban siendo pocos, las direcciones se hacian inciertas, dominando la *derecha*, ó perpendicular al limbo, de un modo extraordinario. Hemos visto casi de ordinario elevarse perpendicularmente los filamentos, llegando á una altura superior á 1 ó 2 minutos de grado sin presentar la menor inflexion! Bredichin tambien hizo la misma observacion.

De todos estos hechos resulta que en las épocas de actividad solar existen corrientes numerosas, pero la direccion dominante es hácia los polos: las observaciones hechas en la actualidad prueban que estas corrientes cesan en las épocas de calma.

Á pesar de que estas conclusiones no son más que la expresion de los hechos, han sido vivamente combatidas; pero las objeciones que se les han opuesto nos parecen infundadas, y algunas de ellas hasta ininteligibles. Así, se ha llegado á decir que no es posible definir la direccion de una protuberancia! Nos es imposible zanjar estas dificultades mientras no se formulen de un modo más tangible. Algunos de nuestros contradictores no han visto jamas una protuberancia,

y otros jamas han tenido á su disposicion un instrumento mediano; sírvales esto de excusa. Si se tratase de casos particulares podrian admitirse sus denegaciones, pero en tésis general son inadmisibles; porque hay en efecto varias causas que pueden explicar ciertas divergencias. Las observaciones pueden corresponder á épocas distintas, y entonces el desacuerdo puede provenir de que la ley enunciada por nosotros, no siendo persistente y universal, puede no realizarse durante algunos dias; la diferencia de instrumentos tambien tiene su influencia: cuando se emplea una ampliacion demasiado grande, con relacion al diámetro del objetivo, no se distingue la estructura filiforme de ciertas protuberancias, y precisamente la direccion de los hilos luminosos es la que en muchos casos permite apreciar las inclinaciones; por último, el problema de orientarse bien, en el momento de la observacion puede ofrecer alguna dificultad.

No es posible dudar de la existencia de las inclinaciones: hasta la cromoesfera suele inclinarse hácia los polos de un modo bien marcado cuando, siendo regular, alcanza una considerable altura. Temiendo ser víctimas de una ilusion, hemos comparado nuestros diseños con los de Tacchini; y unos y otros, ejecutados *en el mismo momento*, estaban completamente de acuerdo sobre este punto: es, pues, bien cierta esta disposicion, que ofrece la misma apariencia á observadores distintos.

La direccion dominante en las protuberancias supone que existe en la atmósfera solar, en ciertas épocas, una corriente sistemática que vá del ecuador á los

polos; corriente más poderosa en la época en que la actividad solar está más desarrollada, mientras que en los tiempos de calma se encuentra contrarestada por otra corriente opuesta, y aún llega á anularse en las épocas de tranquilidad completa. No debe compararse, sin embargo, esta circulacion con la que se verifica en la atmósfera terrestre. Nuestros vientos alizos forman un conjunto de corrientes y contracorrientes limitadas á zonas bien marcadas, mientras que en el Sol nada hemos observado que sea análogo. (1) Allí no parece haber más que una corriente única y general. Es un indicio de la existencia de esta corriente la tendencia general de las manchas hácia el polo (véase tomo I pág. 163) y también que las protuberancias presentan la misma tendencia en los máximos secundarios.

Son las observaciones aún demasiado pocas en

(1) Según la opinion de algunos físicos, fundada en ciertos razonamientos que no carecen de valor, la semejanza entre la circulacion atmosférica y la solar es mucho mayor de lo que aquí aparece. Dados los medios de observacion que hoy se poseen, no es posible dilucidar la cuestion en su verdadero terreno. La exploracion de la atmósfera solar se detiene en puntos cuya densidad indica debe haber bajo ellos una enorme masa de gases comparables, bajo cierto aspecto, á los de nuestra atmósfera; y por lo que respecta á ésta, como sus capas más elevadas no nos hacen sentir su influencia tan directamente como las inferiores, tampoco se ha profundizado su estudio de la misma manera. Por lo demas, este estudio no deja de presentar sus dificultades.

número, y abrazan un período sobrado corto para que podamos formular todavía ninguna ley definitiva, sin que por el presente nos corresponda más que consignar los hechos. Es tanto más difícil descubrir estas leyes, cuanto que la proximidad de las manchas y la violencia de las erupciones que frecuentemente les acompañan, suelen modificar la dirección regular. Nuestras observaciones han comenzado en un período en que la actividad solar estaba en su máximo, y han seguido hasta la época en que era muy débil; queda por averiguar si cambiaran las apariencias vistas, ó si continuaran produciéndose de un modo regular. Así pues, creemos de gran interés la prosecución de estas observaciones, por lo ménos hasta que abracen un período de once años.

No.	Date	Description	Debit	Credit	Balance
1	1891	to balance		1000	1000
2	1891	to cash	50		1050
3	1891	to cash	100		1150
4	1891	to cash	150		1300
5	1891	to cash	200		1500
6	1891	to cash	250		1750
7	1891	to cash	300		2050
8	1891	to cash	350		2400
9	1891	to cash	400		2800
10	1891	to cash	450		3250
11	1891	to cash	500		3750
12	1891	to cash	550		4300
13	1891	to cash	600		4900
14	1891	to cash	650		5550
15	1891	to cash	700		6250
16	1891	to cash	750		7000
17	1891	to cash	800		7800
18	1891	to cash	850		8650
19	1891	to cash	900		9550
20	1891	to cash	950		10500
21	1891	to cash	1000		11500
22	1891	to cash	1050		12550
23	1891	to cash	1100		13650
24	1891	to cash	1150		14800
25	1891	to cash	1200		16000
26	1891	to cash	1250		17250
27	1891	to cash	1300		18550
28	1891	to cash	1350		19900
29	1891	to cash	1400		21300
30	1891	to cash	1450		22750
31	1891	to cash	1500		24250
32	1891	to cash	1550		25800
33	1891	to cash	1600		27400
34	1891	to cash	1650		29050
35	1891	to cash	1700		30750
36	1891	to cash	1750		32500
37	1891	to cash	1800		34300
38	1891	to cash	1850		36150
39	1891	to cash	1900		38050
40	1891	to cash	1950		40000
41	1891	to cash	2000		42000
42	1891	to cash	2050		44050
43	1891	to cash	2100		46150
44	1891	to cash	2150		48300
45	1891	to cash	2200		50500
46	1891	to cash	2250		52750
47	1891	to cash	2300		55050
48	1891	to cash	2350		57400
49	1891	to cash	2400		59800
50	1891	to cash	2450		62250
51	1891	to cash	2500		64750
52	1891	to cash	2550		67300
53	1891	to cash	2600		69900
54	1891	to cash	2650		72550
55	1891	to cash	2700		75250
56	1891	to cash	2750		78000
57	1891	to cash	2800		80800
58	1891	to cash	2850		83650
59	1891	to cash	2900		86550
60	1891	to cash	2950		89500
61	1891	to cash	3000		92500
62	1891	to cash	3050		95550
63	1891	to cash	3100		98650
64	1891	to cash	3150		101800
65	1891	to cash	3200		105000
66	1891	to cash	3250		108250
67	1891	to cash	3300		111550
68	1891	to cash	3350		114900
69	1891	to cash	3400		118300
70	1891	to cash	3450		121750
71	1891	to cash	3500		125250
72	1891	to cash	3550		128800
73	1891	to cash	3600		132400
74	1891	to cash	3650		136050
75	1891	to cash	3700		139750
76	1891	to cash	3750		143500
77	1891	to cash	3800		147300
78	1891	to cash	3850		151150
79	1891	to cash	3900		155050
80	1891	to cash	3950		159000
81	1891	to cash	4000		163000
82	1891	to cash	4050		167050
83	1891	to cash	4100		171150
84	1891	to cash	4150		175300
85	1891	to cash	4200		179500
86	1891	to cash	4250		183750
87	1891	to cash	4300		188050
88	1891	to cash	4350		192400
89	1891	to cash	4400		196800
90	1891	to cash	4450		201250
91	1891	to cash	4500		205750
92	1891	to cash	4550		210300
93	1891	to cash	4600		214900
94	1891	to cash	4650		219550
95	1891	to cash	4700		224250
96	1891	to cash	4750		229000
97	1891	to cash	4800		233800
98	1891	to cash	4850		238650
99	1891	to cash	4900		243550
100	1891	to cash	4950		248500

1891
 1892
 1893
 1894
 1895
 1896
 1897
 1898
 1899
 1900
 1901
 1902
 1903
 1904
 1905
 1906
 1907
 1908
 1909
 1910
 1911
 1912
 1913
 1914
 1915
 1916
 1917
 1918
 1919
 1920
 1921
 1922
 1923
 1924
 1925
 1926
 1927
 1928
 1929
 1930
 1931
 1932
 1933
 1934
 1935
 1936
 1937
 1938
 1939
 1940
 1941
 1942
 1943
 1944
 1945
 1946
 1947
 1948
 1949
 1950
 1951
 1952
 1953
 1954
 1955
 1956
 1957
 1958
 1959
 1960
 1961
 1962
 1963
 1964
 1965
 1966
 1967
 1968
 1969
 1970
 1971
 1972
 1973
 1974
 1975
 1976
 1977
 1978
 1979
 1980
 1981
 1982
 1983
 1984
 1985
 1986
 1987
 1988
 1989
 1990
 1991
 1992
 1993
 1994
 1995
 1996
 1997
 1998
 1999
 2000

CUADRO A.—Resultados de las observaciones de las protuberancias y de las manchas desde el 23 de Abril de 1871
 el 11 de Diciembre de 1875.

Rotaciones.	Principio de las rotaciones.	Protuberancias			Manchas.			Superficie dividida por el número de días.
		Núm. total de protuberancias en el hemisferio	Núm. de días de observación.	Núm. total dividido por el número de días.	Número de grupos.	Superficie de las manchas.	Días de observación de las manchas.	
I	2	Noche.	Sur.	5	7	8	9	10
I	23 abril 1871	156	200	25	27	4237	26	182,9
II	22 mayo	188	196	24	29	2080	26	80,0
III	19 junio	187	199	26	23	1727	26	66,4
IV	16 julio	222	220	28	19	2516	28	90,9
V	13 agosto	174	200	25	22	3042	25	121,6
VI	10 setiembre	123	140	18	20	1262	27	56,7
VII	8 octubre	92	108	14	22	1342	18	74,5
VIII	5 noviembre	50	60	8	30	1021	17	60,0
IX	3 diciembre	116	133	16	15	1079	18	63,4
X	1 enero 1872	80	116	14	25	980	19	51,6
XI	27 enero	109	123	17	27	2121	23	92,2
XII	25 febrero	107	109	14	19	1338	19	70,5
XIII	21 marzo	76	81	13	28	1699	20	84,9
XIV	23 abril	110	109	18	20	2358	24	98,2
XV	21 mayo	115	114	20	21	2762	27	102,3
XVI	16 junio	145	146	26	31	2648	27	98,0
XVII	16 julio	161	194	28	26	2095	28	74,8
XVIII	13 agosto	140	147	25	28	877	26	33,7
XIX	9 setiembre	68	88	15	19	1576	22	71,6
XX	5 octubre	65	64	14	18	1205	19	63,4
XXI	5 noviembre	62	68	11	23	2803	21	133,5
XXII	4 diciembre	48	62	9	17	1206	19	63,5
XXIII	1 enero 1873	76	74	15	23	1332	20	66,6
XXIV	29 enero 1873	84	116	19	23	2659	23	115,6
XXV	26 febrero	53	77	15	19	2258	20	112,9
XXVI	26 marzo	91	97	18	17	1338	21	63,7
XXVII	23 abril	87	93	17	11	539	21	56,3
XXVIII	19 mayo	67	72	17	10	877	22	39,9
XXIX	15 junio	96	119	25	18	1051	28	37,5
XXX	19 julio	105	124	27	16	1238	27	45,8
XXXI	9 agosto	53	52	18	11	811	25	30,0
XXXII	6 setiembre	95	95	23	15	713	27	28,5
XXXIII	3 octubre	58	31	14	14	636	24	24,4
XXXIV	1 noviembre	53	45	13	19	470	20	23,5
XXXV	28 noviembre	63	57	15	16	795	23	34,6
XXXVI	26 diciembre	59	52	16	15	882	21	42,0
XXXVII	22 enero 1874	70	65	19	17	992	24	41,3
XXXVIII	19 febrero	75	65	16	16	823	24	31,3
XXXIX	18 marzo	44	49	13	31	619	18	34,4
XL	15 abril	52	45	13	8	438	20	21,4
XLI	12 mayo	53	54	15	18	411	21	19,6
XLII	9 junio	53	43	16	12	1053	24	43,9
XLIII	6 julio	62	42	16	13	1855	28	66,3
XLIV	3 agosto	63	48	13	11	1267	21	60,3
XLV	30 agosto	92	71	19	13	300	22	13,6
XLVI	27 setiembre	44	31	10	10	592	19	31,2
XLVII	24 octubre	57	58	17	8	344	19	18,1
XLVIII	21 noviembre	17	18	7	7	216	11	19,6
XLIX	18 diciembre	13	8	4	6	63	8	7,9
L	15 enero 1875	40	28	13	7	147	17	8,6
LI	11 febrero	36	33	9	7	336	15	22,4
LII	11 marzo	30	30	11	10	320	17	18,8
LIII	7 abril	30	25	10	8	577	19	30,4
LIV	5 mayo	35	22	15	3	61	23	2,6
LV	1 junio	23	22	12	8	410	20	20,5
LVI	29 junio 1875	15	34	10	4,9	100	19	5,3
LVII	26 julio	61	60	22	5,6	113	23	4,9
LVIII	23 agosto	72	59	18	7,3	100	24	4,2
LIX	19 setiembre	29	24	7	5,5	75	13	5,6
LX	17 octubre	38	31	11	6,3	228	15	15,2
LXI	13 noviembre	21	25	8	5,7	73	11	6,6
LXII	11 diciembre	37	30	13	5,2	104	15	6,9

LXIII	9 noviembre	66	66	15	15	10,00	23	115,6
LXIV	7 diciembre	84	116	19	23	2659	23	112,9
LXV	26 febrero	53	77	15	19	2258	20	63,7
LXVI	26 marzo	91	97	18	17	1338	21	56,3
LXVII	23 abril	87	93	17	11	539	21	56,3
LXVIII	19 mayo	67	72	17	10	877	22	39,9
LXIX	15 junio	96	119	25	18	1051	28	37,5
LXX	19 julio	105	124	27	16	1238	27	45,8
LXXI	9 agosto	53	52	18	11	811	25	30,0
LXXII	6 setiembre	95	95	23	15	713	27	28,5
LXXIII	3 octubre	58	31	14	14	636	24	24,4
LXXIV	1 noviembre	53	45	13	19	470	20	23,5
LXXV	28 noviembre	63	57	15	16	795	23	34,6
LXXVI	26 diciembre	59	52	16	15	882	21	42,0
LXXVII	22 enero 1874	70	65	19	17	992	24	41,3
LXXVIII	19 febrero	75	65	16	16	823	24	31,3
LXXIX	18 marzo	44	49	13	31	619	18	34,4
LXXX	15 abril	52	45	13	8	438	20	21,4
LXXXI	12 mayo	53	54	15	18	411	21	19,6
LXXXII	9 junio	53	43	16	12	1053	24	43,9
LXXXIII	6 julio	62	42	16	13	1855	28	66,3
LXXXIV	3 agosto	63	48	13	11	1267	21	60,3
LXXXV	30 agosto	92	71	19	13	300	22	13,6
LXXXVI	27 setiembre	44	31	10	10	592	19	31,2
LXXXVII	24 octubre	57	58	17	8	344	19	18,1
LXXXVIII	21 noviembre	17	18	7	7	216	11	19,6
LXXXIX	18 diciembre	13	8	4	6	63	8	7,9
LXXXX	15 enero 1875	40	28	13	7	147	17	8,6
LXXXXI	11 febrero	36	33	9	7	336	15	22,4
LXXXXII	11 marzo	30	30	11	10	320	17	18,8
LXXXXIII	7 abril	30	25	10	8	577	19	30,4
LXXXXIV	5 mayo	35	22	15	3	61	23	2,6
LXXXXV	1 junio	23	22	12	8	410	20	20,5
LXXXXVI	29 junio 1875	15	34	10	4,9	100	19	5,3
LXXXXVII	26 julio	61	60	22	5,6	113	23	4,9
LXXXXVIII	23 agosto	72	59	18	7,3	100	24	4,2
LXXXXIX	19 setiembre	29	24	7	5,5	75	13	5,6
LXXXXX	17 octubre	38	31	11	6,3	228	15	15,2
LXXXXXI	13 noviembre	21	25	8	5,7	73	11	6,6
LXXXXXII	11 diciembre	37	30	13	5,2	104	15	6,9

CUADRO B.—Número de las protuberancias según su distribución por latitudes heliográficas.

Rotaciones.	HEMISFERIO NORTE.								HEMISFERIO SUR.								NÚMERO total.		Número total dividido por el número de días de observación	
	90° a 180°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°		N.
I.	10	12	11	22	13	20	30	21	17	36	36	27	23	22	7	17	20	12	156	200
II.	6	32	18	11	14	28	27	26	26	28	35	30	26	19	25	24	18	12	198	199
III.	16	23	13	8	21	28	24	29	24	26	30	30	26	19	12	15	35	12	187	199
IV.	26	21	2	14	15	25	29	27	23	25	24	33	28	22	5	10	26	26	222	220
V.	19	20	3	5	15	19	18	20	21	17	21	23	19	13	6	7	31	24	174	200
VI.	12	10	8	5	3	11	15	12	15	10	17	21	11	10	6	3	22	14	123	140
VII.	14	8	5	2	11	6	8	10	7	9	10	9	4	7	3	2	4	12	50	60
VIII.	4	4	8	8	11	15	18	17	20	23	22	20	16	13	8	3	13	15	116	133
IX.	11	8	8	4	9	12	14	15	13	15	15	19	23	18	11	3	8	80	116	
X.	3	7	5	4	9	12	11	18	17	19	22	15	17	9	11	5	4	11	109	123
XI.	6	7	8	10	14	17	17	17	13	14	14	17	14	5	4	4	3	7	107	109
XII.	4	4	4	8	7	15	20	17	13	12	12	16	17	17	5	4	4	3	76	81
XIII.	1	1	2	15	18	19	18	19	22	21	22	27	24	14	6	1	4	2	115	114
XIV.	3	1	3	6	10	14	14	13	23	22	28	35	24	20	11	3	1	2	145	146
XV.	3	1	2	6	30	37	30	32	23	23	30	29	28	33	14	3	3	3	161	194
XVI.	2	4	6	16	10	26	30	27	23	23	30	23	27	26	13	2	2	3	140	147
XVII.	2	1	6	7	15	15	15	12	12	11	14	11	13	14	9	2	2	1	68	88
XVIII.	2	2	2	5	11	8	12	12	15	10	12	17	11	9	3	1	1	1	65	64
XX.	2	3	1	7	5	10	11	8	15	10	12	15	11	11	7	1	1	2	62	68
XXI.	3	1	4	6	10	10	8	9	9	10	9	11	9	10	8	2	3	1	48	62
XXII.	2	2	3	8	10	14	14	13	12	13	15	13	19	12	9	3	1	1	76	74
XXIII.	2	2	4	9	9	13	23	12	10	23	28	19	12	16	15	2	2	2	84	116
XXIV.	2	2	4	7	10	7	10	6	11	15	18	10	13	9	8	2	2	2	53	77
XXV.	2	2	13	11	18	17	17	12	16	16	18	24	13	12	9	5	4	2	91	97
XXVI.	2	2	9	7	10	20	7	9	18	13	18	21	13	12	8	4	2	1	87	93
XXVII.	2	2	8	7	15	15	10	10	15	13	18	11	11	8	7	3	1	2	67	79
XXVIII.	1	1	1	10	14	19	15	21	14	20	24	20	19	14	15	7	2	2	96	119
XXIX.	1	5	10	10	14	16	21	21	14	18	20	20	30	19	14	15	2	2	103	131
XXX.	2	7	9	6	3	10	11	9	13	11	12	11	12	5	1	8	2	2	53	52
XXXI.	2	7	9	8	13	25	16	15	23	22	14	22	7	4	2	2	1	1	95	95
XXXII.	2	2	3	7	3	13	12	11	10	8	7	3	4	3	1	1	1	1	58	31
XXXIII.	2	2	3	7	3	13	15	9	14	15	15	11	8	5	1	2	2	1	53	49
XXXIV.	2	3	7	8	9	14	11	7	12	11	12	11	8	3	1	1	1	1	63	57
XXXV.	2	3	7	7	8	10	13	10	17	12	16	11	11	11	2	1	1	1	59	52
XXXVI.	2	1	9	6	12	19	13	14	11	15	21	5	10	1	1	1	1	1	70	65
XXXVII.	2	2	2	6	5	11	6	8	10	10	11	9	9	8	3	1	1	1	75	65
XXXVIII.	2	2	6	7	12	4	11	10	11	10	11	7	5	10	1	1	1	1	44	49
XXXIX.	2	2	6	6	9	9	9	9	7	9	11	7	3	11	2	1	1	1	52	45
XL.	2	3	9	6	9	9	9	9	7	9	17	11	3	11	2	1	1	1	53	51
XLI.	2	1	10	8	7	8	11	8	9	18	6	6	4	3	2	1	1	1	62	43
XLII.	2	1	7	6	10	13	14	11	11	12	9	2	4	2	2	2	2	2	63	48
XLIII.	2	1	3	9	6	7	14	13	8	5	14	6	8	9	6	2	1	1	92	71
XLIV.	2	4	12	9	17	20	16	12	11	11	18	12	10	6	2	1	1	1	41	31
XLV.	2	1	7	6	8	6	6	6	10	7	9	9	4	2	3	2	3	3	57	58
XLVI.	2	1	1	5	3	2	4	4	4	4	2	4	7	3	4	1	1	1	17	18
XLVII.	2	1	1	4	3	3	4	4	7	3	2	4	2	2	4	2	2	2	13	8
XLVIII.	2	1	6	7	6	4	11	4	3	1	8	5	5	2	2	1	1	1	40	28
XLIX.	2	1	5	9	4	7	4	6	7	8	8	8	6	6	4	2	2	1	33	33
L.	2	1	1	4	6	7	4	6	7	2	4	4	3	7	10	1	1	1	30	30
LI.	2	1	1	5	4	6	7	8	4	4	5	4	5	4	3	2	2	2	30	25
LII.	2	1	1	5	5	3	7	8	6	3	2	2	4	3	12	1	1	1	35	30
LIII.	2	1	7	3	4	4	4	4	4	4	4	2	3	3	9	1	1	1	23	22
LIV.	2	2	3	13	6	3	14	13	12	3	3	3	3	3	11	1	1	1	6	100
LV.	2	2	6	18	6	10	8	12	6	3	7	9	4	11	18	6	2	2	5	113
LVI.	2	1	1	4	4	5	4	4	5	2	2	3	5	7	5	6	1	1	7	100
LVII.	2	1	1	8	2	4	4	4	5	1	2	2	3	5	2	2	1	1	5	75
LVIII.	2	1	1	6	4	4	6	4	4	2	2	2	2	2	1	1	1	1	7	223
LIX.	2	1	1	6	4	4	4	4	5	1	2	2	2	5	4	7	2	2	5	73
LX.	2	1	1	6	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	1	1	7	223
LXI.	2	1	1	6	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	1	1	5	73
LXII.	2	1	1	6	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	1	1	8	104

CUADRO C.—*Altura media de las protuberancias.*

Rotaciones.	HEMISFERIO NORTE.										HEMISFERIO SUR.										ALTURA MEDIA.		MEDIAS.
	90° a 80°	80	70	60	50	40	30	20	10	0°	10	20	30	40	50	60	70	80	S.	N.			
I.	6,8	5,6	4,6	7,5	5,7	5,0	6,3	6,7	6,2	6,1	6,7	7,6	6,0	5,5	4,2	5,1	7,6	5,0	5,73	5,98	5,85		
II.	6,1	7,8	9,5	9,3	6,2	8,3	6,6	7,3	7,2	7,6	7,3	7,3	8,4	6,1	6,3	7,3	7,3	6,9	7,59	7,17	7,38		
III.	6,7	7,0	6,2	7,7	8,1	7,5	7,8	6,6	7,0	7,3	6,6	8,7	6,8	7,4	5,8	6,7	5,7	5,8	7,15	7,02	7,08		
IV.	5,2	5,7	6,0	6,8	7,1	6,2	7,4	5,4	6,1	7,0	6,5	6,6	6,6	6,0	4,8	5,9	5,6	5,6	6,36	6,15	6,25		
V.	5,3	5,5	4,5	5,6	6,2	7,6	7,7	5,5	4,7	4,6	6,2	5,7	5,5	6,4	4,2	4,1	5,5	6,3	5,99	6,63	6,31		
VI.	4,6	4,6	3,0	4,7	5,1	6,2	6,2	5,5	4,7	4,6	6,2	5,7	5,5	6,4	4,2	4,1	5,5	4,9	4,95	5,23	5,09		
VII.	4,3	4,6	3,6	2,0	3,0	7,9	4,2	4,7	4,0	4,6	4,6	4,6	7,8	5,1	5,3	4,5	5,0	4,3	4,51	5,42	4,96		
VIII.	2,6	3,5	3,0	3,0	5,5	4,5	4,1	4,1	4,0	4,9	4,9	5,8	5,1	4,7	4,2	2,5	4,2	5,0	3,92	4,62	4,27		
IX.	4,1	3,2	3,2	4,0	4,5	7,3	5,6	4,7	5,6	5,8	5,3	5,8	7,1	4,4	4,2	3,8	3,6	4,3	4,69	4,92	4,80		
X.	3,0	3,0	3,3	3,3	4,4	4,5	4,7	5,3	4,9	4,9	6,2	5,1	4,2	4,9	4,1	3,0	5,1	4,7	4,04	4,69	4,36		
XI.	3,0	3,2	3,0	3,0	5,3	5,0	4,1	5,4	4,6	4,7	4,8	5,3	4,9	4,9	3,6	3,0	3,0	4,6	4,17	4,36	4,26		
XII.	3,7	3,0	3,1	4,9	6,8	5,3	6,7	5,1	5,4	5,3	5,7	5,0	5,8	6,0	4,3	4,0	3,1	4,88	4,54	4,71	4,71		
XIII.	3,0	3,0	3,0	4,7	4,1	6,4	4,5	4,7	4,0	6,3	5,0	4,6	5,1	5,6	4,4	3,2	3,0	4,58	4,12	4,35	4,35		
XIV.	3,8	3,5	3,0	4,2	4,4	5,5	5,2	5,5	5,4	5,7	5,4	5,7	5,4	5,9	6,0	5,8	4,3	6,3	4,0	4,0	5,25		
XV.	3,0	3,0	3,5	5,9	6,8	5,8	5,6	5,1	5,8	4,9	5,7	5,9	6,5	5,4	3,6	3,0	3,0	4,65	5,76	4,80	4,80		
XVI.	3,3	3,0	4,5	5,4	3,2	5,2	4,6	5,1	5,6	5,2	5,6	6,8	5,1	4,0	3,5	3,3	3,0	4,13	4,94	5,03	5,03		
XVII.	3,0	3,0	3,5	5,2	5,6	6,3	4,7	5,0	4,9	4,7	4,9	4,8	4,9	5,1	4,5	4,4	3,7	4,0	4,43	4,81	4,62		
XVIII.	3,0	3,0	3,6	4,5	5,8	5,5	5,4	5,1	4,8	5,0	5,9	5,5	6,4	5,5	4,5	4,0	4,0	4,77	4,78	4,77	4,77		
XIX.	3,0	4,3	4,3	11,8	6,8	4,7	4,8	5,3	4,6	4,9	4,7	5,6	6,1	5,4	5,6	5,0	4,0	5,81	4,95	5,38	5,38		
XX.	3,5	3,5	3,0	6,5	5,1	6,4	4,9	6,7	5,4	4,7	5,4	5,6	5,8	4,3	6,3	4,0	4,0	5,50	5,01	5,25	5,25		
XXI.	3,5	3,0	4,0	4,7	6,9	5,1	5,2	5,2	5,7	5,4	5,9	6,0	5,8	5,4	3,6	3,0	3,0	4,65	5,76	4,80	4,80		
XXII.	3,0	4,5	6,3	5,2	6,4	5,7	4,8	4,5	7,4	5,5	6,0	5,8	5,0	4,0	3,5	3,3	3,0	5,13	4,94	5,03	5,03		
XXIII.	3,5	4,2	5,7	7,1	6,7	7,0	4,9	6,7	6,1	4,7	7,8	7,3	5,3	4,3	4,3	3,0	3,0	5,72	5,09	5,40	5,40		
XXIV.	4,0	4,5	4,5	7,2	6,8	7,0	4,8	6,3	6,2	6,1	6,1	6,1	6,1	6,2	5,4	4,3	4,0	5,82	5,77	5,79	5,79		
XXV.	5,0	5,2	6,2	6,6	7,7	5,7	5,4	7,6	6,4	6,6	6,4	5,9	6,4	5,9	6,4	4,0	4,0	6,25	5,84	6,04	6,04		
XXVI.	4,0	4,0	5,0	5,0	7,4	6,1	5,7	4,8	6,0	6,7	6,2	8,1	8,0	5,4	4,2	4,2	3,5	5,25	6,01	5,63	5,63		
XXVII.	4,1	5,8	5,8	5,8	4,7	5,0	5,7	5,6	5,7	5,6	4,9	5,7	4,9	4,5	4,8	4,2	3,0	5,33	4,80	5,07	5,07		
XXVIII.	3,0	6,0	5,0	4,8	5,8	4,9	5,3	6,3	5,5	5,5	5,7	5,0	6,7	4,4	4,3	4,5	4,0	5,18	4,90	5,04	5,04		
XXIX.	4,5	6,0	6,6	7,0	6,6	7,0	5,1	5,4	5,5	5,7	6,9	6,7	6,7	6,5	3,0	3,0	4,0	6,91	5,11	5,71	5,71		
XXX.	4,5	5,2	7,0	6,9	5,8	4,7	4,8	6,5	5,4	5,7	5,5	5,4	5,7	5,5	3,0	3,0	4,0	6,08	5,43	5,83	5,83		
XXXI.	4,5	6,1	5,8	5,5	6,8	6,3	5,5	5,8	5,9	3,8	5,5	5,8	4,7	3,5	4,0	5,0	4,0	5,79	5,10	5,44	5,44		
XXXII.	5,0	5,0	5,0	5,0	5,3	4,7	5,0	5,6	5,0	4,8	5,4	4,3	4,9	6,7	4,0	4,0	4,0	5,83	4,80	5,31	5,31		
XXXIII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XXXIV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XXXV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XXXVI.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XXXVII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XXXVIII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XXXIX.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XL.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLI.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLIII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLIV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLVI.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLVII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLVIII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
XLIX.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
L.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LI.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LIII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LIV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LIV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LV.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LVI.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LVII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LVIII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LVIII.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LIX.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LX.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LXI.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91	4,91		
LXI.	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	5,0	6,8	6,0	4,5	4,4	5,7	4,3	4,6	4,0	4,0	4,0	4,0	5,07	4,76	4,91			

CUADRO D.—Número de las protuberancias cuya altura llega ó pasa de 64 segundos.

Rotaciones.	HEMISFERIO NORTE.										HEMISFERIO SUR.										SUMA.		TOTAL.
	90° a 80°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	100°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	N.	S.		
	6	4	2	5	3	4	11	6	3	13	13	9	6	5	2	11	2	44	61	105			
II	2	18	9	7	3	13	10	10	11	13	17	13	11	7	2	8	8	2	83	81	164		
III	5	13	2	5	12	14	15	9	13	7	11	16	15	6	2	4	16	2	88	79	167		
IV	1	8	2	7	9	7	14	9	8	11	11	11	12	8	2	1	12	3	65	69	134		
V	3	3	2	5	9	12	4	5	7	8	8	13	13	2	1	4	11	4	43	67	110		
VI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	23	40		
VII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	15	26		
VIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	7	10		
IX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	22	38		
X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	18	21		
XI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	18	21		
XII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	13	30		
XIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	11	21		
XIV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	13	25		
XV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	19	40		
XVI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	26	44		
XVII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	10	25		
XVIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	25	44		
XIX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	15	23		
XX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	8	21		
XXI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	12	19		
XXII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	8	13		
XXIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	14	32		
XXIV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	27	47		
XXV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	25	40		
XXVI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	27	53		
XXVII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	14	27		
XXVIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	14	27		

XXIX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	10	24
XXX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	17	43
XXXI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	8	31
XXXII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	15	38
XXXIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	2	14
XXXIV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	8
XXXV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	6	25	
XXXVI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	12	25	
XXXVII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	7	14	
XXXVIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20	7	27	
XXXIX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	8	18	
XL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8	16	
XLI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	11	22	
XLII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	9	17	
XLIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	3	15	
XLIV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	14	40	
XLV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	15	23	
XLVI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	7	17	
XLVII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
XLVIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
XLIX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LIV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LIV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LVI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LVI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LVIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LVIII	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LIX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LIX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
LX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

(a)

(a) En esta rotacion hubo 15 dias de obsef-vacion y ninguna de las protuberancias alcanzó a 64 grados.

CAPÍTULO VI.

Relaciones existentes entre las manchas, las protuberancias y el diámetro solar.

§ I. EXPOSICION DE HECHOS.

En el capítulo anterior hemos expuesto un conjunto de hechos, que podemos reasumir del modo siguiente:

I. Las protuberancias, las manchas y las fáculas más brillantes, y sobre todo las erupciones, se presentan principalmente en las mismas regiones solares.

II. Los máximos de estos fenómenos tienen lugar en las mismas épocas.

Esta ley, sin embargo, no es exacta mas que con algunas restricciones.

1.^a El máximo de las protuberancias dura más tiempo que el de las manchas.

2.^a Esta coincidencia no aparece mas que observando durante la rotacion solar entera: en las observaciones aisladas parece no realizarse, porque las manchas y las protuberancias no pueden examinarse simultáneamente á causa de que las primeras no son visibles mas que en el interior del disco, y las segundas solo sobre el limbo.

De todos estos hechos debemos inferir que existe

una *intima relacion entre estas dos clases de fenómenos*; y precisamente esta relacion es la que nos proponemos estudiar menudamente en el presente capítulo.

No con otro objeto mas que con el de reunir los elementos precisos para este estudio, emprendimos la penosa tarea de trazar diariamente las protuberancias sobre el mismo diseño en que préviamente habiamos representado las manchas, apartándonos así del método más sencillo seguido por otros astrónomos, que consiste en representar por una línea recta el contorno del Sol. Así hemos podido reunir, todos los dias en que el Sol pudo ser observado, unos al lado de otros ambos órdenes de fenómenos, y hemos podido ver las modificaciones que experimenta la cromoesfera cuando pasa una mancha de la parte invisible á la visible, ó bien cuando se aproxima al limbo para desaparecer tras de él. Los resultados más importantes obtenidos desde el 5 de Enero de 1869 al 31 de Diciembre de 1872, han sido ya publicados (1). Mas tarde hemos discutido tambien las observaciones del 73, y despues, en el Boletin del observatorio, hemos dado puntualmente la historia de los fenómenos solares más importantes. Tan prolijos pormenores estarian fuera de lugar en la obra que publicamos en este momento; los lectores que deseen conocerlos pueden hallarlos en nuestras Memorias; en el caso presente nos limita-

(1) Véanse las actas de la Academia Pontificia de los *Nuovi Lincei*, sesiones del 19 de Enero y 30 de Marzo de 1873.

remos á reasumir nuestras conclusiones. Esto no obstante rogamos al lector tenga presente lo que hemos consignado en el capítulo IV, § III, IV y V del libro II. Lo que ahora vamos á añadir será como el complemento natural de lo que allí se dijo sobre la estructura de las manchas, asunto que no pudimos apurar entónces por no poseer aún todos los elementos necesarios para nuestras conclusiones.

Ocupémonos primero de las relaciones particulares que existen entre cada mancha y las protuberancias que le acompañan; despues trataremos de los fenómenos generales.

I. Hay necesidad de distinguir las protuberancias segun la naturaleza de las sustancias que las forman. Las compuestas solamente de hidrógeno pueden producirse en cualquier region del Sol, aún en aquellas en que jamás aparecen manchas verdaderas. Trouvelot acaba de anunciar que ha observado manchas á poca distancia del polo; no la señala exactamente, pero la estima en 10 grados. Pero estos objetos no son manchas verdaderas, son nada mas que regiones más oscuras de la fotosfera, que reciben el nombre de *manchas veladas* (1), y nosotros mismos las hemos visto más de una vez, hasta formando cráteres sin la region negra del fondo (véase el capítulo IV del libro II). El máximo absoluto de altura de estas protuberancias hidrogenadas se encuentra fuera de la region de las manchas, ocupando la zona comprendida entre los 30 y 40 grados de latitud. No hay,

(1) American Academy Proceeding, 12 Octubre 75.

pues, ninguna relacion entre estas protuberancias y las manchas.

II. Las protuberancias en que abundan los vapores metálicos, es decir, las erupciones, acompañan constantemente á las manchas. Cuando se observa en el borde oriental una gran erupcion, se puede abrigar el firme convencimiento de que vá á aparecer una mancha, que se observará infaliblemente al dia siguiente. Cuando la erupcion es pequeña, podrá faltar esta regla, á causa de la corta duracion del fenómeno; pero nunca tratándose de una erupcion poderosa. Con el nombre de *erupciones*, no designamos solamente los surtidores elevados, sino esas puntas bajas, vivas y rígidas de que ya hemos hablado, que son precisamente los fenómenos persistentes, mientras que los surtidores duran poco y pueden pasar desapercibidos. Los surtidores de vapores metálicos van acompañados siempre de gran cantidad de hidrógeno y de la sustancia que produce la raya D₃.

III. Acabamos de decir que las erupciones metálicas se presentan en las inmediaciones de las manchas: la reciproca no siempre es cierta, porque á veces se ven manchas que no están ni precedidas ni acompañadas de erupciones. Es muy raro, sin embargo, que no estén precedidas y acompañadas de masas de hidrógeno incandescente y de trastornos muy visibles en la cromoesfera. Las manchas redondas que hemos llamado *nucleares*, son las que más comunmente aparecen sin protuberancia alguna; por lo que respecta á las irregulares, cuya forma indica grandes movimientos y trastornos interiores, constantemente aparecen acompañadas de protuberancias en

que se distinguen los vapores metálicos. Estas excepciones pueden reconocer dos causas muy distintas:

1.^a Pueden las manchas no estar acompañadas de ningun movimiento violento capaz de originar un surtidor.

2.^a Siendo las erupciones fenómenos esencialmente intermitentes, pueden no manifestarse en el momento mismo de la observacion.

La primera de estas causas se confirma mediante la observacion; en efecto, con frecuencia se nota en el borde occidental la falta de fenómenos eruptivos en una mancha que ha dado signos de haber agotado la fuerza que la engendró. En este caso se hacen las manchas nucleares, redondas, tranquilas, sin que aparezca en su proximidad fenómeno alguno que revele viva agitacion en la cromoesfera: la calma mas completa parece reinar, tanto en su interior como á su alrededor, ó cuando menos, si se manifiesta algun movimiento es casi insensible. No ocurre lo mismo con las manchas en vias de formacion, ni con las que en momentos de gran actividad se acercan al limbo; porque en estos casos *siempre* hay movimientos considerables en la cromoesfera, y nosotros, por nuestra parte, consideramos como un error la asercion contraria.

IV. Las manchas de núcleos múltiples, irregulares y fragmentarios, ofrecen, llegando al limbo, llamas abundantes, que con frecuencia suelen ser bajas y poco extensas, pero el conjunto abarca un espacio considerable.

El exámen que hemos hecho de centenares de manchas, tanto en la época de su salida como en la

de su ocultacion, nos ha llevado á formular estas conclusiones. Hemos tenido ocasion de notar la estrecha relacion que existe entre los dos fenómenos de que venimos ocupándonos, aun en la época en que todavia no se habia pensado en ensanchar la mira; así, desde los primeros meses del año 69 habiamos sentado ya varias de nuestras conclusiones, y muy especialmente las que siguen.

V. Las rayas del hidrógeno son muy vivas y muy elevadas en la proximidad de las manchas, extendiéndose á veces hasta los núcleos, dentro del disco, á distancia apreciable del borde solar; las fáculas más brillantes, que preceden á las manchas, dan rayas metálicas. Cuando se introdujo el uso de observar con la mira ancha, estos mismos hechos fueron confirmados, no solo por nosotros, sino tambien por los Sres. Respighi, Spörer, Tacchini, etc.

Insistiendo cuidadosamente en el estudio de los menores detalles de las manchas, hemos podido hacer constar que la formacion de las mismas no vá acompañada solamente de una erupcion de hidrógeno, sino que siempre ocurre algo más en este fenómeno, y podemos añadir con seguridad que no se produce mancha alguna sin ir acompañada de una erupcion metálica.

Á las manchas más negras y más profundas en apariencia, corresponden las erupciones mas ricas en sódio, hierro y cadmio.

En las manchas muy extensas se elevan los vapores á considerable altura, 60, 70 y 90 grados, rara vez más: de ordinario son ménos elevados los surtidores, y toman la forma de masas brillantes, rayos, etc.

Estas protuberancias son fáciles de distinguir de las otras, sin más que observar su color y la intensidad de su luz, lo cual ha dado márgen á que Spörer las designe con el epíteto de *flamígeras*. Así, cuando hablamos de las erupciones que acompañan á las manchas, no tratamos de esas capas delgadas y difíciles de descubrir, señaladas por Tacchini, sino de masas de vapores metálicos que se elevan á bastante altura para que sea fácil distinguirlas. Y en efecto, siempre que las circunstancias son lo bastante favorables, se encuentran indicios de vapores metálicos en la cromoesfera, y aún en las protuberancias compuestas de hidrógeno si son un poco brillantes.

VI. Debe consignarse, para la teoría de las manchas, que la extensión conmovida por las agrupaciones es mucho más considerable que la ocupada por el núcleo y por la penumbra, y que alrededor de ésta existen siempre multitud de fáculas. Esta observación está confirmada por el espectróscopo, que nos muestra cuán pequeña es la región de los surtidores metálicos comparada con la parte agitada de la cromoesfera, cuya extensión es solamente proporcional á la región ocupada por las fáculas.

VII. Ya hemos dividido las fáculas en *brillantes* y *confusas*, (capítulo anterior, § VIII, 7.º). Las primeras son visibles aún sobre el limbo, presentando á veces el aspecto de verdaderas prominencias, mientras que las otras no se ven sobre el limbo, sino á cierta distancia de él. Ahora bien, cuando estas protuberancias brillantes se presentan sobre el contorno del disco, se vé que son el asiento de grandes erupcio-

nes metálicas, y que las inmediaciones son abundantes en protuberancias hidrogenadas.

En cuanto á las fúculas ordinarias ó confusas, con frecuencia se observa que carecen de toda erupcion, de toda raya metálica, y que sólo aparecen acompañadas por protuberancias compuestas simplemente de hidrógeno y del generador de D_3 . Recíprocamente, con frecuencia se observan protuberancias hidrogenadas que no corresponden á ninguna fácua visible. Es cierto, sin embargo, que ámbos órdenes de fenómenos se producen habitualmente en la misma region, y que entre ellos hay relacion constante.

La explicacion de tal anomalia no es difícil: acabamos de decir que las protuberancias confusas no se ven sobre el limbo, sino solamente en el interior del disco; por tanto, si una protuberancia hidrogenada está superpuesta á una fácua, ésta no será visible cuando aquella lo sea, y será preciso esperar hasta el dia siguiente para que aparezca sobre el disco; pero como no conocemos la variabilidad de estos surtidores, puede ocurrir que desaparezcan interin cambian de posicion, sin que nosotros llegemos á percibirlos. Por otra parte, puede ser visible una fácua cerca del borde occidental; pero á ménos que el surtidor no sea muy alto, no podemos ver la protuberancia hidrogenada hasta que toque al limbo, y mientras esto se verifica, puede el surtidor modificarse ó desaparecer. Es, pues, cosa muy rara poder verificar la correspondencia particular entre un surtidor y una fácua, y debemos conformarnos con el conocimiento de la correspondencia general, demostrada hoy dia ciertamente. En efecto, las regiones de las fúculas, un poco vivas,

cuando llegan al limbo hierven en surtidores de hidrógeno, y el contorno de las manchas está siempre pronto á atestiguarlo.

VIII. Es una cuestion cuyo esclarecimiento importa, la de saber si las erupciones se verifican sobre las manchas ó sobre las fáculas. Para resolverla es necesario tener en cuenta varias cosas:

1.^a Las erupciones no pueden definirse directamente, porque por lo comun la abertura eruptiva no es visible. Si está sobre el limbo, no podemos verla hasta despues de algun tiempo, cuando la rotacion la haya hecho entrar dentro del disco; el tiempo necesario para esto es un día generalmente.

2.^a Como el trayecto de la abertura no es siempre normal al limbo, sino de ordinario segun una línea oblicua y curva, que es la proyeccion del paralelo solar que describe en el siguiente día, en general, habrá un cambio en el ángulo de posicion, suponiendo que la erupcion continúe, lo que no es muy seguro. Así, pues, si se vé la erupcion, no se verá el origen en general.

3.^a Decimos, *en general*, porque puede presentarse el caso, en verdad muy raro, de que una erupcion provenga de una mancha visible cerca del limbo; pero entonces debe ser muy alta para dominar todo el espacio que separa la mancha del borde solar. Esto sucede frecuentemente con el hidrógeno, (véase III) pero muy pocas veces con los metales. Las erupciones son visibles frecuentemente en medio del disco, sobre las manchas, pero entonces son sus caracteres completamente particulares, y en sus detalles de-

ben ser interpretadas segun la teoría general, sin que puedan servir para fundarla.

4.^a El caso más frecuente, cuando se vé una erupcion metálica sobre una mancha, es que no sea ésta el origen de la erupcion, sino otra mancha que está detras y que no es visible por estar cubierta con el disco. La observacion muestra que tal es la disposicion ordinaria. Fundándonos sobre estas consideraciones, despues de haber vacilado largo tiempo, nos hemos convencido de que «*Las erupciones metálicas se verifican sobre los núcleos, y las de hidrógeno sobre las fúculas.*» Esta proposicion no debe ser aceptada de un modo absoluto, ni pretendemos que la superposicion sea invariable. Los surtidores metálicos estan mezclados con el hidrógeno y se proyectan segun arcos parabólicos, siendo muy difícil distinguir verdaderamente de donde surgen y á donde van á caer.

Tales son las relaciones que la observacion revela entre estos dos grandes fenómenos de la fisica solar, las manchas y las erupciones; pero aún hay aquí materia para proponer el siguiente problema:

Con frecuencia hemos hablado de erupciones, de venas, lanzadas verticalmente, etc., pero ¿no podria ocurrir que, en vez de ser lanzadas estas masas de *abajo á arriba*, fuesen *aspiradas* desde lo alto? O en otros términos: ¿las protuberancias estan producidas por via de aspiracion, mediante trombas formadas en la atmósfera que existe sobre la capa rosada, ó son debidas á empujes y explosiones de fuerzas que actuan en el interior del globo solar, lanzando masas incandescentes más ó ménos considerables? Este problema se relaciona con una teoría muy delicada, que

nos parece tiene muy pocas probabilidades; pero que en el fondo carece completamente de interés respecto al hecho fundamental, esto es, al hecho de que la materia asciende. Aun en el caso de la aspiracion, los vapores metálicos se elevan verdaderamente sobre el nivel general; los hechos que acabamos de señalar son completamente ciertos, y realmente procederemos con más seguridad deduciendo exclusivamente de estos hechos las consecuencias que se desprenden claramente, á fin de tener una base racional para la explicacion de las manchas.

§ II. TEORÍA DE LAS MANCHAS SOLARES.

Nos hallamos al presente en estado de exponer nuestras ideas sobre la constitucion de las manchas.

Mientras que la observacion de las manchas se limitó al exámen de los núcleos y de las penumbras, casi no avanzó el problema un solo paso: era como si se tratase de estudiar una fábrica examinando solamente la *planta* sin conocer la *alzada*.

Sin inconveniente podian examinarse los cambios de forma, la distribucion, los períodos de calma, de actividad, etc., pero siempre se continuaba ignorando todo cuanto pasaba sobre ellas, y continuábamos sin noticias sobre su origen y modo de formacion. Si alguna explicacion se aventuraba era puramente hipotética, sin alcanzar nunca el carácter de una verdadera teoría física, sin ser jamas la expresion de un he-

cho bien conocido. Cuando el espectróscopo nos hubo revelado la existencia de las erupciones metálicas, y el hecho material de su coexistencia con las manchas, encontramos un punto de apoyo sólido, y la cuestion se ha reducido actualmente á relacionar entre sí dos hechos indiscutibles, y á poner de manifiesto las relaciones que los ligan.

Despues de esta larga série de estudios, hemos adquirido la conviccion que seguidamente formulamos. *La mancha está formada por la materia misma que la erupcion proyecta sobre el disco solar; la region oscura es debida á la absorcion ejercida por los vapores sólidos de la masa solar, é interpuestos entre la fotoesfera y el observador.*

Para probar esta tésis, haremos observar desde luego que cuando la erupcion se vé sobre el limbo solar, en ciertos casos, debe continuar por algun tiempo, no obstante que dos puntos situados sobre el limbo hayan pasado al disco. La permanencia de la erupcion está comprobada por partir frecuentemente las rayas luminosas del mismo núcleo, é irse á reunir á las que brillan fuera del limbo.

Estas masas, así proyectadas, se encuentran entonces colocadas entre la fotoesfera y el observador, y deben ejercer una absorcion electiva segun la naturaleza de los gases. Ahora bien, hallamos una prueba evidente de esta absorcion en la observacion que hemos hecho frecuentemente, segun la cual las mismas rayas más brillantes en las protuberancias son las que aparecen más oscuras y más gruesas en las manchas; lo que indica que en ámbos casos actúa la misma sustancia, solamente que en el primero vemos el espec-

tro directo, y en el segundo observamos el de absorcion. Por esta causa los mismos metales, sódio, magnésio, cálcio, etc., que más habitualmente se observan en las protuberancias eruptivas, son tambien los que en el interior de las manchas producen la dilatacion de las rayas oscuras. (Véase en el libro presente el capítulo IV, § II).

Admitido este punto, fácil es concebir como dá una erupcion origen á una mancha. La materia elevada sobre el nivel general por una causa cualquiera, rádia directamente hácia nosotros; en tanto que está sobre el borde oriental, fuera del disco, y proyectándose para nosotros sobre el cielo, es una protuberancia. Pero la rotacion solar la arrastra y la lleva á un punto en que se interpone entre la fotosfera y el observador; en este caso debe absorber las radiaciones fotosféricas, dando origen á rayas oscuras, y disminuyendo la luz visible de la parte del Sol que encubre; en este caso es una mancha, y debe producir para el sódio, por ejemplo, el mismo efecto que se produce cuando se quema sódio delante de la mira del espectróscopo, dirigido hácia el Sol; las rayas del metal aparecen difusas y engruesadas sobre el disco solar. Como la masa eruptiva encierra sustancias en gran número, debe absorber no sólo las rayas metálicas, sino tambien gran cantidad de radiaciones en todos los sitios del espectro, como la observacion espectral manifiesta, viéndose el campo del instrumento más oscuro en la region correspondiente.

Así, pues, esta particularidad fundamental que liga el fenómeno de las manchas al de las erupciones, está completamente probada, y es independiente en

absoluto de las hipótesis que se emiten para explicar el levantamiento de la materia eruptiva. Tal es la parte esencial de la teoría que intentamos presentar; no nos resta ya más que dar cuenta de ciertos pormenores, que vamos á exponer tan brevemente como nos sea posible, y para mayor claridad, daremos á nuestra explicacion la forma de interrogatorio.

I. ¿Cómo es que las manchas no estan siempre acompañadas de erupciones? La observacion directa nos habia mostrado, independientemente del análisis espectral, que toda mancha pasa, durante su existencia, por dos períodos perfectamente determinados: el primero, de formacion, en que la agitacion está en su colmo; el segundo, de calma y extincion, en que los movimientos son mucho ménos violentos. Esta segunda faz está caracterizada, sobre todo, por la figura redonda, de aspecto crateriforme, que presenta la mancha.

Esta observacion facilita la contestacion á la pregunta que acabamos de formular. Si una mancha se presenta en el limbo mientras se halla en el período de formacion y de agitacion, deberá reconocerse la existencia de masas eruptivas, mientras que nada semejante ocurrirá en la segunda faz.

Pero aún podemos completar esta explicacion entrando en detalles más circunstanciados. En los trastornos solares, como en los fenómenos que presentan nuestros volcanes, despues del primer período de gran actividad, en que grandes cantidades de vapores son lanzadas á la atmósfera, la erupcion continúa con más calma y sin movimientos violentos; despues se cierra el orificio progresiva y completamente. Hay, pues, un

primer período en que la materia cromoesférica es lanzada más alta que el nivel ordinario, caracterizado por torbellinos y surtidores parabólicos. A esta erupcion violenta suceden emanaciones tranquilas, que producen llamas, cúmulos brillantes, conos y rayos. La observacion prueba que estas erupciones ménos violentas se manifiestan sobre las manchas redondas: llegadas al período de tranquilidad que precede á su desaparicion, estan aún circundadas de fáculas; pero cuando éstas llegan á desaparecer, si las manchas llegan al limbo, no presentan más que llamas cromoesféricas apenas visibles; algunas veces no se percibe nada que se asemeje á una protuberancia. En fin, toda prominencia puede desaparecer, porque la masa absorbente no permanece siempre suspendida como una nube en la atmósfera que rodea al Sol; sino que descendiendo por su propio peso, se apoya sobre la capa brillante como una gota de aceite sobre el agua, formando el aceite una capa liquida sobre el agua, y produciendo en ésta una depresion donde reposa como en un vaso; del mismo modo la masa absorbente por su peso produce en la fotosfera una depresion bien marcada, una especie de cubeta.

II. La segunda objecion es más grave. De cuanto acabamos de decir, parece resultar que las manchas, como decía Galileo, deben ser, así como las nubes y las nieblas, densas en el centro y aparecer difusas en los contornos; pero precisamente ocurre lo contrario: la línea de separacion entre el núcleo y la penumbra está perfectamente marcada, así como el limite exterior de ésta. Esta objecion nos parece fácil de refutar; pero ántes de nada es necesario precisar los hechos.

Ya hicimos notar en el tomo I, que si el límite entre el núcleo y las corrientes que lo invaden está perfectamente marcado, no ocurre lo mismo con el que separa la penumbra de la fotosfera. El espectróscopo nos muestra rayas sobre ciertas manchas desfilachadas, cerca del borde exterior de la penumbra, y á medida que se emplean aumentos más considerables, este límite se hace cada vez ménos distinto. La fotografia ha venido por fin á confirmar esta observacion, y si pudiésemos reproducir aquí una fotografia que nos ha enviado el Sr. Capello, de Lisboa, el lector veria como el borde exterior de la mancha está tan poco definido como pudiera estarlo el de una nube ó una masa de vapores.

Hé aquí, por lo demás, como podemos darnos cuenta de la constitucion interior.

Sabemos que las manchas irregulares, en el primer periodo de su existencia, se trasforman progresivamente; sus núcleos múltiples, desgarrados y de forma poligonal, van regularizándose poco á poco y acaban por hacerse redondos y crateriformes. Ya hemos visto el mecanismo de esta regularizacion (T. I); consiste en un flujo de materia fotosférica que se precipita en la cavidad. Si esta estuviese vacía, la afluencia se verificaría con una rapidez inmensa; pero encontrándose llena de vapores, éstos oponen resistencia al progreso de las corrientes; esta resistencia, sin embargo, no es indefinida. Estas masas lanzadas en alto por la erupcion, se enfrían tanto por dilatacion como por haber llegado á la superficie exterior libre que rádia hácia el espacio. En el interior de la mancha hay, pues, una resistencia procedente de esta masa enfria-

da, y otra que se deriva de la fuerza mecánica de proyeccion de dentro á fuera que posee la masa lanzada en alto. Esto basta para explicar el retroceso de las lenguas y el desórden de las corrientes, en el interior de la masa: pero cuando la erupcion disminuye de intensidad, al ménos por intervalos, estas masas enfriadas y más pesadas empiezan á descender en la fotosfera, y entonces ésta comienza á invadirla con sus corrientes.

De estas particularidades se habia inferido que el centro ó núcleo de las manchas era la boca de un cráter; la observacion espectral nos ha llevado á modificar en parte esta conclusion. El orificio realmente no debe verse nunca; no en el limbo, porque lo veríamos segun una línea tangente á su abertura; no dentro del disco, porque nos lo cubriría la misma masa que arroja. Por lo demás, si no vemos el cráter, vemos perfectamente la erupcion que lanza, y el espectróscopo la revela con las rayas brillantes del hidrógeno y de los metales, que frecuentemente se observan dentro de las manchas en gran actividad. El espectróscopo ha probado tambien que el centro eruptivo no se encuentra necesariamente en el núcleo mismo de la mancha, y que puede hallarse en un punto cualquiera de las inmediaciones. Muestra la observacion que los surtidores de materia cromoesférica existen con frecuencia sobre fúculas brillantes; y hemos hecho ver cuán difícil es hacer constar de un modo exacto el punto de donde procede una erupcion. Además, puede la materia ser lanzada oblicuamente é ir á caer lejos del orificio, como tantas veces hemos visto, y ser trasportada, tambien, por las corrientes lejos de los centros de emision.

En estas erupciones es preciso distinguir las venas de hidrógeno, que en general no producen manchas, de las compuestas por sustancias metálicas. Con frecuencia hemos visto manchas que apenas tenían de diámetro 1 ó 2 grados heliocéntricos, sucediendo á una erupcion que abrazaba 7 ú 8 grados; pero en esta gran extension solo una parte muy pequeña habia presentado surtidores metálicos. Podemos, pues, estar ciertos de que los centros de emision no se encuentran solamente en los núcleos, sino que tambien pueden estar esparcidos por las inmediaciones. Segun nuestro modo de ver, el núcleo de una mancha es la region en que la masa absorbente, lanzada por la fuerza eruptiva, viene á colocarse entre el observador y la fotosfera solar. Para simplificar la locucion pudiera llamarse *nube* á esta masa de vapores; pero prefeririamos, con objeto de evitar equivocaciones, designarla con otra palabra cualquiera ménos sujeta á interpretaciones. Esta masa absorbente, compuesta de materia eruptiva, no permanece siempre necesariamente tranquila, aglomerada sobre el orificio que le dió salida; los vapores pueden haber sido lanzados en todas direcciones y arrastrados á grandes distancias. Mas de una vez hemos visto surtidores parabólicos muy alargados ocupar una extension de 2, 3 y más grados; en tales casos bien puede asegurarse que los vapores van á esparcirse á gran distancia del orificio de emision. El núcleo es, pues, sencillamente la parte más densa y más absorbente de la materia eruptiva, sin que esto impida que pueda alguna vez corresponder al lugar de la erupcion.

Cuando estos orificios son muchos, debe ocurrir

alguna vez que varios surtidores de vapor se reúnan dando origen á una sola masa; de la misma manera, varias de éstas, separadas é irregulares, pueden juntarse formando otra más considerable, cuyo centro venga á teñer un espesor ó densidad mayor, constituyendo el núcleo. El espectróscopo nos muestra en efecto varios surtidores, y nosotros más de una vez hemos notado que las grandes manchas resultan frecuentemente de la reunión de muchas pequeñas.

Reasumiendo, pues, podemos decir que cada mancha supone una erupcion, del interior al exterior, compuesta de materias gaseosas y metálicas. En tanto subsiste el período violento de la erupcion, las masas lanzadas se cruzan en todas direcciones, mezclándose á los filamentos de materia fotoesférica que constituyen los puentes y las corrientes, y dan á las manchas formas extrañas é irregulares; durante este período las penumbras no están bien definidas, y todas las teorías explican satisfactoriamente los fenómenos. Pero, cuando cesa la primera efervescencia y comienza un período de calma relativa, empieza la masa proyectada á enfriarse por dilatacion y por su permanencia en un medio de temperatura más baja, y principia á descender, tendiendo á reunirse y sumergirse en la fotosfera, restableciendo así el nivel alterado en el período precedente; de esto resulta una mezcla de la sustancia gaseosa enfriada con la materia fotoesférica, y entónces sucede al movimiento confuso y desordenado de la primera faz una afluencia más ó ménos regular de materia fotoesférica, que en forma de lenguas tiende á llenar el vacío debido al enfriamiento de los vapores metálicos; tal es en efecto el

aspecto que presenta la penumbra cuando se observa con un poderoso instrumento. Con este motivo creemos deber citar la célebre representación de la *mancha típica* del Sr. Langley, que ha llegado á ser verdaderamente clásica, en la que se presentan de un modo palpable esos retrocesos y esas agitaciones que hemos indicado en nuestra figura 5.^a (T. I, p. 75). Los descubrimientos hechos por Langley con ayuda de su poderoso instrumento, han venido á confirmar nuestras propias descripciones (1).

(1) Como quiera que esta célebre representación ha servido de punto de partida para ciertas discusiones, creemos necesario dar algunos pormenores sobre ella. Representa una parte de la mancha observada por Langley en los días 23, 24 y 25 de Diciembre de 1873, y según lo que su mismo autor nos dice (p. 193, t. X, *The american journal of science*), «la llamó *mancha típica*, porque representa ménos el aspecto exacto que pudiera haberse percibido en un momento dado que el conjunto de diversos tipos presentados en su conexión ordinaria. Todo ha sido tomado de la observación, pero mientras que los detalles de la fotosfera en el rededor han sido tomados de otros estudios, todo cuanto corresponde al cuerpo principal es la más exacta reproducción que he podido hacer de las formas de la sombra y la penumbra.»

Es, pues, evidente, según la declaración del autor, que el dibujo no tiene por objeto representar ningún caso particular; sino tan solamente el tipo general de la estructura de la penumbra y la sombra ó núcleo. El lector que examine la figura de Langley después de haber leído cuanto llevamos expuesto, no se sorpren-

III. Pero se dirá, ¿como podemos comprender, en esa supuesta fusion, la constitucion de esas lenguas aisladas perfectamente definidas?

4.º Para darse cuenta de esto, basta recordar ciertos fenómenos análogos de la fisica terrestre. Des-

derá de la estructura que en ella observará. Solamente que, gracias á la admirable habilidad del artista astrónomo, la exposicion de los filamentos se encuentra reproducida con admirable delicadeza: el espesor de los mismos, medido sobre la figura, es de $\frac{1}{2}$ á $\frac{1}{3}$ de segundo de arco, y no es maravilla que con un anteojo más poderoso (de 13 pulgadas inglesas) se haya podido resolver en filetes más finos lo que con otro anteojo menor (9 $\frac{1}{2}$ pulgadas) parecia una masa homogénea. Desde luego, prescindiendo de lo referente al mayor poder del instrumento, con frecuencia hemos deplorado no poder reproducir la delicadeza y complicacion de estas formas; pero un trabajo semejante, si es posible en un ensayo especial, es completamente impracticable con todas las manchas, porque el tiempo necesario para hacerlo falta en absoluto, y la fotografia nada de esto reproduce. Los extremos de los filetes ensanchados y como rechazados, que tambien se ven en la figura de Langley, son exactamente lo que nosotros hemos señalado en su lugar correspondiente en el tomo primero, y la especie de caida, semejante á la que presentan las crestas de las olas del mar, que tan admirable es en la figura de que nos ocupamos, sirve de confirmacion á lo que hemos dicho muy anteriormente. La habilidad del dibujante ha alcanzado verdaderamente el ideal que el observador se forma contemplando el fenómeno, ideal que solo un artista astrónomo puede reproducir. Esta

de luego los filamentos, venas y corrientes no tienen dimensiones *infinitesimales*; tienen comunmente un ancho de $\frac{1}{3}$ á $\frac{1}{2}$ de segundo, es decir, varios kilómetros. Sus contornos parecen muy recortados; pero si en el contacto de los filetes luminosos y las masas

figura confirma plenamente lo que tantas veces hemos señalado, y esta confirmacion ha movido al Sr. Schiaparelli, á alentarnos dirigiéndonos las siguientes líneas:

«Quel disegno di Langley ha illuminato molte menti prima vestie sebbene non vi sia niente che. V. S. non abbia gia descritto molte volte... Mi congratulo che questa giustizia le sia alfine resa, in verita molto tardi! Milan 21 de Abril de 1375.»

Esto no obstante, Langley, y aún otros, han sostenido que la figura en cuestion presentaba fenómenos incompatibles con nuestra teoría de las manchas. Langley, por un procedimiento óptico, que ha conservado secreto, ha llegado á averiguar que no solo es rayada la penumbra, sino tambien la sombra ó el núcleo, y cree tal estructura incompatible con la idea que, segun él, tenemos del núcleo, al cual consideramos, siempre segun su afirmacion, como una especie de cubeta llena de vapores estancados (a stagnant pool) y absorbentes, un verdadero pantano solar; porque las venas por él observadas indican una mezcla y un movimiento de capas en el núcleo, que contradicen nuestra teoría.

Verdaderamente hemos quedado pasmados al ver que despues de haber insistido tanto sobre ser las erupciones la causa real de las manchas, se nos venga atribuyendo la extraña idea del «pantano.» Pero esto no obstante, comprendemos perfectamente lo que ha dado lugar á tan inadmisibile suposicion. Alguna vez hemos

oscuras hubiese una transición que abarcase un espacio de 3 á 4 kilómetros, no podríamos notarla. En nuestra misma atmósfera vemos filamentos, venas gaseosas muy delgadas propagarse y difundirse muy lentamente. ¿Debe, pues, extrañarnos que tales masas pa-

dicho, y hemos repetido en este trabajo, que en ciertos casos, y en el *período de calma* y de cerrarse las manchas, las masas de vapores se acumulan en aquellas cavidades, sumergiéndose en ellas y siendo invadidas por las corrientes de la fotosfera que las circunda. Estas circunstancias, propias y peculiares á una faz *determinada* de las manchas, han sido consideradas por Langley y otros como correspondientes á todas las fases posibles, y aquí está sin duda el origen del error. Por lo demás, bien amenudo hemos observado esas venas más claras, y en el tomo primero lo hemos hecho constar.

Ahora bien, la mancha examinada por Langley no se hallaba, cuando este astrónomo la observó, en un período de calma; muy al contrario, se encontraba en el parasismo de su erupción, y puede compararse á la mancha representada en la fig.^a 5.^a Para que el lector se convenza de la exactitud de nuestra afirmación, bastará que insertemos aquí la historia de esta mancha, que Langley no pudo observar por entero á causa del mal tiempo, pero que pudimos nosotros seguir favorecidos por las condiciones atmosféricas. Observamos la mancha por primera vez el 20 de Diciembre á corta distancia del borde oriental; estaba compuesta de dos grupos separados, formado el uno por tres puntitos, y el otro por tres manchitas algo separadas: la superficie aparente era de 29 unidades. Fué designada con el n.º 192 de orden. El día siguiente no se observó, y el 22 se encontró el

rezcan estables durante los pocos minutos que dura una observacion? Por lo demas, bien sabido es que cuando se las observa de un modo sostenido, se nota cómo varían de un momento á otro: esto ocurre con las nubes y aún con los líquidos que tienen cierta di-

primer grupo trasformado en una mancha redonda con tres núcleos separados y dispuestos en triángulo, mientras que el segundo grupo constituía una sola mancha redonda de núcleo simple; las dos partes aparecían conectadas por una cadena de poros y puntos; la superficie fué estimada en 41 unidades. El 28 se notó un cambio enorme; la superficie era casi doble, 79 unidades: la primera parte presentaba un gran núcleo dividido por un puente muy ancho; la segunda, ú oriental, parecía una gran grieta ó quebraja, boquero anchuroso, cuyos labios se aproximaban hácia el medio; una penumbra muy trastornada é irregular la contorneaba, y en su borde boreal tenía gran semejanza al dibujo de Langley. La cadena de los poros se había ensanchado; estos cambios se realizaban á ojos vistos. El 24 todo había cambiado de nuevo, especialmente en la parte oriental, donde no se reconocía casi nada de la faz que ofreciera la víspera. El eje de la gran grieta se había inclinado, y ya no había estabilidad en nada; dos diseños, hechos por *proyeccion* en ménos de una hora por el P. Ferrari y por mí, no se parecían ni aún en la forma de la sombra, tales eran los cambios; la superficie abarcaba 104 unidades. Mirando en un espejo el dibujo de Langley, puede hallarse en él algo del contorno general de nuestro bosquejo, pero la diferencia de tiempo es demasiado considerable para pretender mayor semejanza.

El 25 aún eran mayores los cambios; la cadena de

ferencia de densidad (agua y alcohol, agua y jarabe.) Sabemos que una mezcla perfecta no se opera más que al cabo de un cierto tiempo, cuya duracion puede disminuirse mediante agitacion artificial. Andrews ha reconocido la existencia filamentosa del ácido carbónico en el limite del paso de gaseoso á liquido.

2.º Toda masa gaseosa de naturaleza determina-

manchitas que reunia las dos mayores se habia dilatado, y la segunda parte de la mancha dividida por dos puntos tenia grosera semejanza con una careta; en la primera parte habia cuatro núcleos alineados paralelamente al ecuador solar; la superficie pasaba de 125 unidades. Durante el 26 continuó la fragmentacion y las divisiones, y la segunda parte presentaba núcleos ondulados; la superficie fué de 105 unidades.

Así continuó la subdivision y la agitacion hasta el 27, en que las dos partes de tal modo aparecian reunidas por innumerables manchas pequeñas, que ofrecian el aspecto de una sola masa de manchas, cuya superficie se extendia á 127 unidades. Y es de notar que la línea de los cuatro núcleos de la parte anterior habia girado 90 grados. Tamaña complicacion no es posible describirla sin el auxilio del lapiz, y en tales condiciones siguió la mancha hasta su ocaso, que tuvo lugar en los dias 30 y 31, en los cuales presentó el limbo gran número de pequeñas erupciones, que abarcaron un arco de 29 grados sobre el mismo limbo.

Hemos insertado la larga historia de esta mancha, con el fin de probar que las observaciones de Langley recaen precisamente sobre el período de más violenta crisis; y es sabido que las erupciones, conmoviéndolo todo, producen torbellinos de todas clases (fig.^a 5.^a)

da y con una presión próximamente constante, deja bruscamente de ser luminosa, á una temperatura fija. Sobre esta temperatura, las venas gaseosas se destacan con claridad y limpieza de la materia ménos luminosa que las rodea. Así, la llama de una bugia está claramente circunscrita, aunque compuesta de un fluido elástico. Y así también, aún suponiendo que la mate-

á propósito de los cuales sería sin duda alguna completamente absurdo hablar de «pantanos.» En tales casos están formados los núcleos por las masas eruptivas de los vapores metálicos más absorbentes y más densos, y es fácil concebir que entonces estén los núcleos agitados, contorneados en espirales, en venas, y aún mezclados á partes brillantes que no son absorbidas. La suposición de que todo este trastorno ocurra en un *solo plano*, no puede siquiera ocurrirse. Así, pues, no hay duda alguna sobre que las corrientes agitadas y mezcladas se superponen de mil maneras, y que el «Pantano» es un absurdo; pero también es cierto que no hay fundamento alguno para atribuirnoslo.

No nos faltaba, pues, razón cuando invitábamos, como aún invitamos á Langley, á ejercitar su rara habilidad en darnos los detalles de las manchas en el período de calma, calma *siempre relativa*, porque no es posible esperar estabilidad en una mezcla de sustancias de densidades y temperaturas distintas, en la que siempre se han de producir movimientos y corrientes; sin embargo, hay tranquilidad, comparándola al parasismo que acabamos de describir.

Por no hacer esta nota aún más larga, remitimos al lector á las *Memorie della Società spettroscópica*, año de 1875, p. 7 y siguientes.

ria absorbente constitutiva de los núcleos esté en estado gaseoso, podrá aparecer separada de la fotosfera por una línea bien marcada; la explicación sería aún más fácil si se supusiese á la fotosfera constituida del mismo modo que las nubes ó las nieblas.

3.º Hemos dicho que podría designarse bajo el nombre de *nube* la materia que forma el núcleo oscuro absorbiendo los rayos luminosos, pero que tal palabra nos parecia poco á propósito. Una nube es una masa opaca, compuesta unas veces de gotitas líquidas, otras de cristallitos ó de polvo sólido. Ahora bien, la materia eruptiva que forma el núcleo de una mancha es trasparente, dotada sólo de un poder absorbente electivo dependiente de su naturaleza química, que produce en el espectro rayas oscuras completamente definidas. Además, es gaseosa, en el verdadero sentido de la palabra, y luminosa, porque los núcleos no son oscuros en absoluto, sino únicamente ménos brillantes que el medio en que se encuentran; pueden, pues, ser penetrados é invadidos por las corrientes de la fotosfera. La materia de ésta, por el contrario, es opaca como ya hemos probado.

4.º Las corrientes fotosféricas, siendo ménos densas y teniendo mayor temperatura, pueden cubrir en parte la materia absorbente, y formar alrededor de ella una especie de resalte ó rodete, penetrando al fin en su interior bastante lentamente á causa de la resistencia del medio. Así se explica el aspecto que presentan las penumbras compuestas de corrientes y rayos semejantes á lenguas de fuego, que se extienden sobre la region oscura, y acaban cubriéndola progresivamente.

Esta série de fenómenos precisamente sugirió á W. Herschel su teoria de las manchas; suponía una capa luminosa perforada en un sitio, y á través de esta perforacion se veía otra capa oscura, colocada bajo la brillante; la materia luminosa se precipitaba en forma de corrientes por la abertura hasta llenar el vacío. Esta teoria representa la materialidad de los hechos de observacion, pues las cosas ocurren como si la capa existiese realmente. El error de Herschel consistió en atribuir á los hechos una generalidad de que carecen: suponía en toda la extension del globo una capa oscura situada bajo la brillante, mientras que realmente no existe más que en el espacio en que se producen las erupciones.

Mientras dura la masa adventicia que produce el núcleo de la mancha las corrientes de materia luminosa que penetran en él, pueden nadar en su superficie ó disolverse en ella enfriándose; y hasta pueden pasar á un estado distinto del que poseen en la fotosfera y dejar de ser visibles. Este fenómeno puede explicarse de dos maneras: ó la masa absorbente puede estar más fria, y entonces las corrientes dejarían de ser luminosas porque su temperatura desciende bajo el punto á que son incandescentes, ó bien estaría más caliente por la accion de los gases que salen del interior del cuerpo solar, y entonces las corrientes compuestas de particulas sólidas, calentándose, se harían transparentes y cesarian de ser luminosas por sí mismas. Esta última explicacion corresponde á la teoria de Herschel y de Wilson, que consideraban á la fotosfera como una niebla incandescente: la primera será admitida por los que, como Frankland, creen que la

fotosfera está en verdadero estado gaseoso, y que su viva luz es debida á la accion combinada de una alta temperatura y una fuerte presion, bajo la cual los gases dan un espectro continuo.

IV. Pero al fin, esta teoría, que considera las manchas como formadas únicamente por el producto de las erupciones, reduce la explicacion de las manchas á un efecto de *nublado*; achica la grandeza del fenómeno solar, y lo rebaja á las mezquinas concepciones de Galileo, Scheiner y Kircher. ¿Es esto el progreso de la ciencia? ¿No es más bien volverla á su cuna? Responderemos á esto que, si los hechos son exactos y si la verdad se encuentra en la cuna, debemos volver á ella á la ciencia extraviada, y que la grandeza de los fenómenos naturales no debe medirse segun nuestras ideas preconcebidas. Pero nuestros adversarios confunden en realidad cosas muy diferentes. Hemos insistido repetidas veces sobre que toda *mancha* presupone una *erupcion*, y que esta erupcion tiene por causas ciertas acciones interiores en el Sol que nos son desconocidas; que estas acciones turban el equilibrio solar en una vasta region, y que solo la parte de esta region ocupada por los vapores absorbentes constituye la parte oscura que llamamos *mancha*. Ahora bien, enumerar estos hechos, cuyo conjunto se designa con el nombre de *mancha*, nombre derivado solamente de la parte del fenómeno que hiere los sentidos del vùlgo, no es volver el problema á su punto de partida. Si los Galileo, los Scheiner y los Kircher han adivinado los fenómenos en sus causas y en toda su grandeza, estaban bien léjos de poder apoyar sus aserciones sobre hechos; y si la ciencia moderna ha llenado

estos vacíos y de una hipótesis ha llegado á la teoría de un fenómeno positivo demostrada por el espectróscopo, ¿no constituye esto un progreso, un gran progreso? (1)

V. Pero se añade aún, ¿cómo es que la masa absorbente que proviene de la erupcion, permanece tanto tiempo sin disolverse y sin mezclarse con la materia fotoesférica? Porque la observacion nos enseña que ciertas manchas persisten largo tiempo, tres y cuatro rotaciones. Ya hemos contestado en parte á esta objecion, pero como es de importancia, no vacilamos en volver sobre ella y completar nuestra respuesta.

Estas manchas tan persistentes no están, como pudiera creerse, en estado de reposo y equilibrio; la causa que las ha producido, actúa de un modo constante y, á veces, con un esfuerzo de actividad considerable; nuevas cantidades de materia, procedentes del interior, impiden la desaparicion de la mancha, y la modifican y trasforman cuando la erupcion se hace más activa, mientras que la conservan largo tiempo con el mismo aspecto cuando la materia eruptiva se des-

(1) El Sr. Capello ha reproducido, por medio de la fotografía, un grabado antiguo, encontrado en Lisboa, en el que el Sol está representado como un cuerpo inflamado, con erupciones y manchas oscuras formadas por estas erupciones, etc. Esta figura es debida al P. Kircher, y se encuentra en su *Mundus subterraneus*, t. I, p. 64. Ocioso nos parece detenernos á discutir tal figura, que evidentemente no es más que un producto de imaginacion, accidentalmente feliz en ciertos casos, y absurda en otros.

prende del interior lenta y regularmente. Ya hemos hablado de estos recrudescimientos de actividad, cuando apropósito de los movimientos propios de las manchas, hemos señalado los saltos hácia adelante que se verifican de ordinario cuando una mancha próxima á cerrarse cobra nueva vida. Si pudiésemos observar las erupciones sobre la superficie del disco solar, veríamos que estas nuevas fases y estos movimientos bruscos hácia adelante van siempre acompañados de una emision copiosa de materia eruptiva. Es imposible hacer directamente estas observaciones; pero no es por esto ménos cierto el hecho, y tenemos la prueba de ello en los cambios de forma que sufren siempre las manchas en estas circunstancias. La corona de fáculas que rodea á las manchas crateriformes, muestra que aún en estas manchas que parecen tan tranquilas, hay un movimiento permanente del interior al exterior. Cuando las fáculas desaparecen, cuando el rodete que circunda la penumbra se deprime, la mancha está á punto de desaparecer, y se puede tener la seguridad de que al cabo de uno ó dos dias estará completamente cerrada. Estas explicaciones se hallan confirmadas por la observacion, ya antigua, que muestra duran las manchas más largo tiempo cuando son ménos abundantes, esto es, en el período del mínimo y de calma.

De cuanto hemos dicho puede inferirse que la region oscura que constituye el núcleo de cada mancha, es un fenómeno secundario, siendo el principal la erupcion. Es, si se quiere, una nube, un humo proveniente del interior del globo solar, por una ó várias aberturas, que se reúne en una sola masa, como los

surtidores de vapor de una sulfatara que, salidos de varios puntos, se juntan para formar una nube única.

Aunque hemos procurado contestar á las objeciones que nos han sido hechas por ilustres hombres de ciencia, no nos lisonjamos de haberlos persuadido. Cada cual tiene su manera de ver, y las opiniones personales son muy caras, sobre todo si han sido formadas *á priori*, sin estar suficientemente preparado mediante la observacion. No creemos tampoco haber dicho la última palabra sobre el asunto, porque aún queda más de una dificultad por zanjar. Así, por ejemplo, todavía no conocemos bien la constitucion de la fotoesfera, sobre la que hay dos opiniones encontradas. El principio de Kirchhoff nos ha servido de base, y sabemos que no tiene toda la generalidad que se le atribuye. La inversion de la línea D₂ no está probada, y la de algunas otras es muy dudosa. El hidrógeno flota sobre la capa que produce la inversion, y bajo ciertos aspectos tiene un modo de accion especial. Las investigaciones no han terminado, pues, pero tenemos el convencimiento de que la parte mayor está hecha, y de que no hay sino continuar en la misma vía para llegar á la solucion definitiva del problema.

Terminemos este largo capítulo con cuatro palabras sobre la explicacion de las fáculas. La explicacion más sencilla se basa en el hecho, comprobado más de una vez, de ser las fáculas una elevacion de la fotoesfera. Por efecto de esta elevacion, las crestas de las ólas de la fotoesfera se elevan sobre la capa absorbente, muy estrecha por cierto, y no sufriendo su luz extincion alguna, parecen más brillantes. A veces es mensurable la elevacion de la fotoesfera, pero es

tan delgada la capa muy absorbente, que una elevacion inapreciable á nuestras mensuras, siempre difíciles cerca del limbo, basta para producir el fenómeno. Esto explica por qué las fáculas forman frecuentemente un rodete bastante sensible alrededor de la mancha; cosa que puede ser resultado de la fuerza eruptiva que actúa en el centro, acumulando cantidades crecientes de materia oscura, y rechazando y levantando en los bordes á la fotosfera; tambien pudiera provenir de la agitacion que necesariamente resulta al mezclarse dos materias de temperaturas diferentes. Cuando se levanta así una parte, se observan grandes ráfagas de vapores de hierro y magnésio, como ha notado el Sr. Tacchini. Estos levantamientos no son verdaderas erupciones, pero si son una faz de los fenómenos debidos á la actividad solar, y alrededor de las regiones que por esta causa parecen más luminosas, se observa constantemente mayor viveza en el brillo de la cromoesfera.

Pero aún hay otra manera de concebir la produccion de una fácula. Una erupcion de hidrógeno solamente debe desalojar de sobre la fotosfera la capa metálica absorbente y sustituirla con otra de hidrógeno: siendo ésta trasparente para el mayor número de rayos, puesto que sólo absorbe cuatro rayas, debe dejar pasar más luz de la fotosfera que dejan pasar los demas puntos.

Es muy difícil hacer constar las relaciones que existen entre ámbos fenómenos en la época de gran actividad, á causa de la gran complicacion que entonces presentan las protuberancias; pero en los períodos de calma es distinto: entonces observando con exactitud y

esmero, con frecuencia hemos notado en tales casos pequeñas erupciones de hidrógeno en el borde oriental, y á la mañana siguiente en el punto correspondiente del disco hemos visto una fábula muy viva, que algunas veces al siguiente dia presentaba en su centro un punto negro. Es imposible, pues, segun esto, dudar de la relacion que existe entre ámbos fenómenos.

Evidentemente no son debidas las fábulas más que á las erupciones de hidrógeno, y son consecuencias directas ó indirectas de ellas.

§ III. DISCUSION DE ALGUNAS OTRAS TEORÍAS DE LAS MANCHAS.

No nos detendremos largo tiempo en esta discusion, porque ya hemos examinado bastante algunas teorías en la primera parte de esta obra. Es necesario, pues, descartar todas las que explican las manchas, suponiéndolas escórias sólidas nadando sobre un liquido, á ménos de admitir, como alguno ha propuesto, la existencia de escórias gaseosas, lo que viene á ser sólo cuestion de palabras. Pero no podemos prescindir de decir algo respecto á la teoria de los torbellinos. Ya hemos formulado ántes nuestras dudas respecto á ella, y hemos expuesto las razones que nos hacen creer que, si los movimientos vertiginosos existen, son muy raros y puramente accidentales; y por lo tanto, nos limitaremos al presente á añadir algunas sencillas observaciones, que no dejan de tener importancia.

Es preciso admitir en el sistema de los torbellinos:

1.º La existencia de trombas ó huracanes giratorios en la atmósfera solar: 2.º señalar la causa de estos fenómenos: 3.º explicar los de erupcion: 4.º explicar tambien los fenómenos espectrales.

4.º Que en la masa solar puede haber torbellinos, no es cosa que dudamos, y áun algunos hemos diseñado y dado a conocer; pero estos hechos no bastan para fundar sobre ellos una teoría general, que es de lo que aquí se trata. Para que así fuera, sería necesario probar que existen los torbellinos en todas las manchas, y que siguen la ley de los ciclones. Ahora bien, el número de manchas giratorias es en extremo corto, á *lo sumo* un 5 ó un 6 por 100, y ademas, para poder apoyar la teoría sobre estos casos particulares, sería necesario que todos ellos satisficiesen á la ley de los ciclones, en vez de presentar rotaciones accidentales debidas á la combinacion de fuerzas excéntricas á las erupciones, que es precisamente lo que ocurre de ordinario.

Ademas, si examinamos una mancha redonda en el periodo inmediatamente anterior á su desaparicion, vemos que su variacion es completamente distinta de la ofrecida por los ciclones, porque todos sabemos que éstos van ensanchándose progresivamente, repartiendo su fuerza viva en una masa cada vez mayor, hasta que, anulada su velocidad, desaparecen: las manchas, por el contrario, van estrechándose más y más hasta cerrarse y desaparecer por completo. En cuanto á las leyes de rotacion, diremos que, despues de haber observado cuidadosamente algunos de estos supuestos ciclones, y notar que presentaban los caractéres correspondientes á una rotacion bien determinada, los he

mos visto suspender su movimiento, y aún algunos emprender su marcha en sentido contrario; hecho este inexplicable por completo en una rotacion sistemática. Por consecuencia, podemos afirmar, apoyándonos en nuestras propias observaciones, que, en la mayor parte de los casos, la fuerza que produce el torbellino es resultado de combinaciones fortuitas, y no una realidad constante siguiendo una ley definida. Además, los ciclones deberian ascender hácia los polos, describiendo arcos parabólicos ú otra curva teórica cualquiera, mientras que hasta el presente no se les ha visto recorrer más que unos arcos elípticos, muy cortos y muy irregulares. Por otra parte, sería preciso atribuir á los ciclones solares una duracion extremadamente grande, puesto que persistirian durante varias rotaciones.

Nos referimos aquí á la hipótesis de los torbellinos tal como ha sido expuesta por sus autores; porque si se admite que estos torbellinos se forman, no sólo en la capa brillante, sino que se dejan sentir tambien en la capa gaseosa que cubre á la cromoesfera, estamos entonces completamente de acuerdo. Entre los hechos que tienden á probar la existencia de los torbellinos solares, el de mayor importancia, á nuestro juicio, es la forma que á veces presenta la materia eruptiva y la doble curvatura de las protuberancias; pero estos hechos nada prueban en favor de la teoría rotatoria, porque la masa que gira se limita á la cromoesfera, y mientras que, segun nuestras observacion, la materia se eleva, en la otra teoría debiera abismarse.

Sin duda las curvas á que nos hemos referido, son

hélices vistas por proyeccion, pero notemos que estas hélices no tienen siempre el eje vertical; muchas estan inclinadas y algunas son horizontales (fig.^a 38.) ¿Cómo explicar todo esto por simple comparacion de los torbellinos solares con nuestros ciclones? Por el contrario, es muy natural que en una erupcion gaseosa se produzcan colisiones, cambios de direccion, y finalmente, movimientos rotatorios en diversos sentidos, bien definidos á veces; pero hay gran distancia de estas rotaciones, accidentales y poco duraderas, á los supuestos movimientos sistemáticos que se trata de tomar como base de toda la fisica solar. En fin, la rotacion de los ciclones debiera ser indefinida y durar tanto como la misma mancha; no ocurre así, casi nunca persisten más de dos dias, al cabo de los cuales cesan por efecto de la resistencia que encuentran, ó se invierten bajo la accion de una impulsión contraria.

2.º Es preciso señalar las causas de esta supuesta rotacion. Una de las componentes pronto se encuentra en la rotacion solar que determina necesariamente un movimiento rotatorio en las masas que se trasportan de una region á otra por una accion convergente; pero es manifiesto que esta causa no basta, porque es permanente y no siempre hay manchas. Sin embargo, no se ha indicado otra alguna. No haremos de esto un arma de polémica, porque en verdad tampoco conocemos mejor la causa verdadera de las erupciones; y si estas fuesen tales que pudiesen contribuir á la formacion de los torbellinos, á qué rechazarlas?

3.º En cuanto á la explicacion de las erupciones, no encuentran dificultad los partidarios de la teoria

rotatoria; niegan en redondo la existencia del fenómeno, y hasta deploran la introduccion de la palabra. Pero, como rechazarlo todo en absoluto, sería ir demasiado lejos, sería negar la evidencia, hé aquí el término medio que han imaginado. Segun ellos, no hay posible nada más que los torbellinos, y estos torbellinos deben estar dotados en su centro de una fuerza de absorcion. En este centro, pues, se *abisma* el hidrógeno, como los cuerpos ligeros en los remolinos de los rios; pero como este gas, á causa de su peso específico, no puede permanecer en el fondo, es lanzado á cierta distancia del eje del torbellino y asciende, simulando de este modo una erupcion. Si la teoría no es cierta, por lo ménos hay que convenir en que es ingeniosa; pero, cómo probar todo esto?

Veamos la respuesta: un observador célebre, dicen, ha descubierto que sobre el núcleo de las manchas, cuando estan en el limbo solar, falta la cromoesfera completamente; ha sido, pues, absorbida por el eje del torbellino. Hé aquí la prueba pedida. De las erupciones metálicas no se cuidan, porque, segun dicen, no son más que pequeñas hojas levantadas de esa capa que invierte las rayas espectrales; son masas realmente insignificantes.

En todo esto no hay más que una pequeña dificultad; y es que la observacion en que se fundan es *falsa*. En efecto, durante toda nuestra larga experiencia, *nunca* hemos visto faltar la cromoesfera sobre las manchas; por el contrario, generalmente es más alta en tales sitios; y si alguna vez, muy rara por cierto, parece más baja, es que el hidrógeno está reemplazado por vapores metálicos. Una sola vez hemos visto

faltar la cromoesfera en el limbo, á lo largo de un arco casi de un grado, lejos de toda mancha, y entonces parecia eclipsada por un cuerpo opaco. Pero la supuesta observacion, no es solamente falsa, sino á más imposible, porque las llamas de hidrógeno que rodean el cráter, cuando estan en el limbo, deben ser atravesadas por el rayo visual y simular así la existencia de la cromoesfera. Además, nunca se vé abismarse el hidrógeno en el centro de la mancha, más bien surgir. No queda nada, pues, de las supuestas pruebas de esta teoria, sacadas de la observacion.

Si nuestros criticos hubiesen visto las cosas, siquiera una sola vez, con sus propios ojos, no hubieran sido nunca inducidos á error por una asercion inexacta ó ambigua de un observador, de mérito sin duda, pero que quizá no tenia instrumentos apropiados á este género de observaciones.

4.º En cuanto á los fenómenos espectrales, la teoria de los torbellinos no los tiene en cuenta; como ya hemos dicho, los considera como accesorios é insignificantes. La oscuridad de las manchas se explica por el descenso de temperatura en el interior del torbellino, y los descubrimientos espectrales como si no se hubiesen hecho. En efecto, no se dá razon alguna para que las rayas negras reforzadas correspondan á *las mismas sustancias que brillan en las protuberancias*; tampoco se preocupan de las rayas que se ven sobre los núcleos de las manchas durante los grandes trastornos que experimentan, rayas que no son concebibles más que mediante las erupciones. No sería difícil hacer entrar en la verdadera teoria algunos de los hechos que se invocan en apoyo de la de los torbelli-

nos, pero debemos tomarla tal como la presentan sus defensores. Y sobre todo, nos sería bien difícil admitirla mientras veamos *saltar* los surtidores gaseosos en el mismo punto donde, segun la teoría, debieran *abismarse*. Se ha citado en apoyo de esta afirmación el dicho de Lockyer, que dice haber visto la caída de la materia en el interior de la mancha, á lo que llama *down rash*. Esta caída nada tiene de imposible, porque en la mancha hay ménos temperatura, y afluye á ella la fotoesfera, á ocupar el vacío que deja la columna saliente; pero no impide que de cuando en cuando haya surtidores vigorosos que levanten la materia y produzcan los fenómenos que llamamos erupción: de manera que para algunos casos de *down rash*, nosotros hemos visto otros muchos más numerosos en sentido contrario. La estadística de nuestras observaciones prueba que por cada 400 manchas observadas, sea á la entrada ó á la salida, 85 van acompañadas de erupciones.

No nos lisonjemos de que la teoría expuesta en el párrafo precedente sea completa en absoluto; pero si no explica todos los detalles, quizá sea porque todavía son poco conocidos. De todos modos, tiene la inmensa ventaja de relacionar entre si el mayor número de fenómenos observados. Además, concilia opiniones que parecian completamente opuestas; así, admite las erupciones y los cráteres como querian Cassini y Chacornac, los agujeros y las cavidades como decian Wilson y Herschel, y las nubes como suponian Galileo y Kirchhoff. Ninguna teoría puede ser cierta, si no dá la explicación de las ideas emitidas por los grandes sábios que han estudiado cuidadosamente el

Sol, porque estos hombres eminentes no se dejaron guiar por el capricho, sino que trataron de expresar por medio de hipótesis los fenómenos que habian observado. Sus observaciones eran incompletas, pero no falsas; los nuevos medios de investigacion que poseemos nos permiten apreciar pormenores que ellos no pudieron distinguir, y rectificar sus opiniones en lo que tenian de aventuradas; estas opiniones tenian, sin embargo, un fondo de verdad, y la verdadera explicacion debe dar razon de todos los fenómenos observados por ellos.

§ IV. DE LAS VARIACIONES DEL DIÁMETRO SOLAR.

Cuanto llevamos dicho, prueba que el globo solar no tiene una superficie sólida ni invariable, sino que está envuelto por una capa gaseosa é incandescente, cuyo espesor desconocemos. Quizá toda la masa esté en tal estado, pero, dejando á un lado esta cuestion, hay por lo ménos la seguridad de que la capa gaseosa es mucho mayor de lo que ántes se creia. El estudio de las protuberancias y de las manchas nos ha mostrado que en la superficie entera del astro discurren una especie de ondas gigantescas, que partiendo de las regiones ecuatoriales, van á concentrarse á los polos, trasportando á ellos las erupciones hidrogenadas, y arrastrando á las manchas en sentido del crecimiento de las latitudes. Si el periodo de estos cambios está bien determinado respecto á las manchas, no ocurre lo mismo con el de las protuberancias, á causa

del poco tiempo trascurrido desde que comenzaron las observaciones necesarias; pero á más de estas grandes oscilaciones, hay otras en intervalos muy cortos. En presencia de tales hechos, ¿será absurdo preguntar si las dimensiones del astro son variables con el tiempo, si su forma es rigurosamente esférica, y si el eje de rotacion coincide con el de figura y con el centro de gravedad? Nosotros creemos que no.

Por otra parte, hace tiempo que los astrónomos más distinguidos han hallado en los valores del diámetro solar resultantes de sus observaciones meridianas, diferencias considerables, superiores en mucho á los errores admisibles en observaciones delicadas, y esta cuestion fué ámplia y profundamente discutida á principios del siglo, especialmente por Lindenau y Carlini.

Todavía en la actualidad, no obstante la perfeccion de los instrumentos modernos y la introduccion de los cronógrafos, no es raro hallar diferencias de 3, 5 y 7 segundos de arco, y hasta de medio segundo de tiempo en las observaciones completas de diferentes dias. Estas diferencias son demasiado frecuentes y siguen á veces una marcha demasiado regular, para que puedan considerarse como nuevos errores accidentales en la observacion.

Es digno de tenerse en cuenta y llama la atencion particularmente, que no obstante la variedad de metodos empleados y la perfeccion alcanzada por los instrumentos, la mensura del diámetro solar haga tan escasos progresos. A continuacion insertamos una lista de los valores adoptados en diferentes épocas y en los trabajos astronómicos más importantes:

Épocas.	Autores.	Diám. horiz.	Diám. vert.
1661	Mouton	32. 3,12	»
1666	Picard	32. 8, 8	»
1673	Flamsteed	32.11,08	»
1684	Cassini	32. 7,08	»
1719	Halley	32.10,09	»
1724	De Louville	32. 4,16	4",0
1758	La Caille	32. 6,16	»
1760	De Lalande	32. 2,10	4,1
1764	Id.	32. 2,76	»
1761	Short	31.59,66	»
1769	Encke (1)	31.56,84	»
1750 á 1758	Le Verrier (2)	32. 3,68	»
»	Id. (3)	32. 0,02	»
1765 i 1766	Lindenau (4)	32. 3,10	5",82
1787 á 1798	Id.	31.59,54	»
1792 á 1793	{ Maskelyne (5)	31.59,40	»
	{ Piazzi	32. 2,38	»
1820 á 1828	Bessel	22. 1,80	»
1836 á 1847	Airy	32. 3,64	3",58
1853 á 1860	Id.	32. 2,65	2",63
1840 á 1860	Obs. de Madras	32. 3,67	»
1835 á 1848	Goujon de Paris	32. 4,02	»

Hè aquí una série de demostraciones al lado de las cuales figuran los nombres más ilustres que posee la ciencia, y sin embargo, á pesar de que cada valor ha

(1) De los pasos de Vénus.

(2) De las observaciones de Bradley, etc.

(3) Paso de Mercurio.

(4) Observaciones de Maskelyne.

(5) Observaciones simultáneas.

sido deducido de centenares de observaciones completas y de millares de contactos y pasos individuales, no hay concordancia en las unidades siquiera. Hasta en estos últimos años se ha hablado, y se habla, de correcciones en el valor del diámetro adoptado por el *Nautical Almanac* (1).

Estas variaciones son tanto más notables, cuanto que para la Luna los mismos observadores, sirviéndose de los mismos instrumentos, han encontrado una constancia casi absoluta en el diámetro medio:

De 1750 á 1752.....	934,95
En 1753, Bradley.....	934,37
En tiempo de Bliss.....	934,49
En la 1. ^a época de Maskelyne.	934,30
En la 2. ^a id. de id.....	933,80
De 1812 á 1829.....	934,33

Hay, pues, razon en preguntar de donde proviene tanta incertidumbre respecto al Sol, mientras que para nuestro satélite la concordancia es casi perfecta, no obstante ser para este mucho ménos comunes las mensuras y las observaciones más difíciles, bajo cierto aspecto.

No ignoramos que para el Sol hay ciertas circunstancias que aumentan la dificultad de las observaciones, circunstancias que no existen en el caso de la Luna. El calor del Sol desarregla los anteojos, puede dilatar irregularmente las placas de los retículos, pue-

(1) En 1847 se aumentó el diámetro solar en 1"84, y en 1870 se disminuyó en 0"60.

de tambien hacer que se incline el eje de rotacion del instrumento, etc. La agitacion del aire, mayor al medio dia, y el aspecto confuso del limbo solar, son tambien causas de error que no concurren en las observaciones de la Luna. Sea de esto lo que fuere, las discordancias entre los valores del diámetro solar no son por esto ménos enormes.

Preocupado de la magnitud de tales discordancias, aún en los trabajos de un mismo observador, clasificó Carlini los errores posibles en esta clase de observaciones y examinó sus respectivas influencias. Reducidos los errores á las siguientes categorías, hizo un considerable número de observaciones, á fin de apreciar la influencia de cada uno de ellos.

1.^a La densidad mayor ó menor del cristal de color empleado. Halló, con vidrios muy débiles, $2^m 22^s, 63$; con vidrios más fuertes, $2^m 22^s, 59$; diferencia $0'', 60$.

2.^a Abertura y aberracion de esfericidad de los objetivos. Con un objetivo de cuatro pulgadas, con toda la abertura, encontró $2^m 22^s, 68$; con la mitad de abertura, $2^m 22^s, 68$; diferencia, cero. Otro objetivo mayor dió el mismo valor para la diferencia; este resultado fué confirmado en tiempo de Arago por Goujon y otros más, en Paris. La irradiacion, pues, no tiene influencia.

3.^a El cambio de posicion del foco en estío y en invierno, resultante del cambio de longitud del tubo: es sabido que hay compensacion entre este elemento y la longitud focal de la lente; así Carlini no halló una diferencia de $0,1$ de segundo de arco.

4.^a Ampliacion. Haciéndola variar desde 70 á

120 veces, obtuvo $2^m 22^s, 77$ y $2^m 22^s, 76$: diferencia $0'', 45$.

5.^a Vista del observador. Los dos ojos de Carlini eran de muy distinta fuerza; observando alternativamente con cada uno de ellos aumentó, con el ojo derecho $2^m 22^s, 65$, con el izquierdo $2^m 22^s, 58$: diferencia $1'', 05$.

De su larga série de experimentos concluyó Carlini que todas estas causas no bastaban á explicar las divergencias observadas y que podian ser atribuidas siempre á una causa desconocida. Como una de las posibles, se ha citado el *estado de la atmósfera*; pero observaciones hechas por el P. Rosa, en Roma, en las mejores circunstancias, prueban que las diferencias persisten, no obstante las mejores condiciones de observacion. Queda aún una causa de error de mucha entidad, *la ecuacion personal de los observadores*. Esta tiene un valor importante; así, en la lista anterior se nota un exceso de $2'' 98$ en el valor hallado por el astrónomo italiano, sobre el encontrado por el astrónomo inglés, siendo las observaciones de la misma época. Del mismo modo, entre Maskelyne y De Cesaris se halla $C-M=+3'' 70$. Pero si esto debe tenerse en cuenta cuando se trata de diferentes observadores, no tiene importancia, como ha demostrado el P. Rosa en su trabajo, cuando las observaciones han sido hechas por una sola persona. No es posible comprender como puede variar la ecuacion, no solo al cabo de largo tiempo, sino periódicamente con las estaciones. Además, se vé que la ecuacion personal, muy considerable en conjunto, es mucho menor que cuando se refiere á observaciones simultáneas. Así, en general es

de $+ 2'',10$ entre Pond y Bessel; pero tratándose de los mismos días, es solo de $0'',87$. Y mientras que entre los observadores de Oxford y de Edimburgo se remonta de ordinario á $1'',89$, en las observaciones simultáneas no es más que de $0'',10$.

Resulta, pues, que aún atribuyendo á esta causa de error una parte considerable de las diferencias, queda aún bastante que explicar. Por esta causa invitamos á nuestro colega, el P. Rosa, á ocuparse de este problema y á hacer una série de observaciones meridianas cronográficas, á fin de buscar la razón de estas diferencias. Rogamos también á los observadores de Palermo nos presten su concurso, y el P. Rosa discutió con el mismo objeto las observaciones de Becker, hechas en Suiza, en el Observatorio de Neuchatel. Los resultados de estas investigaciones fueron que las diferencias, variables de un día para otro, ofrecían sin embargo una marcha semejante en las tres estaciones, durante los mismos días.

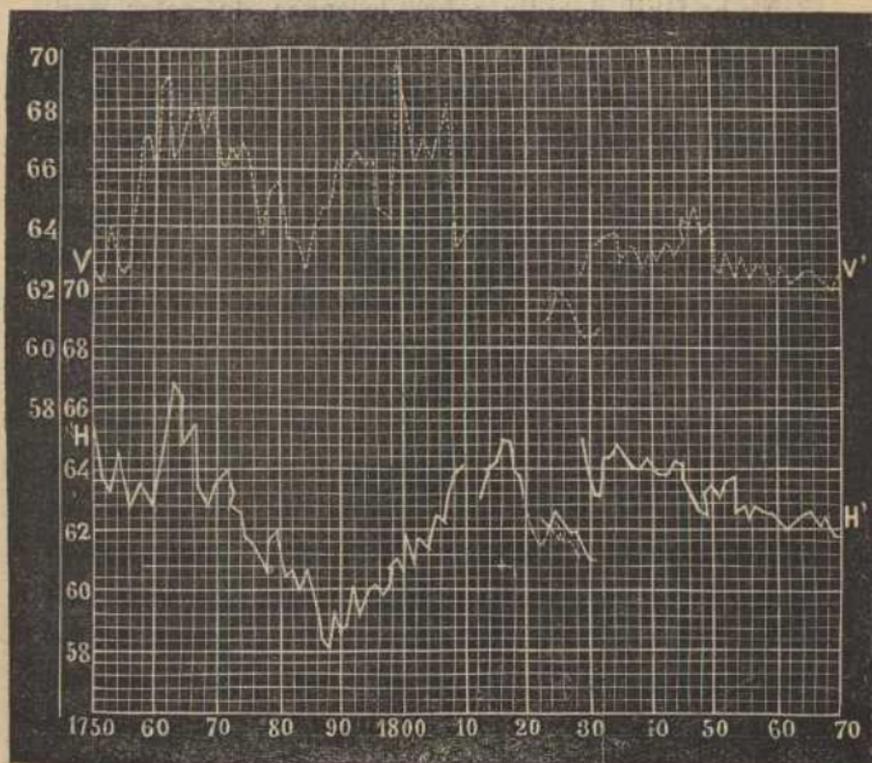
Este resultado fué mal acogido, y algunas personas doctas se esforzaron en presentarlo como efecto puramente de errores de observacion. Esto era bien fácil de decir, demasiado fácil! Para profundizar la cuestión, aunque con poca esperanza de convencer á los astrónomos, emprendió el P. Rosa la obra de discutir las observaciones de los astrónomos más distinguidos, vasto trabajo que la muerte le impidió terminar. En la parte histórica que nos ha dejado, (1) se hallan, sin embargo, conclusiones bastante importan-

(1) Studi intorno ai diametri solari. Roma 1873.

tes, que exponremos aquí para edificación de los astrónomos, sin creer, no obstante, que la cuestión esté resuelta, ni participar de todas las opiniones teóricas del autor.

4.ª) Discutiendo las observaciones de Greenwich desde 1750 á 1870, corrigiendo las de Bliss y comparándolas con las demas, resulta que el diámetro horizontal puede representarse por la curva H de la figura 42, y el diámetro vertical por la curva V. (1) El

Fig. 42.



(1) Las interrupciones de la curva y los saltos representan la discontinuidad de las diferentes series de observaciones empleadas.

exceso del diámetro vertical sobre el horizontal consta en las observaciones de Bouguer, Carlini y De Cesaris. Mossotti calculó la excentricidad del ovóide de esta época famosa, no sólo por las observaciones de Maskelyné, sino también por las de De Cesaris, y la encontró bastante perceptible; los valores hallados para $\frac{e^2}{2}$ fueron $-\frac{1}{355}$, $-\frac{1}{328}$ y $-\frac{1}{362}$; pero con el tiempo fué borrándose esta curiosa figura y los diámetros se igualaron.

No es fácil decidir sobre la causa de estas desigualdades. Cierto es que la manera diferente empleada en cada diámetro puede producir diferencias en el resultado de las mensuras; pero en tal caso, por qué no persisten las diferencias? Y sobre todo, por qué se le han presentado á Bouguer, que empleaba el heliómetro? De sentir es que no se haya extendido tanto como debiera el uso de este instrumento para la medida del diámetro solar, y que aún actualmente sean tan pocos los astrónomos que se ocupan de este problema.

Pero con bastante poca razón se ha buscado el origen de estas diferencias, de que nos ocupamos, en la distinta manera de hacer las observaciones; porque iguales resultados se han obtenido con una sesta clase de observaciones, ya sólo fuesen de pasos, ya de declinaciones. Nada hay en esto que deba sorprendernos. En efecto, como el ecuador solar está inclinado 26 grados próximamente sobre el ecuador celeste, resulta que en los pasos del diámetro solar por el meridiano se miden, durante el año, diámetros inclinados entre sí 52 grados. Ahora bien, tratando

Mossotti de representar por un elipsóide las observaciones de De Cesaris, halló el esferóide alargado, ovóide, de que ya hemos hablado.

En fin, si esto depende de la manera de observar, por qué no permanece constante? Para conocer la marcha del fenómeno, determinó el P. Rosa la fluctuacion del diámetro solar en las diversas épocas discutidas, y el resultado de su trabajo fué encontrar unas variaciones mensuales demasiado acentuadas para ser una ilusion; y sería dar una explicacion arbitraria á estos hechos, atribuirlos á simples errores de observacion.

La idea de una variacion mensual del diámetro parece á primera vista asaz singular, pero reflexionando en lo que acabamos de decir de las diferentes inclinaciones del diámetro solar observadas en distintos meses, se vé ésta perfectamente justificada. (1)

La variabilidad de estas fases con el tiempo y su falta actual, no constituyen una dificultad, porque pre-

(1) El medio usado para tomar la magnitud del diámetro solar y la probable falta de esfericidad perfecta en el Sol, pueden producir esa constante variacion á que el autor se refiere; porque en efecto, si la esfericidad no es perfecta, como el diámetro que se mide en un día corresponde á puntos distintos que los medidos en el anterior y en el siguiente, claro es que las tres magnitudes por término general no deben ser iguales, y que sus diferencias deben seguir una ley dependiente del movimiento y de la forma del Sol; esto sin tener en cuenta la posibilidad de los cambios reales de magnitud.

(N. del T).

cisamente es el hecho de la variación lo que se trata de sentar aquí. Y si la ley se hace diferente con el tiempo, podría explicarse esta circunstancia por la falta de perfecta elipticidad, ó por la no coincidencia del eje de rotación con el de figura.

Sin embargo, fácil es ver que al presente las desigualdades mensuales no han desaparecido completamente, no obstante que el cambio constante de los observadores de Greenwich debe eliminar el efecto de las ecuaciones personales.

En cuanto á la relación que pueda existir entre las variaciones del diámetro y el período de las manchas, parece que el período decenal no se encuentra en los diámetros, pero el largo período de 50 ó 60 años se halla bastante bien, aunque algo variado respecto á la época. Es notable que las fases de los diámetros parecen guardar una cierta relación con las desigualdades del perigeo solar descubiertas por La Verrier? Sería esto efecto de la excentricidad del centro de gravedad del Sol, con relación al centro de figura? En este asunto no se puede hacer más que plantear las cuestiones, dejando la resolución á la posteridad. En cuanto á las causas de estas variaciones, nos son absolutamente desconocidas.

Entre las variaciones del diámetro solar, una de las más importantes es la que se nota entre los valores obtenidos de los pasos meridianos y los que resultan de las observaciones de los eclipses. Desde el 1860, al observar en España el eclipse total, quedamos sorprendidos y preocupados de la viveza de la *Sierra roja*, que hoy llamamos *chromoesfera*. Nos pareció imposible que una capa tan brillante no tuviese influencia

sobre la magnitud del astro, apreciada por los anteojos, por más que estuviese por completo fuera del cuerpo solar. El color del vidrio empleado no debía ser indiferente, y en efecto, con un vidrio rojo hallamos un diámetro mayor en $1''{,}5$ que con un vidrio azul.

Quando conseguimos ver la imágen solar por medio de la combinación espectroscopista descrita anteriormente (página 29), intentamos con ella medir el diámetro solar, y encontramos una diferencia en ménos de 3 á 6 segundos. Se ha rechazado este resultado, porque las observaciones del Sr. Respighi no lo confirman. Esta circunstancia nos parece de fácil explicacion.

El Sr. Respighi ha hecho sus observaciones con un anteojó más pequeño, que daba ménos luz y una imágen la mitad más pequeña que la obtenida por nosotros, y para verla bien ha debido dar á su mira mayor abertura que nosotros damos á la nuestra. Ahora bien, el diámetro que se encuentra de esta manera, es la suma del diámetro de la imágen y de la abertura de la mira, y como esta abertura, en relacion con la imágen producida por el refractor, es mayor en los más pequeños, de aqui la necesidad de una correccion casi despreciable en nuestro instrumento, pero indispensable en el del Sr. Respighi. Ensanchando un poco la mira, nos hemos convencido de la absoluta necesidad de esta correccion.

Pero la cuestion era demasiado importante para dejarla pendiente, tanto más quanto que las observaciones de los eclipses solares y la del paso de Vénus hecha al espectróscopo por el Sr. Tacchini, daban por resultado un diámetro menor. Resolvimos, pues, reu-

nirnos en Palermo para hacer observaciones comparativas por distintos medios. Tuvimos la fortuna de obtener la cooperacion de dos astrónomos distinguidos, los Sres. Dorna, de Turin, y Rayet, de París (1), y las observaciones comenzaron por mil métodos heliospectroscópicos, pero el calor solar muy intenso en la purísima atmósfera de Palermo, ablandando las pegaduras de los prismas, nos obligó bien pronto á suspender los trabajos. Continuaron, sin embargo, siguiendo un procedimiento más sencillo, inventado por el Sr. Tacchini, que consiste en notar la entrada y salida del limbo solar en las rayas longitudinales producidas en el espectro por las partículas de polvo caídas accidentalmente sobre la mira. En el empleo de este método hay precision absoluta de sostener la mira constantemente sobre el diámetro central, no obstante el movimiento del Sol en declinacion; así cuidamos de hacerlo siempre rigurosamente.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

1.º El semi-diámetro meridiano es mayor que el espectroscópico, observado el mismo dia, $0^s,124$; ó lo que es lo mismo, el diámetro medido por el segundo procedimiento es menor que por el primero, $3'',72$. En el paso de Vénus halló Tacchini una diferencia de $8'',66$. Ninguna observacion espectroscópica comparada con las meridianas, presenta diferencia en sentido contrario, no obstante la pequeñez del valor encontrado.

(1) Véanse las Memorie della Societá spettroscopica italiana. Vol. IV, pág. 113.

2.º Por el contrario, si se comparan los valores obtenidos al señalado en el *Nautical Almanac*, se hallan diferencias, ya en sentido positivo, ya en el negativo. Como *The Nautical Almanac* admite un diámetro constante, esto probaba que en el intervalo de las observaciones el disco solar habria variado ligeramente. La variedad de los observadores nos ponía á cubierto de la influencia de las ecuaciones personales.

3.º El cronógrafo es indispensable en estas observaciones, y la concordancia en las mensuras espectroscópicas es mayor que en las meridianas ordinarias, de tal modo que el Sr. Tacchini propuso instituir un sistema de observaciones espectroscópicas.

4.º El estado de la atmósfera, perturbada por la bruma ó por el viento sur (sirocco), tiene gran influencia sobre los resultados, como es fácil comprender; sin embargo, aún en estos casos las divergencias son más sensibles en los pasos meridianos que en los espectroscópicos.

Todos los hechos expuestos en este capítulo distan mucho, á nuestro parecer, de apurar la cuestion; sin embargo prueban que no habiamos emitido ligeramente nuestras dudas. Las personas doctas comprenderán que un asunto estudiado cuidadosamente por los Lindenau, los Mossotti, los De Cesaris, los Bessel, los Le Verrier, etc., ni es fácil de resolver *á priori*, ni tomando unas medias cualesquiera. Las medias nada prueban; con ellas se podria demostrar que no hay invierno ni estío, porque las fluctuaciones de temperatura de un año para otro son mínimas. Y lo mismo ocurre en este caso; este es un asunto de detalles, y es preciso comparar las observaciones una á una y estu-

diar su marcha. Así, por ejemplo, el bello trabajo de Newcomb, mediante el cual ha encontrado que las observaciones de un mismo día hechas en Greenwich y en Washington, difieren sólo en una fracción de segundo, prueban solamente lo que ya hemos dicho, que las diferencias desaparecen en las observaciones simultáneas, y como consecuencia, que las diferencias residuales, en las observaciones no simultáneas, son efectivas.

No nos lisonjemos de haber hecho más que plantear la cuestión, y no esperamos verla resuelta inmediatamente en esta época de preocupaciones contrarias. Si los astrónomos antiguos se vieron tan embarazados con esta cuestión, fué porque no conocían bastante la naturaleza del Sol para poder suponerlo variable; pero habiendo sentado ya la ciencia moderna que la constitución de este astro no es incompatible con las variaciones, hay desde ahora un obstáculo ménos para la definitiva resolución del problema. Este asunto es de gran interés, no sólo para la física solar, sino también para la astronomía de precisión; porque una separación de los centros de gravedad y de figura podría ser fundamento de irregularidades considerables en la posición de la eclíptica y en los elementos de la órbita solar.

§ V. CONCLUSIONES GENERALES.

El gran número de hechos y consideraciones que hemos expuesto prolijamente, pueden reasumirse del siguiente modo:

1.º Las manchas, las fáculas, las erupciones y las protuberancias son fenómenos dependientes de la actividad interior del Sol; estan, pues, más ó ménos íntimamente ligados entre sí, y son la representacion de vastas perturbaciones interiores, que se manifiestan por erupciones y grandes agitaciones de la fotosfera. La region oscura que constituye el núcleo de las manchas, no obstante su notabilísima estructura, no es más que un fenómeno secundario en la crisis general, y es producida por la accion absorbente, debida á los vapores eruptivos interpuestos entre la fotosfera y el observador.

2.º La actividad solar no se manifiesta igualmente sobre toda la superficie del astro, habiendo dos máximos constantes, uno á cada lado del ecuador, entre los 10 y 30 grados de latitud. En estas regiones se presentan principalmente las manchas y las erupciones metálicas propiamente tales. Las zonas de las manchas y de las protuberancias tienen un movimiento de transporte, á largo período, en direccion á los polos. Parece que toda la masa solar está en una circulacion gigantesca: una mitad del volúmen, desde $+30^\circ$ á -30° de latitud, formando una enorme columna ascendente, y la otra mitad, que comprende los polos, la contracorriente descendente. Sin embargo, los pormenores de esta circulacion son bastante complicados.

3.º Más allá de la zona principal hay otra en la cual las manchas y las erupciones se presentan con intermitencia; sus límites varían con la actividad solar, extendiéndose á veces hasta los polos, presentando entonces un máximo de los 60 á los 70 grados

de latitud. En esta misma region cambia bruscamente (1) de altura la atmósfera solar, como sabemos por los eclipses totales. Algunas veces desciende más esta zona, y el máximo parece detenerse á los 45 grados de latitud. Estas variaciones no han sido aún estudiadas con la necesaria insistencia para enumerar sus leyes; solamente está probado que en esta zona no se encuentran jamas esas erupciones metálicas tan notables que son frecuentes en las regiones ecuatoriales.

Las erupciones metálicas no pueden explicarse por simples movimientos de la capa que invierte las rayas del espectro; porque es muy delgada, aunque sea más gruesa en el ecuador que en el polo. Si se admiten los torbellinos en la fotosfera solar, no hay motivo suficiente para negar las erupciones. Los torbellinos excitados en las regiones superiores de la atmósfera solar, podran imitar las erupciones por su fuerza aspirante; pero, en general, reconocen como causa una fuerza impulsiva actuando de abajo á arriba.

El brillo especial de la fácula puede ser resultado de dos causas: puede provenir de un levantamiento local de la fotosfera, bastante á sobresalir de la capa absorbente, y tambien puede producirse por la sustitucion de la misma con el hidrógeno acumulado sobre los surtidores que lo emiten.

El Sol no tiene la misma actividad siempre en todos los meridianos. Las regiones más activas conser-

(1) Más bien que un cambio de altura es un máximo, como se indica despues.

van durante bastante tiempo la misma longitud. Las fáculas y las erupciones están desigualmente distribuidas sobre la superficie del globo; si pudiéramos apreciar fácilmente estas diferencias, nos presentaría el disco solar un aspecto comparable al de la Luna; veríamos las partes más brillantes, que al llegar al contorno dan origen á numerosas erupciones, y tambien las ménos luminosas, que al mismo tiempo son tambien más pobres en protuberancias.

Nada hay que pruebe la perfecta invariabilidad del diámetro solar; al contrario, las observaciones son favorables á la existencia de la variacion secular de sus dimensiones, y tambien á otra variacion en corto periodo. Las regiones de las fáculas y de la manchas parecen sujetas principalmente á estas variaciones. La perfecta esfericidad del Sol no está probada; ántes bien parece que ciertas irregularidades en las regiones y épocas de máxima agitacion de la fotosfera han sido suficientemente comprobadas.

Tales son las principales conclusiones que podemos fundar sobre una série de observaciones, única y demasiado corta. No las consideramos, pues, como generales y definitivas; sólo las ofrecemos como una muestra de lo que puede esperarse si se estudia con constancia esta nueva rama que designamos por nuestro gusto con el nombre de *Meteorología solar*.

LIBRO SEXTO.

Temperatura del Sol.

CAPÍTULO PRIMERO.

Valuacion de la temperatura del Sol.

§ I. INTRODUCCION.

Entramos ahora en una cuestion difícil, sobre la cual en estos últimos tiempos se han emitido las más contradictorias opiniones. Las dificultades que presenta son tantas y tan grandes, que parece imposible llegar á una apreciacion racional. Sin embargo, estas mismas discusiones constituyen por sí mismas un verdadero progreso, y por nuestra parte sentimos una verdadera satisfaccion, al ver que las afirmaciones contenidas en la primera edicion de esta obra han servido para que algunas personas competentes se decidiesen á hacer ciertas investigaciones, que sin resolver aún el problema, lo esclarecen y lo hacen avanzar de un modo verdadero.

A primera vista parece cosa fácil determinar la

temperatura del Sol; pero á poco que se reflexione, se reconocerá que tal empresa ofrece gravísimas dificultades. Porque, en efecto, no basta exponer un termómetro al Sol y, leyendo en este el número de grados, aumentarlo proporcionalmente al cuadrado de la distancia; porque 1.º el número observado es relativo á nuestro cero convencional, como correspondiente á la temperatura del hielo fundente, y no tiene ninguna relacione on el cero absoluto marcado por los físicos á los 273º 6; 2.º las radiaciones solares llegan hasta nosotros á través de la atmósfera, y sufren á su paso una absorcion que es necesario tener en cuenta; las investigaciones hechas con este objeto prueban que nuestra atmósfera absorbe la cuarta parte de las radiaciones que el Sol nos envía en el sentido de la vertical, y respecto á las que llegan oblicuamente, la absorcion aumenta con la secante de la distancia zenital; y 3.º, ademas de la radiacion solar, el termómetro expuesto recibe las radiaciones de los cuerpos que lo rodean, circunstancia que complica notablemente el problema; de tal modo, que dos termómetros iguales expuestos al Sol á la misma hora y en el mismo punto, dan indicaciones muy diferentes segun la naturaleza, disposicion y distancia de los cuerpos inmediatos.

Para determinar la temperatura del Sol es preciso conocer: 1.º la intensidad de la radiacion; 2.º la cantidad absoluta de fuerza viva térmica que el Sol comunica á la Tierra en un tiempo conocido. Vamos, pues, á mostrar como pueden valuarse estos elementos, y despues sacaremos las consecuencias relativas á la constitucion física del Sol y á la conservacion de su

energía. Pero ántes de entrar en estas investigaciones, creemos conveniente exponer algunas consideraciones teóricas.

La teoría mecánica del calor ha llevado á los físicos á admitir que la temperatura de los cuerpos es directamente proporcional á la fuerza viva que posee cada molécula, é inversamente proporcional á otra cantidad dependiente del trabajo que estas mismas moléculas deben efectuar para resistir á la atracción molecular y á la presión exterior. Si el cuerpo es gaseoso, la atracción molecular es sensiblemente nula; á las moléculas pueden sustituirse los pesos atómicos, y el resultado de esta teoría concuerda perfectamente con todos los hechos conocidos.

«Si se considera el calor, dice Clausius, como un movimiento vibratorio de las últimas partículas materiales de los cuerpos, y si se considera la temperatura como medida de la *fuerza viva* de las moléculas, se reconoce que la *fuerza activa* del calor es proporcional á la temperatura absoluta. Además, el trabajo mecánico que puede realizar el calor cuando pasa de un cuerpo á otro, es proporcional á la temperatura absoluta á que se verifica el paso.» (1)

(1) *Sitzungsberichte der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur und Heilkunde*. Bonn, 7 noviembre 1870. Véase también Brusotti. *Atti della S. I. di Milano* 1873.

Se llama temperatura absoluta á la que se aprecia á partir del punto de la escala del centígrado en que estuviere marcado el núm.º 273.

T. Este valor, cuya determinación deja algo que

Esta misma fuerza viva molecular de los cuerpos, comunicándose al medio etéreo, por el cual las vibraciones se propagan á distancia, es la que produce lo que llamamos *radiaciones*.

En los cuerpos accesibles medimos la fuerza viva térmica por el trabajo de dilatacion que hace en otro cuerpo llamado *Termómetro*, cuyas indicaciones estan de antemano referidas á las que, en iguales circunstancias, ofreceria un termómetro de aire. Pero cuando el cuerpo es inaccesible, cuando está fuera de nuestra accion directa, entonces este método es impracticable, y sólo podemos en tal caso apreciar la temperatura por la radiacion térmica y por los efectos que produce, lo que hace mucho más complicado el problema.

Desde luego, si el cuerpo no es gaseoso, no es posible dejar de tener en cuenta las acciones moleculares, y es preciso tener presente el segundo factor de que hemos hablado; y en este caso, el poder emisor depende no solamente de la temperatura, sino tambien del estado molecular de la superficie y aún de la agrupacion de los átomos, si es compuesto. Tal es la teoría admitida por los físicos, teoría confirmada por la experiencia, siempre que ha sido posible verificarla.

Respecto á los gases, mientras están sometidos á una presion poco diferente de la que sufren en nuestra atmósfera, su poder radiante es muy débil, pero

desear, reconoce como fundamento experimental los trabajos de Regnaul, segun los cuales el coeficiente de di-

latacion de los gases perfectos es $\frac{1}{273}$.

llega á ser muy enérgico cuando se hallan sometidos á presiones considerables. Así, Soret no pudo obtener indicacion de radiacion térmica quemando á la presion atmosférica la mezcla de gas oxihídrico, no obstante poseer la llama una temperatura muy elevada, mientras Cailletet consiguió iluminar perfectamente un vasto laboratorio haciendo pasar una chispa de algunos milímetros á través de un gas comprimido á 80 atmósferas.

Los gases elevados á alta temperatura no pueden, pues, llegar á ser incandescentes, y por consecuencia iluminantes, si no están enérgicamente comprimidos. Puede obtenerse un resultado análogo, conservando la presion ordinaria é introduciendo algunas partículas sólidas; tal es el papel que desempeñan los óxidos metálicos, cal, magnésia, zircona, etc., en el alumbrado oxihídrico; pero en estos casos debe notarse que los gases no están incandescentes; sólo por contacto elevan la temperatura del sólido y lo llevan al estado de incandescencia.

Ordinariamente se atribuye el poder luminoso de las llamas á las partículas sólidas que estan en suspension en la sustancia gaseosa. Si verdaderamente es así, es preciso admitir que estas partículas sólidas son transparentes, porque es sabido de antiguo que los gases son igualmente transparentes cuando son oscuros á la temperatura ordinaria, y cuando la combustion los hace luminosos. Este hecho ha sido confirmado por los experimentos de Hirn. «Es preciso convenir, dice este fisico, en que la mayor parte de las sustancias sólidas se hacen transparentes cuando se hallan en suspension en una llama; así ocurre con los óxidos

metálicos usados en los fuegos artificiales, etc. Esta ley no es, con todo, completamente general.»

De cuanto llevamos dicho debemos inferir que *la incandescencia no presupone necesariamente la existencia de partículas sólidas y opacas*. De aquí resulta gran incertidumbre en la teoría de la radiación solar.

Pero aún encierra el problema una dificultad más grave. Para remontarse desde la radiación del cuerpo al conocimiento de la temperatura que posee, es necesario conocer la ley que liga ámbos fenómenos, y los sábios están léjos de hallarse de acuerdo sobre este punto. Unos, opinando como Newton, creen que la radiación es simplemente proporcional á la temperatura, y otros, con Dulong y Petit, opinan que crece en progresion geométrica cuando la temperatura crece en progresion aritmética. Debe haber, pues, una enorme diferencia en los resultados, segun que se adopte una ú otra teoría; y esto es precisamente lo que pronto veremos. (1)

Sentados estos principios, vamos á explicar y discutir minuciosamente los métodos empleados para determinar la temperatura solar.

(1) Hace ya bastantes años que el que escribe estas tuvo el honor de trabajar, como ayudante, en una série de experimentos emprendidos por un distinguido profesor, con objeto de esclarecer las leyes del enfriamiento teniendo en cuenta el poder emisor. El método adoptado exigia una cantidad de experimentos asaz grande, y el número y variedad de aparatos proyectados superó pronto los exiguos medios con que contaba el establecimiento oficial en que se hacian los trabajos. Otras difi-

§ II. MENSURA DE LA RADIACION SOLAR.

El primero que intentó determinar la temperatura del Sol, midiendo su radiación, fué Newton. Se proponía hallar la temperatura á que habia debido llegar el cometa de 1860. Para esto expuso al Sol un termómetro cubierto de una ligera capa de tierra, y halló que la temperatura se elevaba á $65^{\circ},56$ C. mientras que á la sombra era sólo de $29^{\circ},44$. Aplicando despues la ley del cuadrado de las distancias, concluyó que un cuerpo colocado en la superficie del Sol tendria una temperatura de 4.669,300 grados C. En 1846 repetimos en Roma el experimento de Newton, y hallamos próximamente el mismo resultado: el aire exterior estaba á $34^{\circ},3$, y el termómetro expuesto al Sol marcaba $65^{\circ},3$.

Pero este experimento no es concluyente, ni puede servir de base á ningun cálculo sério; porque la temperatura de un termómetro puesto en tales condiciones depende, no sólo de la radiacion solar, sino tambien de la influencia ejercida por los cuerpos inme-

cultades análogas se unieron despues á las ya indicadas, y la vasta concepcion del profesor quedó estéril, retrasando quizá por algun tiempo la resolucion de importantes problemas. Al consignar el hecho referido en las líneas anteriores, no tengo más objeto que hacer resaltar una verdad sobrado acreditada por desgracia. Si no progresan entre nosotros las ciencias físicas, es debido, no á la incuria de los que las cultivan, sino á la miseria en que viven los centros científicos.—(N. del T).

diatos: de este modo los resultados varían de un día para otro.

Cuando un termómetro está expuesto al Sol (1), los cuerpos que le rodean radian sobre él, y se establece de este modo un cambio de radiaciones entre el termómetro y el recinto en que se encuentra, radiando todos los cuerpos unos sobre otros. Cuando está establecido el equilibrio, la intensidad relativa de las temperaturas que poseen las partes radiantes, debe estar en razón inversa de la superficie de estas mismas diferentes partes del recinto, estimándose la superficie según su magnitud angular vista desde el cuerpo que recibe las radiaciones. Así, suponiendo que un recinto Σ tenga sobre el termómetro un exceso de temperatura θ , y que una parte de este mismo recinto de superficie S , tenga también un exceso T , se tendrá en el caso de equilibrio, la siguiente ecuación, siempre que S sea despreciable con relación á Σ

$$T S = \Sigma \theta \quad \text{ó} \quad T = \theta \frac{\Sigma}{S}.$$

Admitida esta teoría, fácil es determinar la radiación solar tomando por unidad los grados arbitrarios del termómetro. Para esto se expondrá un termómetro á los rayos solares en un recinto de temperatura conocida, y una vez establecido el equilibrio, se hallará la diferencia entre la temperatura del recinto y la señalada por el termómetro, lo que dará $t - t' = \theta$; después se multiplicará este valor por la relación que

(1) Y siempre, según la teoría del equilibrio móvil de temperatura.—(N. del T).

existe entre la superficie de la esfera y la aparente del Sol. Ahora bien, como el diámetro medio solar es de $32'3''{,}6$ se halla la relacion $\frac{\Sigma}{S} = 483.960$, la cual muestra que puede despreciarse la extension del disco con relacion á la superficie total de la esfera, y por lo tanto que $T=436.960 \theta$.

El aparato empleado por nosotros, en Roma, para determinar el valor $(t-t')$, es semejante al usado por Waterston en la India, y al que ha servido últimamente á Soret en el Monte Blanco. Consiste en dos cilindros concéntricos unidos por dos coronas, formando una especie de caldera de hogar interior, cuya capacidad anular puede llenarse de agua ó aceite á una temperatura cualquiera, y aun es posible calentár el aparato por medio de una circulacion de vapor, y como es natural, el vapor puede reemplazarse con aire caliente. Un termómetro, atravesando, por medio de un tubo de cauchuc, el espacio anular, penetra hasta el interior del aparato y recibe los rayos solares, que entran por una abertura, poco mayor que la bola del termómetro, abierta en un diafragma que cubre uno de los extremos de la caldera. En el otro extremo hay un vidrio grueso, que cierra el aparato y permite juzgar de la posicion del termómetro. La bola de éste, así como la cara interna del cilindro menor, están cubiertas de negro de humo, y ademas, en el espacio anular entra otro termómetro, que señala la temperatura del recinto, entendiendo por tal el flúido que ocupa la caldera. Todo el aparato está sujeto á una montura animada de un movimiento paraláctico, con el fin de poder seguir con más facilidad el movimien-

to diurno del Sol. Violle ha modificado recientemente el aparato, dando á la capacidad interior la forma esférica.

Dispuesto así el aparato y expuesto al Sol, como ya hemos dicho, se nota la variacion que ámbos termómetros van sufriendo, y al cabo de algun tiempo concluye por manifestarse una diferencia constante de temperatura. El valor de la misma $t-t'=e$ es el número que se introduce en la ecuacion que ya hemos citado.

Este aparato ha sido enérgicamente criticado por Ericson, encontrándole los siguientes defectos:

1.º La temperatura del recinto no puede conocerse exactamente por medio de un sólo termómetro, debiera emplearse un procedimiento más vigoroso. Para corregir este defecto debiera hacerse uso de una circulacion, en vez de dejar al líquido permanecer en la caldera. Este proceder es excelente, y Violle y Sorret lo han adoptado. Esto no obstante, no lo creemos absolutamente indispensable, porque usándose solamente la diferencia de temperaturas, prolongando el experimento, permanece aquella constante horas enteras.

2.º No estando expuestos los termómetros á la radiacion solar más que por una cara, cree Ericson que no deben llegar á establecer un equilibrio en todas sus partes, y así asegura haber obtenido resultados muy diferentes, segun los termómetros usados. Creemos que en esto hay exageracion. Es posible encontrar resultados divergentes cuando no se dá al experimento la duracion necesaria, pero entonces aparecen las diferencias aún sin variar de termómetro. Cuando

se opera sin prisa y se deja al instrumento expuesto al Sol largo tiempo, y al abrigo de toda otra radiacion, por medio del diafragma de que hemos hablado, precaucion que parece no tener en cuenta Ericson, los resultados presentan gran regularidad, y las anomalias, citadas por este ilustre fisico, no han sido nunca observadas ni por Soret ni por nosotros. Por nuestra parte, hemos hecho uso de termómetros diversos, y las diferencias observadas con ellos son del mismo orden que las halladas de un dia para otro, usando el mismo instrumento. Ericson ha probado, ademas, que las dimensiones del aparato no tienen influencia sobre los resultados, y ha sustituido el termómetro con un pequeño recipiente de cobre lleno de agua mantenida en constante agitacion. Por lo demas, admitiendo que esta critica esté fuera de toda objecion, seria preciso convenir en que el termoheliómetro dá un resultado muy bajo y vamos á ver que, sin embargo, se le acusa de atribuir al Sol una temperatura extravagante!

Hé aquí los resultados obtenidos empleando diferentes termómetros y tomando las precauciones indicadas:

1.º En gran número de observaciones hechas en Roma, bajo la presion media de 758 milímetros, á 52 metros sobre el nivel del mar, la diferencia de temperaturas fué de $42^{\circ},06$. Cuando la atmósfera estaba muy pura se elevaba á 44° .

2.º La diferencia permanece constante, sea cualquiera la temperatura del recinto, de modo que para $t'=0$, se tiene $t=42^{\circ},06$; y para $t'=60^{\circ}$, $t=72^{\circ},06$. Este resultado puede parecer sorprendente, pero nosotros lo

hemos comprobado cuidadosamente desde cero á 64 grados; Waterston ha obtenido lo mismo, llegando hasta 320° por medio de la circulacion de aire caliente en su aparato. El resultado teórico de este hecho, es que la superficie del disco solar es despreciable en comparacion de la superficie de la esfera. Violle asegura que no ha encontrado la misma constancia. Dependerá esto de alguna particularidad de su aparato?

3.º Las observaciones hechas cerca del meridiano difieren de una estacion á otra bastante ménos de lo que podria esperarse: la media de invierno oscila entre 11°,5 y 12°, mientras que en verano se halla entre 12°,5 y 14°. Esta diferencia es muy pequeña si se tiene en cuenta que la altura del Sol varía de una estacion á otra en 47 grados. Pero hay un hecho más importante; si en verano se hace la observacion cuando la altura del Sol no pasa de 27 á 30 grados, la diferencia entre ámbas temperaturas no pasa de 6°. Hay, pues, una causa que modifica la trasmision de los rayos caloríficos con las estaciones, porque la altura señalada es precisamente la que el Sol alcanza en el meridiano durante el invierno. La causa en cuestion es manifiestamente el vapor de agua, mucho más abundante en estio que en invierno, y que á la altura ya dicha produce por sí sólo tanto efecto en verano como toda la atmósfera en invierno. Por lo demas, esta explicacion está de acuerdo en un todo con los experimentos de Tyndall y con los del profesor Garibaldi, de Génova, sobre el poder absorbente del vapor de agua.

4.º Operando á mayor altura sobre el nivel del mar, se obtienen mayores diferencias. Asi, en Gine-

bra ha encontrado Soret, en una altura de 400 metros, el valor medio $\theta=15^{\circ},5$; 250 metros, $18^{\circ},6$; y en la cima del Monte Blanco, á 4800 metros, $21^{\circ},13$; Waterson, por su parte, en la India, estando el Sol 70 grados sobre el horizonte, encontró $\theta=27^{\circ},8$; Violle, últimamente, ha obtenido en el Monte Blanco, en un dia de calma, estando á uno bajo cero el aire ambiente y á cero el recinto, un valor de $18^{\circ},2$ para el termómetro interior.

Como se vé, cuando intentan los físicos valuar la radiacion solar, surgen dificultades sin cuento, y cuando de las radiaciones intentan pasar á la temperatura, redoblan las dificultades. Asi, pues, no trataremos de expresar la temperatura solar en números exactos, limitándonos solamente á los menores valores que pueda atribuirsele, con lo cual consideramos el problema lo bastante resuelto.

Si queremos ahora pasar del valor de la radiacion θ al de la temperatura, tendremos que elegir entre las dos teorías rivales indicadas anteriormente. Siguiendo la hipótesis de Newton, tenemos $T=\theta \frac{\Sigma}{S} \theta \times 183.960$. Adoptando el mayor valor de θ hallado por Soret sobre el Monte Blanco, $\theta=21^{\circ},13$, la temperatura del Sol será $T=21^{\circ},13 \times 183.960=3.987.075^{\circ}$, es decir, unos cuatro millones de grados; pero el valor de θ es evidentemente pequeño, porque debe tenerse en cuenta la absorcion atmosférica. Aplicando para esto las fórmulas conocidas, se halla que es preciso aumentar al número de Soret $7^{\circ},89$, y en tal caso $\theta=29^{\circ},02$ y $T=5.224.840^{\circ}$, ó sea, en números redondos á cinco millones y un tercio de grado. Con el valor

hallado por Violle $T=3.348.072^{\circ}$, sin la correccion debida á la absorcion atmosférica.

Tal sería la temperatura de un cuerpo situado en la superficie del Sol. Debemos advertir, sin embargo, que el efecto producido en nuestros instrumentos por las radiaciones solares, no es resultado solamente de la accion de la capa radiante situada en la misma superficie del astro; porque si la sustancia de que se compone goza de cierta transparencia, la accion de otros estratos más profundos debe unirse á la ejercida por la superficie, y el resultado debe ser la suma de las radiaciones parciales. Si conociésemos en qué grado es transparente la materia solar, no sería difícil calcular su temperatura; pero la ignorancia en que nos hallamos respecto á este punto, nos impide dar un paso. Hay, no obstante, dos cosas que podemos afirmar sobre el asunto:

1.^a La transparencia de las masas solares no solamente no es absoluta, sino que es imperfectísima. Sabemos, en efecto, que las corrientes solares se ocultan unas á otras en los puntos de interseccion; los puentes que atraviesan las manchas impiden igualmente ver los bordes de las penumbras situadas bajo de ellos. Hirn ha probado que las llamas son transparentes; pero considera que no debe atribuirse á los vapores metálicos una transparencia absoluta, y él mismo ha confirmado la opacidad del vapor de magnésio durante la combustion. Además, los vapores metálicos, que se encuentran en el Sol, poseen la absorcion electiva, puesta en evidencia por las observaciones espectrales; prueba de no ser absoluta su transparencia. Lo mismo ocurre con el hidrógeno de las protuberancias: cuando

dos venas se cruzan, no hay mayor brillo en el punto de interseccion, como debiera ocurrir si las radiaciones de una fuesen reforzadas por las de la otra; se ocultan realmente como cuerpos opacos. De todo lo cual debemos inferir que la transparencia de las capas superficiales del Sol es muy débil, y por consecuencia, que la temperatura señalada por nuestro cálculo no debe estar muy léjos de la verdad (1).

2.^a Aún admitiendo que las indicaciones de nuestro termómetro resulten de la accion combinada de varias capas transparentes, no es ménos cierto que la temperatura hallada sería la de un termómetro situado en la superficie del Sol, y por consecuencia, aún en esta hipótesis, nuestro cálculo sería racional.

Si se desea partir del cero absoluto, hay precision de añadir 273 grados al número encontrado; modificacion que, como se vé, no tiene importancia.

Si se partiese del valor $\theta = 27^\circ$, hallado por Waterston en la India, se llegaria á una temperatura mucho más alta, teniendo en cuenta la absorcion atmosférica. Segun la opinion de este señor, la temperatura del Sol debe encontrarse entre nueve y diez millones de grados.

(1) En las consideraciones anteriores prescinde el autor de la diferencia entre transparencia y diatermancia, y aunque indirectamente puede aplicarse algo de la una á la otra, mucha parte de la fuerza del argumento está destruida por el hecho de no ser iguales, ni aún proporcionales en las diversas sustancias. El lector observará tambien que el ejemplo referente al hidrógeno es consecuencia de la ley de Kirchhoff, y aplicable sólo á la luz, hasta hoy dia.—(N. del T).

Para dar una idea del estado térmico del Sol, no haremos más que una reflexión. Teniendo en cuenta solamente la distancia, la temperatura solar es 46.215 veces más alta que la que un cuerpo puede alcanzar en la superficie de la Tierra; y suponiendo, como término medio, que esta temperatura sea de 22° , tendremos sin más elementos una temperatura solar de $4.046,730^{\circ}$. Para producir el mismo efecto, necesitaríamos concentrar sobre un centímetro cuadrado los rayos que caen sobre una superficie de $4^m,6$. Ahora bien, las lentes en escalones, que no tienen más de un metro de superficie y absorben muchos rayos, son capaces de volatilizar la mayor parte de las sustancias conocidas. Júzguese por esto los efectos que puede producir la temperatura solar.

§ III. DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR OTROS FÍSICOS.

Los resultados expuestos en el párrafo precedente, han parecido tan extraordinariamente grandes, que muchas personas no han vacilado en calificarlos de absurdos; y como no era posible dudar de la exactitud de los experimentos que les sirven de base, ha caído la censura sobre la ley de Newton, declarada falsa, al ménos en la aplicación al caso actual. Vicaire ha preferido servirse de la ley de Petit y Dulong, y tomando como base el valor adoptado por nosotros $\theta = 29^{\circ},02$, ha encontrado que la temperatura del Sol debe ser $4,390^{\circ}$ C. Este valor es con corta diferencia igual al hallado

por Pouillet, partiendo de la misma ley; y es tan poco elevado, que precisamente por eso mismo creíamos nosotros deber rechazarlo. Esta temperatura es poco mayor de la necesaria para hacer entrar en fusion al hierro colado, y como nos parecia imposible admitir una valuacion tan baja, consideramos como falso el método que la produce (1).

Ericson ha estudiado este asunto con gran esmero, y se ha servido de instrumentos de su invencion para determinar el valor de la radiacion solar; estando la Tierra en su afelio, ha encontrado $84^{\circ},84$ F, ó sea, $47^{\circ},43$ C. Este número es mucho más alto que todos los hallados en nuestros experimentos, y creemos lo más acertado en esta cuestion referirse al máximo. A fin de que no se nos pudiese acusar de exageracion, habíamos tomado la media de nuestros diversos resultados. Multiplicando Ericson el número $47,43$ por la relacion inversa del cuadrado de las distancias, ha encontrado para la temperatura de la fotosfera $2.230.000^{\circ}$ C. Despues, queriendo tener en cuenta la absorcion de la cromoesfera, añadió una correccion, á nuestro juicio muy pequeña, y obtuvo, como valor definitivo, $2.290.000^{\circ}$ C. Este valor es la mitad más

(1) La diferencia entre los métodos de cálculo correspondientes á cada una de las teorías es la siguiente. Siendo t la temperatura del termómetro expuesto á la radiacion, y t' la del recinto, se tiene, segun Newton, $t-t'=\alpha T$, mientras, segun Dulong y Petit, $a^t - a^{t'} = \alpha a^T$; en estas ecuaciones $\alpha = 10.077$ y $\alpha = \frac{1}{183960}$.

pequeño que el nuestro, pero es bastante mayor que aquel en que Vicaire creyó deber fijarse.

Zöllner ha empleado un método absolutamente distinto para resolver la misma cuestión. Ha procurado determinar la temperatura del Sol, partiendo de la velocidad con que son lanzados los gases que constituyen las protuberancias (1). Supone que estos gases salen del interior del globo solar por orificios practicados en una capa líquida ó sólida, y que su movimiento está determinado por una presión de 407.000 atmósferas. La conclusión de todo esto es que la temperatura de los gases debe ser á lo ménos de 27.700 grados; en el orificio de salida la temperatura debe ser mucho mayor: llegando á 68.400° para una protuberancia que tenga una altura de 1'30", y á 74,910 si alcanzase á 3 minutos.

Los físicos franceses, en su mayoría, creen que la temperatura del Sol debe estar comprendida entre 2.000 y 5.000 grados. Segun Fizeau, es cosa de dos y media veces la temperatura del arco voltaico. H. Sainte-Claire Deville admite que no excede mucho á la correspondiente á las disociaciones de los compuestos químicos. El valor dado por Zöllner es ocho veces mayor que la temperatura de la llama oxihídrica.

(1) Es sabido que la velocidad de salida de un gas al vacío varía con la temperatura, supuesta constante la naturaleza del gas; conocida esta velocidad, es fácil hallar la temperatura correspondiente, pero en el caso actual este problema es mucho más complejo, porque ni los surtidores salen al vacío, ni es fácil eliminar la acción del Sol ni la influencia del medio.—(N. del T).

Tales son las opiniones extremas adoptadas por los peritos, y bien claro se vé que divergen cuanto es posible; por esto nos parece que hay motivo para buscar y discutir la causa de tamañas divergencias.

Los errores pueden provenir, ó de la experimentacion, ó del cálculo. Mucho se ha criticado nuestro método experimental, y á pesar de todo continuamos creyéndonlo el mejor, especialmente con las modificaciones introducidas por Ericson y adoptados por Soret. Las variantes que ofrecen los resultados obtenidos en circunstancias distintas y en países diferentes, prueban que los defectos atribuidos al instrumento no tienen la gran influencia que se les ha supuesto. Se ha reconocido que las dimensiones del termoheliómetro son indiferentes, y por lo tanto las del termómetro no deben tener la importancia que se les atribuyó inmediatamente despues de nuestras observaciones.

Nosotros, por el contrario, creemos hallar grandes inconvenientes en operar como Newton, exponiendo simplemente el termómetro al Sol; porque el resultado debe corresponder tambien á la influencia de la corriente de aire y de las radiaciones de los objetos próximos. Desde hace algun tiempo se emplean en Inglaterra termómetros de bola ennegrecida, encerrados en una esfera de cristal vacía de todo gas; estos aparatos daran probablemente un resultado demasiado grande, á causa de las reflexiones que se verifican sobre las paredes interiores del tubo.

No es, pues, sobre los experimentos sobre lo que debe versar la discusion, sino sobre la manera de interpretar y calcular los resultados. ¿Cuál fórmula debemos admitir, la de Newton ó la de Dulong y Petit? La

ley de Newton es indudable, si se considera como la ley elemental de la propagacion del calor en un cuerpo de conductibilidad perfecta. La de Dulong y Petit no es aplicable más que á los cuerpos sólidos y á los líquidos, dentro de la extension de la escala termométrica en que ha sido hechos los experimentos de que procede. Los físicos que la enunciaron primero no pasaron en sus investigaciones de la temperatura de ebullicion del mercurio, aunque Puillet asegura que los experimentos han sido proseguidos hasta los mil grados. Es, pues, imposible servirse de ella para la cuestion de que nos ocupamos en este momento; porque la temperatura del Sol es evidentemente superior en mucho á los limites de su aplicacion. Además, como hace notar Ericson, no es general, dependiendo de la constitucion de los cuerpos. Dulong y Petit no cuidaron, en sus experimentos, de hacer desaparecer este elemento; verdad es que era imposible, puesto que los cuerpos empleados, sólidos ó líquidos, no tienen una conductibilidad perfecta. Por lo demás, Ericson ha hecho sobre este asunto experimentos decisivos, sirviéndose de un recipiente vacío y mantenido á temperatura constante. De estos experimentos resulta que la ley de Dulong y Petit no es aplicable entre 19 y 100 grados, mientras apenas hay diferencia entre los resultados de la ley de Newton y los obtenidos experimentalmente. Además, ha estudiado el poder radiante sirviéndose de una masa de hierro fundido, calentada á 3000° F, ó sea á 1666° C, (1) y ha encon-

(1) La relacion entre los grados de Farenheit y centígrados es $9 F = 5 C$. El cero del centígrado corresponde á 32° Farenheit.

trado que, á esta temperatura, el poder radiante es sólo 4,21 veces mayor que á la de 65°, mientras que, segun la ley de Dulong y Petit, debiera ser 4000 veces mayor. Empleaba Ericson en sus experimentos masas de hierro de varias toneladas de peso, caldeadas á 1666 grados; si la temperatura del Sol fuese del mismo órden, la fuerza radiante del astro seria tambien análoga. Ahora bien, reduciéndose un pié cuadrado la superficie radiante del metal, obtuvo Ericson 1013 unidades térmicas, mientras que con el Sol encontró 312.500, es decir 310 veces más. Preciso será admitir, en vista de esto, que la temperatura solar es de un órden mucho más elevado, y al mismo tiempo, que la ley de Dulong y Petit es completamente falsa. (1) Y lo que hace aún más patente la falsedad de esta ley, es que los resultados á que conduce, respecto á la temperatura del Sol, dependen de la temperatura misma del recinto ó del actinometro!

Debemos, pues, aceptar á ojos cerrados la ley de Newton? Precisamente vamos á examinar este asunto

(1) La ley de Dulong y Petit es completamente cierta, como expresion de los hechos que sirvieron para formularla; pero sus ilustres descubridores cometieron al enunciarla una falta, por desgracia demasiado comun en esta clase de estudios, y con sobrada frecuencia inevitable; expresaron las relaciones numéricas entre algunas de las variables del fenómeno, y prescindieron de las relaciones de las demas, resultando así la ley incompleta y sin carácter de generalidad. Al aplicarla despues en este sentido, debió, como otras muchas, resultar defectuosa.

(N. del T.)

inmediatamente. Soret ha hecho en Ginebra una série de experimentos en extremos interesantes: sobre su instrumento perfeccionado hacia actuar primero el Sol, y despues un trozo de zircona, incandescente por la accion de una llama de hidrógeno carbonado y oxígeno. Bajo la influencia de la radiacion solar, se elevaba la temperatura á $44^{\circ},5$; con la zircona, cuidando de que la superficie radiante subtendiese el mismo ángulo que el Sol, la temperatura ascendia $0^{\circ},25$; la radiacion solar resultaba, pues, solamente 58 veces mayor que la de la zircona. La temperatura del actinómetro se habia sostenido á $46^{\circ},63$. Si, partiendo de estos datos, se calcula la temperatura de la zircona sirviéndose de la ley de Newton, se encuentra un valor de 45.990° , número evidentemente demasiado grande. Con la fórmula de Dulong y Petit se halla 784° , y este número á su vez es demasiado pequeño, porque la temperatura de la zircona debe ser de 1500 á 2000 grados. Vemos, pues, que tanto la ley de Newton como la de Dulong y Petit se apartan de la verdad, cada una por su lado.

Cree H. Sainte-Claire Deville, segun su larga experiencia en altas temperaturas, que la solar no excede mucho á las usadas y medidas en nuestros laboratorios. A más de su gran experiencia, que nosotros ni discutimos ni podemos poner en tela de juicio, apoya este ilustre químico su opinion en dos razones positivas; y es la primera la imposibilidad material de medir temperaturas tan altas; la segunda, las modificaciones que pueden sufrir las leyes de las acciones moleculares en circunstancias tan distintas de las conocidas en la fisica terrestre. Cierto es, en efecto, que á

temperaturas tan *excesivas* todos los termómetros conocidos se fundirían y volatilizarían; así, jamás habíamos pensado en la posibilidad de que se nos hiciera semejante objeción; como si la imposibilidad material de medir directamente una magnitud cualquiera, fuese un motivo para negar su existencia, ó afirmar que no es posible medirla aproximadamente de uno ú otro modo. (1) Nosotros no suponemos que las dilataciones y demás funciones moleculares siguen las mismas leyes cuando se encuentran los cuerpos en condiciones térmicas tan excepcionales. Solamente decimos que, si se aplican al Sol las leyes conocidas, suponiéndole una temperatura de 2000 á 3000 grados, la enorme radiación calorífica de este astro es absolutamente inexplicable; y que esta radiación no puede explicarse, según las mismas leyes, sino por un estado colorífico completamente distinto; estado cuya manera de ser no podemos fijar, y que expresamos hipotéticamente enunciando un número de grados muy grande. Por lo demás, á todas estas consideraciones podemos añadir un hecho que nos parece decisivo; en los bellos experimentos de H. Sainte-Claire Deville sobre la fusión del platino por medio de la llama del gas oxihídrico, á los que tuvimos la fortuna de asistir, en el laboratorio de este químico, observamos las *bandas* del óxido de calcio, pero nunca las *rayas* del metal.

(1) El lector no extrañará tan distinto modo de ver en dos eminencias científicas, si considera que los instrumentos habituales de trabajo son para uno la balanza y el endiómetro, y para el otro el telescopio y el cálculo. La costumbre imprime naturaleza. (N. del T.)

Ahora bien, el Sol presenta exclusivamente las *rayas*, jamas las *bandas* del calcio, y esto indica que su temperatura excede en mucho á las producidas y medidas en nuestros laboratorios.

Fizeau valúa la temperatura del Sol tomando como término la del arco voltáico obtenido con cincuenta elementos grandes de Bunsen; se trata aquí de la temperatura del *arco* que une los carbones, no de la de estos, y Fizeau obtiene como resultado que la temperatura del Sol es dos veces y media la del arco voltáico. Hagamos notar, desde luego, que la temperatura del arco es desconocida. El platino, que no se funde sino á 2500° por lo ménos, se deshace como cera cuando se introduce en el arco voltáico. Los experimentos de Fizeau han sido hechos con objeto del estudio de la fotografía, y hay bastante de que hablar sobre el procedimiento. Desde luego, las impresiones producidas sobre las placas sensibles, son debidas casi exclusivamente á los carbones; porque el arco en sí tiene un poder fotogénico muy pequeño, siendo como realmente es muy poco luminoso, no obstante tener, seguramente, mayor temperatura. Y por otra parte, ¿puede suponerse que las radiaciones caloríficas son proporcionales á las radiaciones químicas? (1)

Ciertamente tiene grandes ventajas, como unidad, el arco eléctrico; de todos los manantiales de calor es el de más alta temperatura, lo que permite compar-

(1) En la generalidad de los casos, no. Hay con mucha frecuencia radiaciones caloríficas sin radiaciones químicas. (N. del T.)

lo más fácilmente al Sol. Nosotros hemos hecho la comparacion de ámbas radiaciones usando el mismo termoheliómetro, (1) y siendo producida la corriente por cincuenta elementos grandes de Bunsen: de nuestros experimentos resulta que suponiendo la radiacion del Sol igual á $21^{\circ},13$, es $44,36$ veces mayor que la de la luz eléctrica. Este resultado, como se vé, difiere en mucho del hallado por Fizeau. Suponiendo la temperatura de los carbones sólo de 3000 grados, se encuentra para la del Sol un valor de 133.080 grados, que no puede considerarse más que como un mínimo.

Fizeau ha hecho otros experimentos, tomando la cal incandescente por la llama oxihídrica como término de comparacion, encontrando que las dos radiaciones guardan entre si la relacion de $6,86$ á 1006 . Suponiendo la temperatura de la cal sólo de 1680° , lo que nos parece bastante poco, la del Sol seria de $233,576$ grados. Soret ha hecho en Ginebra otros experimentos análogos, sirviéndose de la zircona en vez de la cal; y de los resultados obtenidos se deduce, para el Sol, una temperatura de $126,000$ grados. A nuestro juicio, estos números no se aproximan á la verdadera temperatura solar (2), porque hay sobradas

(1) Véase. *Memorie dell' Acc. dei Nuovi Lincei*, 1874.

(2) Como muestra de las dificultades que presenta el problema, recordaremos al lector que, segun los trabajos del Dr. Tyndall, las radiaciones visibles é invisible de una misma corriente guardan entre sí la relacion de 1 á 23 , en el platino incandescente, y 1 á 9 en el arco voltáico.

causas que tienden á disminuir los resultados; pero sirven á lo ménos para mostrar cuanto se alejan de la verdad los físicos franceses que se fijan en 3,060 ó 5000 grados.

Pronto veremos como se llega á igual resultado usando otros procedimientos para valuar la energía térmica del Sol. Ericson, que habia calificado nuestras cifras de absurdas y extravagantes, admite, á pesar de esto, que la temperatura solar no puede ser inferior á 2.250,000 grados centigrados; y sin embargo, no ha tenido lo bastante en cuenta la absorcion debida á la atmósfera terrestre. Se admite generalmente, y con razon, que, segun la vertical, nuestra atmósfera detiene el cuarto de la radiacion calorifica; admitiendo este número, hubiera obtenido Ericson por resultado 2.726,700.º Además, respecto al Sol mismo, no ha tenido en cuenta el valor de los rayos absorbidos en la capa más baja de la atmósfera solar, donde es considerable, y dá origen á los rayos de Fraunhofer.

Los números á que hemos llegado aplicando la ley de Newton, pueden ser exagerados; convenimos en esto sin dificultad. Sabemos, en efecto, que el poder radiante varía con el estado del cuerpo; así, el agua rádia de distinto modo, segun es sólida, líquida ó gaseosa; pero, como las capas exteriores de la superficie solar estan en estado de fluido elástico, deben ser sus radiaciones más débiles de lo que se supone, y por consecuencia, la ley de Newton debe conducirnos más cerca de la verdad que la de Dulong y Petit.

Las observaciones espectrales muestran haber en la atmósfera solar cantidades considerables de vapor

de hierro. ¿Cómo suponer que la temperatura llega allí apenas á la temperatura de fusion de este metal? En los crisoles, aunque se funde el hierro, no se observan las rayas del vapor de este cuerpo, á ménos de que haya combustion del metal, como ocurre en el procedimiento Bessemer; entonces, el calor procedente de la combustion eleva la temperatura bien por encima del punto de fusion.

Se ha objetado que la temperatura de este vapor, no siendo de ningunos millones de grados, la comparacion no prueba nada. Es necesario distinguir. La temperatura media de la capa en que se ven las rayas, sin duda alguna no es de millones de grados; no hay quien sostenga tal cosa. Pero ¿se conoce la verdadera temperatura, ó mejor, la fuerza viva de las moléculas en el instante de combinarse con el oxígeno? Seguramente no. Se conoce la temperatura de la mezcla con los vapores y el aire ambientes; pero no la de los átomos en el momento de la combustion.

Procuraremos esclarecer el asunto por medio de una comparacion. Un tubo capilar de Geissler, lleno de hidrógeno *rarificado*, se introduce en un calorímetro de agua; prueba la experiencia que 100 gramos de agua se calientan 5° C en un minuto de tiempo. La misma cantidad de calor elevaria, pues, 500 gramos un grado. Supongamos el peso del hidrógeno encerrado en el tubo igual á 0,^{gr} 0001; el calor de este diezmiligramo basta á elevar un grado de temperatura á una masa 5.000,000 de veces mayor, y tomando la capacidad del hidrógeno = $3,4$, se halla como temperatura probable la de 1.470,588.^o Si este

razonamiento es exacto (1), hay motivo para admirarse de la enorme temperatura de la chispa eléctrica; pero esta temperatura es directamente inapreciable, porque la pequeñez de la masa hace que el calor se distribuya entre los cuerpos circundantes con extraordinaria rapidez, y no nos es posible reconocer más que la temperatura de la mezcla, y en ésta las masas frías son infinitamente mayores que las incandescentes. De aquí resulta que no vemos fundirse los vidrios, á pesar de descomponerse y caldearse en toda su masa, enorme en proporcion á la del gas.

Tal *puede ser* la temperatura de los átomos en el momento de su combinacion; pero como están envueltos en masas absorbentes enormes, su calor queda como disuelto en ellas y no percibimos más que la temperatura media, relativamente muy débil. Si toda la masa solar estuviese en las mismas condiciones,

(1) Descrito el experimento sumariamente, como hace el autor, parece que el tubo de Geissler sufre la accion de una corriente por la consideracion de tiempo introducida; y en tal caso, el resultado obtenido no parece correcto, porque se aplica el método de las mezclas sin tener en cuenta que, calculado el hidrógeno constantemente, no es ya una masa de 0,5^{ro}0001, sino equivalente á una circulacion de este gas, á una temperatura desconocida. La resolucion del problema es mucho más compleja, porque habiendo trasmision de calor por radiacion y conductibilidad á un tiempo, sería necesario conocer bien ámbos elementos y aplicarlos á la determinacion de la temperatura, partiendo del hecho de la trasmision de media caloría en un minuto.

(N. del T.)

qué dificultad habria en admitir los millones de grados?

Pero volvamos á la observacion del aparato Bessemer. Se ha dicho que el hierro en fusion puede producir vapores que se elevan sobre la superficie líquida, absolutamente como los vapores producidos por el agua se extienden por todas partes á temperaturas bastante bajas: pero este argumento carece de fuerza, puesto que, como ya otra vez hemos dicho, el espectróscopo no nos hace ver ninguna de las rayas del hierro sobre los crisoles cuando simplemente funde el hierro. Desde luego, la comparacion entre el vapor de este metal y el de agua no es sostenible; porque es necesario tener en cuenta la tension particular á cada sustancia y la velocidad con que se efectúa la volatilizacion, velocidad dependiente de la fuerza expansiva. El agua, exceptuando el hidrógeno y algunos otros compuestos del mismo gas, es de todas las sustancias la que se evapora más pronto. Brusotti valúa esta velocidad en 614, mientras que la del mercurio apenas llega á 184, y sin embargo, este metal es mucho más volátil que el hierro. Lo dicho muestra que si se quiere dar al vapor de hierro una fuerza elástica de una atmósfera, será necesario, despues de fundir el metal, elevar su temperatura mucho más de lo que se hace para el agua en proporcion á sus puntos de fusion y volatilizacion.

Respecto de los resultados obtenidos por Zöllner, creemos presentan grandes probabilidades si se aplican á las capas superficiales, enfriadas por la radiacion y la expansion. Notemos que sus números son demasiado grandes para que puedan servir de argu-

mento en favor de esa corteza sólida ó líquida, cuya hipótesis rechazamos como absolutamente incompatible con los hechos observados. Evidentemente las capas próximas á la superficie no pueden tener todas igual temperatura; las más expuestas á la irradiacion deben enfriarse más rápidamente, como ocurre con las cimas de nuestras montañas y con las altas regiones de la atmósfera; pero las capas más interiores son bastante transparentes para dar paso á las radiaciones que proceden de otras capas más profundas. Unidas todas estas acciones calorificas, producen una accion única, igual á su suma, á la cual se ha designado con el nombre de *temperatura virtual*; ó sea, la temperatura que debiera poseer un cuerpo situado en la superficie del Sol para producir por sí sólo una radiacion idéntica á la de la capa en que se encuentra con la correspondiente á las capas más profundas; aunque ya hemos dicho cuán pequeña es la transparencia que poseen estas capas.

Cuanto llevamos expuesto se aplica solamente á la parte superficial, á aquella hasta donde alcanzan nuestros medios de investigacion; en cuanto á la masa interior, no poseemos dato alguno para poder valuar su temperatura. Solamente podremos decir de ella, que debe ser más elevada, porque tal es lo que ocurre en todos los globos celestes. Por otra parte, la atmósfera de vapores metálicos que envuelve al Sol, no obstante no tener gran espesor, ejerce gran absorcion sobre las radiaciones de este astro, como lo prueban las rayas de Fraunhofer. Esta absorcion impide la diffusion del calor, como la capa de aire que nos rodea produce sobre el globo terrestre el efecto de una cu-

bierta impermeable al calor, ó más bien, el de una cristalera, que sin detener el calor luminoso procedente del exterior, impide la difusión del calor oscuro que tiende hácia los espacios celestes. Si el Sol careciese de la atmósfera que lo rodea nos parecería de 7 á 10 veces más brillante. Ericson y Lockyer cometen un error evidente cuando se limitan á valuar la absorción debida á la cromoesfera, capa muy delgada y trasparente por todas las radiaciones, exceptuándose las procedentes del hidrógeno.

Apoyándonos en cuantas consideraciones hemos expuesto, creemos poder afirmar que sin admitir como exenta de objeciones la cifra de 5.000,000 de grados obtenida por nosotros, está mucho más cerca de la verdadera que las valuaciones limitadas á algunos millares de grados. Añadiremos aún que la cifra de 10.000,000 de grados propuesta por Waterston no es tan absurda como se ha querido suponer. Y en fin, si hay necesidad de fijar un valor mínimo, creemos imposible suponerlo menor de uno ó dos millones de grados.

CAPÍTULO II.

Origen y conservacion del calor solar.

§ I. CANTIDAD ABSOLUTA DE CALOR EMITIDA POR EL SOL.

En el capítulo precedente hemos expresado la temperatura del Sol en grados convencionales; pero para valuar la fuerza viva y la cantidad de energía que reside en este astro, es preciso expresarla en cantidad absoluta de calor, relacionando esta cantidad á una unidad determinada de trabajo térmico. Este trabajo está medido por el calentamiento experimentado en la unidad de tiempo por un cuerpo de peso y capacidad calorífica conocidos. El aparato que se usa fué imaginado por Pouillet, y se compone principalmente de un cilindro de hoja delgada de cobre, una de cuyas bases se cubre de negro de humo; (1) esta base se expone

(1) El aparato de Pouillet consta, á más de lo ya dicho, de un ástil colocado en la direccion del cilindro de cobre, llevando en su extremo opuesto un disco igual á una de las bases del cilindro, y unido todo á una montura que permite mover el ástil en todas direcciones. El objeto del disco no es otro que facilitar la colocacion conveniente del aparato. Cuando la sombra del cilindro cubre al disco, los rayos solares caen normales á la base cubierta de negro de humo. El cilindro de cobre tiene muy poca altura.

(N. del T.)

al Sol de modo que reciba perpendicularmente los rayos solares. El cilindro está lleno de agua, y su temperatura se determina mediante un termómetro colocado en el seno del líquido.

Expuesto el aparato al Sol, se anota el aumento de temperatura que experimente en un minuto; y este aumento es el número que ha de servir de punto de partida al cálculo. Debe tenerse en cuenta el vaso y la cantidad de calor que absorba; para esto se multiplica su peso por el calor específico, y el producto se llama el peso del vaso reducido á agua; basta añadir este número al peso del agua sobre que se opera.

Es necesario, además, tener en cuenta una causa de error inevitable. El aparato radia constantemente y pierde de este modo una cantidad de calor tanto mayor cuanto más alta es su temperatura; el calentamiento producido en un minuto resulta así ser la diferencia entre el calor recibido y el radiado. Para tener en cuenta esta diferencia, se determina, mediante otro experimento, el número de grados que baja la temperatura del cilindro en un tiempo igual al de exposición, cuando está sustraído á la influencia de los rayos solares; añadiendo este número al obtenido primeramente, se tiene el valor del calentamiento tal como se hubiera encontrado, á no existir la causa de error. Esta compensación no es rigurosamente exacta, pero si se desease obtener mayor exactitud, tiene la ciencia sobrados métodos de corrección para alcanzarla.

Debe, además, efectuarse otra corrección importante para tener en cuenta la cantidad de calor absorbida por nuestra atmósfera en el trayecto de los rayos so-

lares. Hecho esto, y obtenido el resultado, todo está dispuesto para proceder al cálculo.

Este procedimiento es muy sencillo, y aunque contiene varias causas de error, es no obstante el mejor que hasta el día se haya empleado. Ericson, aunque criticándolo, asegura que, mediante compensaciones que no indica, dá resultados bastante exactos: con esto basta.

El resultado de los experimentos hechos con el aparato de Pouillet, puede enunciarse de la siguiente manera: un gramo de agua, colocado en el límite superior de nuestra atmósfera, expuesto á la radiacion solar, y ofreciendo á la misma una superficie de un centímetro cuadrado, se calienta durante un minuto $4^{\circ},763$. De aquí puede deducirse la cantidad total de calor que cae sobre el hemisferio terrestre, que es igual á la radiacion comprendida en la seccion de un cono circunscrito á la tierra y al Sol; hecha esta seccion en la inmediacion á la tierra, su área es próximamente la de un círculo máximo, y por lo tanto la cuarta parte de la superficie terrestre. La radiacion solar, pues, puede calentar en un minuto $\frac{4^{\circ},763}{4}$, ó sea

$0^{\circ},44.075$ una capa extendida uniformemente sobre la superficie de la tierra, teniendo un centímetro de espesor. En el trascurso de un año se calentaria esta capa $0^{\circ},44.075 \times 60 \times 24 \times 365,25 = 231.855^{\circ}$, suponiendo que no perdiese calor ni por evaporacion ni por radiacion. Si el espesor de la capa fuese un metro, la temperatura se elevaria en el año á $2.318^{\circ},55$.

Si quisiéramos representar el calor que recibimos del Sol por el espesor de la capa de hielo que sería

capaz de fundir en un tiempo dado, se determinaría dividiendo el número ya encontrado por el calor latente de fusión del hielo; haciéndolo así, se halla que la radiación solar, en el trascurso del año, podría fundir una capa de hielo de $30^m,89$ de espesor, próximamente 31 metros. Las últimas cifras difieren un poco, según los datos adoptados como elementos del cálculo. Así, por ejemplo, Schellen encuentra $29^m,33$; pero no tiene objeto entrar en la discusión de estos números, porque la aproximación obtenida es muy suficiente para el objeto que nos proponemos.

Podemos valuar ya la cantidad de calor emitida por la superficie del Sol, multiplicando el valor precedente por el cuadrado de la distancia del Sol á la Tierra, expresada en rádios del globo solar. Haciéndolo así, vemos que la cantidad de calor es bastante á elevar en un minuto $816^\circ,71$ la temperatura de una capa de agua que teniendo un metro de espesor rodease al Sol, ó á fundir un espesor de hielo de $40^m,7$.

La física moderna considera el calor como un movimiento molecular especial, y la actividad térmica como trabajo mecánico. Podemos, pues, partiendo de los principios de la termodinámica, apreciar la radiación solar en unidades mecánicas; vamos á intentar algo más, procurando determinar la causa productora de las radiaciones y de su sensible constancia durante tiempos muy considerables.

Acabamos de ver que el Sol puede, en su superficie, durante un minuto elevar $816^\circ,71$ la temperatura de una capa de agua que tenga un metro de espesor, ó lo que es lo mismo, elevar un grado la temperatura de una capa de $816^m,71$ de grueso. En un segundo el

efecto debe ser sesenta veces menor, y por lo tanto, el espesor de la capa calentada un grado sería sólo de $43^m,61$. Debemos suponer igual la actividad en todos los puntos de la superficie, pero, para mayor sencillez, nos limitaremos á examinar lo que ocurre en un metro cuadrado. La capa de agua calentada por esta superficie un grado por segundo pesaría 43,610 kilogramos. Por otra parte, la fuerza que por su trasformacion completa en calor sería capaz de elevar un grado la temperatura de un kilogramo de agua, equivale á 424 kilográmetros, siendo un kilográmetro el esfuerzo necesario para elevar un peso de un kilogramo á la altura de un metro. Así, para valuar en kilográmetros la potencia térmica de un metro cuadrado de la superficie solar, es necesario multiplicar á 43,610 por 424, y el producto 5.770,640 expresa el número de kilográmetros buscados; este trabajo equivale al de 76,942 caballos de vapor, siendo el caballo de vapor la fuerza capaz de producir en un segundo un trabajo de 75 kilográmetros.

Vemos, pues, que bastaría el calor emitido por algunos metros cuadrados de la superficie del Sol para hacer funcionar todas las máquinas de vapor que trabajan en nuestro globo. Una de las mayores máquinas que se hayan jamas construido, fué expuesta el 67 en la Exposicion universal de París, y pertenece á la fragata Freidland; tiene una fuerza de 4000 caballos, y exige para la produccion del vapor necesario ocho calderas tubulares, consumiendo cinco toneladas de carbon por hora. (1)

(1) No obstante la enorme potencia de esta maqui-

Podríamos valuar también la potencia mecánica equivalente á la radiación total de la superficie solar, y hallaríamos un número de caballos de vapor representado por 470 quillones, es decir, 470×10^{18} . Tal es la enorme potencia emanada del Sol, cuya magnitud no podemos comprender de un modo exacto. Podemos ciertamente alinear las cifras bastantes para representarla, pero el número resultante no dice nada á nuestra imaginación, que es incapaz de concebirlo.

Podríamos también apreciar la temperatura del Sol, teniendo en cuenta el trabajo representado por el calor emitido por radiación. Comparando este calor con el de nuestras locomotoras, se halla que un metro cuadrado de la superficie solar emite, por lo menos, tanto calor como una parrilla de 80 metros cuadrados. Suponiendo exacta esta valuación, sobre lo cual podrían abrigarse bastantes dudas, resulta que si la temperatura de nuestros hornos es de 150 grados, la del Sol debe ser de 120.000°. Este resultado, ciertamente muy bajo, es, sin embargo, muy superior á los números propuestos por algunos físicos. Decimos que el resultado es muy bajo, porque el Sr. Crova ha demostrado últimamente que los números dados por Pouillet, como representando las calorías recibidas del Sol por

naría, apenas excede su trabajo á la actividad térmica de cinco decímetros cuadrados de la superficie solar; en su hogar, sin embargo, se desarrolla una potencia casi igual á la de 66 decímetros cuadrados. A pesar de tamaño despilfarro de energía, es esta máquina de las menos imperfectas.

(N. del T).

la atmósfera terrestre, son notablemente menores que la realidad; pero no siendo estas valuaciones más que una primera aproximacion, lo dicho puede bastar.

§ II. DE LA PÉRDIDA DE CALOR QUE EXPERIMENTA EL SOL.

Acabamos de valuar la inmensa cantidad de calor emanada á cada instante del Sol, y los números que hemos determinado, representan las pérdidas de energía experimentadas durante cada segundo por la masa incandescente. De la consideracion de estas cifras surge naturalmente la pregunta de si será posible que, á pesar de tan considerable radiacion, tenga el Sol una temperatura constante, y cuales sean los mantenciales de calor que pueden compensar tan enormes pérdidas.

Debemos notar, antes de nada, que la radiacion proviene solamente de un estrato muy delgado bajo la superficie, y que es muy posible sea la temperatura interior mucho más alta. Pero como las masas enfriadas por la radiacion se mezclan constantemente á las demas, el globo solar, tomado en conjunto, pierde realmente calor, y el problema de la constancia de temperatura subsiste en pié.

Para valuar exactamente la disminucion de la temperatura solar, sería preciso conocer lo que en el lenguaje de los físicos se llama *capacidad calorífica*, ó á lo ménos hacer sobre el asunto una hipótesis plausible. Sabido es, en efecto, que una misma cantidad de

calor no calienta á todas las sustancias de igual manera; así, por ejemplo, el calor que eleva un grado la temperatura de un kilogramo de agua, basta para producir una elevación de 9 grados en un kilogramo de hierro. Resulta evidentemente de esta propiedad, que en dos masas de peso igual y naturaleza diferente, la duración del enfriamiento estará en razón directa de sus capacidades caloríficas, suponiendo iguales todas las demás condiciones. Así, pues, en masas iguales, y á partir de la misma temperatura, el hierro se enfriará nueve veces más pronto que el agua.

No conociendo los materiales constitutivos del Sol, nos es imposible señalar rigurosamente su capacidad calorífica; pero sabemos que está compuesto de hidrógeno y de vapores metálicos. Aparte del hidrógeno, cuyo calor específico es igual á 3,44, siendo el del agua la unidad, todos los demás vapores tienen una capacidad inferior á 0,5. No podemos, pues, tomar como capacidad media un número mayor que la unidad, y todo lo más que podremos será aceptar ésta como límite superior.

Podemos conocer con bastante exactitud la superficie, masa, volumen y densidad media del Sol.

La superficie, en metros cuadrados, está representada por el número

$$6.032,900.000.000.000.000=60,329 \times 10^{14}.$$

El volumen, en metros cúbicos, es

$$1,393.350.000.000.000.000.000.000=139,335 \times 10^{22}.$$

Tomando como unidad la densidad del agua destilada, la de lSol es 1,42, y su peso, en kilogramos, está representado por

$$M = 1,946.600,000.000,000.000,000,000.000 = 19,466 \times 10^{26},$$

ó próximamente dos nonillones de kilogramos.

Ya hemos visto que, en un minuto, cada metro cuadrado emite una cantidad de calor capaz de elevar $816^{\circ},71$ la temperatura de un metro cúbico de agua, ó sea 1,000 kilogramos, lo que representa 816,710 calorías (1). De donde resulta que, durante un año, cada metro cuadrado pierde un número de calorías igual á 429,552.000,000, lo que produce para toda la superficie una cantidad $C = 25,914 \times 10^{26}$.

Suponiendo que la capacidad media de la masa solar sea igual á la del agua, M expresará la calorías perdidas por el Sol para que su temperatura baje un grado; y siendo C el número de las que pierde anualmente, tendremos la disminucion de temperatura en un año dividiendo el segundo por el primero $\frac{C}{M} = 1^{\circ},33$ (2). Si la capacidad calorífica del Sol fuese

(1) En Física, se llama *caloría* á la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua.

(2) Schellen, en la edicion alemana de esta obra, ha modificado un poco estos valores, sin que sepamos la causa. Aún teniendo en cuenta las variaciones que experimenta la distancia del Sol á la Tierra, no cambian de un modo esencial los números que acabamos de dar. Segun los más recientes trabajos, hé aquí los valores que creemos más probables:

igual á la del vapor de agua, y por consecuencia, poco mayor que la de los vapores metálicos, el descenso anual de temperatura seria de $2^{\circ},8$.

Ya hemos dicho que el interior del Sol no puede ser sólido ni oscuro. Si lo suponemos incandescente, tal como el hierro fundido, á una temperatura de 2000 á 3000 grados, bastaria para bajar su temperatura á cero un periodo mucho más corto que las épocas históricas mejor conocidas. En efecto, bastan 5000 años para que el descenso de temperatura, debido á la radiacion, alcance á 6500 grados, de suerte que, áun suponiendo una temperatura inicial de 10000 grados, habria disminuido en dos tercios próximamente. Este resultado es absurdo; no es, pues, posible considerar el Sol como una masa simplemente incandescente á una temperatura que no sea en extremo elevada.

Diámetro solar. . .	688.584,400 metros.
Superficie del Sol.	$59,582 \times 10^{14}$ metros cuadrados
Volúmen del Sol..	$136,757 \times 10^{22}$ metros cúbicos.
Densidad del Sol..	1,46 (valor muy incierto).
Peso del Sol. . .	$M=19,962 \times 10^{26}$ kilogramos.

Haciendo uso de este último número para nuestro cálculo, hallaremos para disminucion anual de temperatura

$$\frac{C}{M} = \frac{25914 \times 10^{26}}{19962 \times 10^{26}} = 1^{\circ},297,$$

valor muy poco diferente de $1^{\circ},33$ que hemos hallado anteriormente. Schellen adopta $1^{\circ},25$, pero, lo repetimos otra vez, no sabemos por qué causa ha modificado todas estas cifras, que, por lo demas, son de importancia muy secundaria en la ciencia.

Tampoco podemos admitir que esté compuesto de una materia combustible, capaz de producir por combustion tanto calor como el carbon. En tal hipótesis, según los cálculos de Thomson, al cabo de ocho mil años se habria extinguido, áun suponiendo que los productos de la combustion no fuesen bastante á cambiar su actividad.

Por otra parte, es indudable que, durante todo el período histórico, la acción del Sol se ha mantenido sensiblemente constante, sin disminuir de un modo apreciable. Los seres vivos, tanto animales como vegetales, que se encuentran en la superficie de nuestro globo, son los mismos desde hace mucho tiempo, y las variaciones que hayan experimentado son bien pequeñas; este hecho es incompatible con un notable descenso de la temperatura solar. Es, pues, imposible admitir que el calor del Sol provenga de una combustion, ó de la radiación de una masa simplemente incandescente.

Podemos aún presentar las mismas consideraciones bajo otra forma. Supongamos la temperatura del Sol igual á 74920 grados, que es precisamente la señalada por Zöllner como probable para la capa superficial de donde salen las protuberancias. Enfriándose el Sol 6500 grados en 5000 años, debió ser su temperatura al comenzar los tiempos históricos 81440 grados, y desde tal fecha ha perdido $\frac{1}{12}$ de su calor sensible, pérdida enorme que no puede haber ocurrido sin afectar á la vegetación. Si la temperatura inicial hubiese sido sólo de 27000 grados, la disminución hubiera llegado á un cuarto. Si nos remontamos á los tiempos prehistóricos, las diferencias se hacen

mayores, y mientras más remota la fecha, mayores resultados ofrece. Ahora bien, según los datos más ciertos de la geología, no ha debido la tierra recibir del Sol en sus diversos períodos mucho más calor que recibe actualmente; y aun entre ellos se encuentra una época misteriosa, el período glacial, (1) que sería inexplicable, si debiésemos admitir que durante él la temperatura del Sol fué mucho más elevada que lo es hoy día.

Las pérdidas de calor sufridas por el Sol, son demasiado grandes para poder ser despreciadas: por otra parte, es imposible admitir la baja constante en la temperatura del astro por causa de la radiación. Hé aquí un problema interesante y difícil: saber cómo puede permanecer la temperatura solar entre ciertos límites, señalados por la observación.

(1) La existencia del período glacial ha recibido varias explicaciones sin acudir á una disminución de la actividad solar. Sin rechazar la hipótesis de Adhemar, en lo referente á la influencia de la precesión de los equinoccios, y por lo tanto á la variación de superficie en los casquetes helados que ocupan las zonas glaciales, hecho que por sí solo basta para explicar la existencia de los hielos en lugares donde hoy no se encuentran, creemos que la explicación más verosímil, hasta el día, es la fundada en el cambio gradual de las tierras y la consiguiente variación de las corrientes marinas. La influencia ejercida por estas últimas en la temperatura de las tierras inmediatas, á nadie puede ocultarse; la corriente del golfo, *gulf stream*, eleva notablemente la temperatura media de algunas islas de Europa; si esta corriente

Para explicar la constancia de la temperatura solar, sólo hay dos hipótesis posibles: bien la existencia de una actividad interior, ó bien la de otra exterior, completamente distinta de la combustiva. W. Herschel suponía la existencia de corrientes eléctricas capaces de producir la luz, como en nuestras auroras boreales: pero hoy sabemos que las corrientes eléctricas necesitan una causa; no son espontáneas; deben su nacimiento á una fuerza, que á su vez tiene también su origen, porque nada se produce de la nada; y su existencia debe explicarse por las leyes de la Física.

Vamos á exponer las hipótesis más importantes imaginadas hasta el presente, procurando señalar la causa verdadera del calor solar y de la constancia sensible de su temperatura. Hemos dicho *constancia sensible*, porque no suponemos que esta constancia sea

cambiase de dirección, muy otro sería el clima de tales puntos. Por otra parte, si aumentase la tierra firme en la zona glacial ártica al mismo tiempo que desapareciese la corriente del golfo, por cualquier causa, y entre otras, por el levantamiento de un continente en el mar de donde parte, disminuiría mucho la circulación de agua y vapor que hoy sostiene la vida en ciertas latitudes del hemisferio Norte, y los hielos alcanzarían tal vez la extensión que señala el período glacial. Los levantamientos y depresiones de la superficie terrestre, por más que no los observemos y á la generalidad parezcan poco probables, en nuestros días no han dejado de ocurrir en gran número, ni en la actualidad dejan de estar verificándose, y su influencia sobre los climas es incontestable.

(N. del T.)

absoluta; prescindiendo de las variaciones periódicas que han hecho constar los observadores, nuestros medios de observacion son sobrado imperfectos, y sobre todo, los datos que poseemos son demasiado incompletos para poder aventurar una opinion tan definida. Supongamos, en efecto, que la temperatura del Sol sea de seis millones de grados, y que disminuya anualmente $2^{\circ}, 8$. Al cabo de 4000 años habrá descendido en 11,200 grados, ó sea $\frac{1}{535}$. Siendo la radiacion en la superficie de la tierra, al nivel del mar, 45° á lo sumo, como ya hemos visto, disminuiria en la misma relacion, esto es, $0^{\circ}, 028$; cantidad evidentemente demasiado pequeña para poder ser apreciada en nuestras observaciones. Examinaremos, pues, el fenómeno en sí mismo y en sus elementos físicos, interin la observacion y la teoría no nos suministren datos más exactos.

§ III. MANANTIALES DE CALOR EXTERIONES AL SOL.

El problema, cuya solucion buscamos, no es nuevo. Newton, considerando las inmensas pérdidas de materia que el Sol debia sufrir por efecto de la constante emision de particulas luminosas y calorificas, buscó una fuente capaz de compensar la radiacion solar, y supuso que los cometas podrian estar destinados á este objeto; cayendo en el Sol, alimentarian la combustion é impedirian disminuir la masa del astro. En aquella época se atribuía gran masa á los

cometas, y además, la radiación luminosa era considerada como una emisión de partículas materiales; la hipótesis de Newton era, pues, admirable, porque explicaba los fenómenos según los principios conocidos y las teorías admitidas. Hoy sabemos que los cometas tienen muy pequeñas masas, y consideramos la luz y el calor, no como una verdadera emisión, sino como un movimiento vibratorio, que se comunica por la agencia de un medio imponderable.

Lo que Newton decía de la masa, podemos nosotros decir de la fuerza viva. La masa no disminuye por la radiación, pero la energía que poseen sus partículas debe disminuir continuamente, si no hay elementos abundantes para reparar las pérdidas que sufre. El Dr. Mayer, de Heilbronn, fué el primero que formuló este problema bajo el punto de vista mecánico, y el primero que buscó la solución fundándose en principios que han cambiado completamente la teoría hasta entonces admitida. La hipótesis de Mayer ha sido desarrollada por Waterston, Thomson, Joule, etc.; nosotros daremos á conocer aquí sus resultados, al ménos en la parte concerniente á nuestro objeto.

Considerando la cantidad de materia que anualmente cae sobre la Tierra, bajo la forma de aerolitos ó esfrellas fugaces, y la cantidad de calor que puede ser producida por la transformación de su fuerza viva, llegó á pensar el Dr. Mayer si no podría ocurrir un fenómeno análogo en el Sol, y á buscar qué masa debería caer en tales condiciones para compensar la disminución de fuerza viva producida por la radiación.

Planteado así el problema, podía resolverse con ayuda de las nociones ordinarias de la mecánica. Fá-

cil es calcular la velocidad que debe adquirir un cuerpo viniendo de las profundidades del espacio ó del infinito á caer sobre el Sol (1); puede, pues, conocerse la fuerza viva que poseería al llegar á la superficie del astro. Así se encuentra que la velocidad de llegada es igual á la que adquiriría cayendo con movimiento uniformemente acelerado de una distancia igual al radio del Sol; esta velocidad es de 626 kilómetros por segundo. Un kilogramo de agua cayendo sobre el Sol, en estas condiciones, produciría por su choque una cantidad de calor capaz de elevar su propia temperatura 462 millones de grados. Si la Tierra cayera sobre el Sol, daría origen á una cantidad de calor igual á la que pierde el Sol por radiación durante sesenta y nueve años. Una masa de hierro que cayera sobre la Tierra, viniendo también desde las profundidades del espacio, desarrollaría el calor bastante para elevar su temperatura 4.327,400 grados; podría volatilizarse completamente.

No se crea, sin embargo, que las cosas pasan realmente así. El calor producido por el choque no se concentra únicamente sobre el cuerpo que cae; la Tierra absorbe necesariamente su parte, y otra se em-

(1) La fórmula general que determina la velocidad de un cuerpo partiendo desde cualquier punto es $V = \sqrt{2ar(1 - \frac{r}{r'})^{1/2}}$; siendo a la aceleración á la distancia r , y r' la distancia del origen del movimiento. En el caso de ser $r' = \infty$, la fórmula se reduce á $V = \sqrt{2ar}$.
(N. del T.)

plea en calentar y poner en movimiento el aire. No obstante, se comprende perfectamente como los aerolitos llegan á ponerse incandescentes por compresion y rozamiento contra la atmósfera, y como llegan á la Tierra cubiertos de una masa fundida y vitrificada; por la misma razon algunos de estos corpúsculos se volatilizan completamente tomando el aspecto de estrellas fugaces.

Podríamos valuar en fuerza dinámica el calor recibido del Sol por la Tierra (1), y ver como la fuerza viva que adquiere en un dia cayendo hácia el Sol, es cien veces más pequeña que la recibida diariamente mediante la radiacion.

El principio de la conversion de la energia en calor es uno de los más bellos descubrimientos de la ciencia moderna; queda aún por saber hasta qué punto es aplicable al Sol. Nada tan fácil de admitir como la caida de meteoros sobre el Sol, á la manera que ocurre en la Tierra; y aún es esto tanto más probable, cuánto que siendo su masa mucho mayor, es también más capaz de hacer desviar á los cuerpos de su primitiva direccion. También es cierto que si un cuerpo cayera sobre la superficie del Sol podria, por el choque, desarrollar tres mil veces más calor que el producido por la combustion de una masa igual de carbon. Esta teoria podria hasta apoyarse en hechos, que parecen confirmarla. Asi, Carrington y Hodginson, vieron separadamente, en un mismo instante, produ-

(1) Más de doscientos billones de caballos.

(N. del T.)

cirse una luz muy viva en un punto del Sol, muy próximo á una mancha; y atribuyeron el fenómeno á la caída de un meteoro y á la consiguiente produccion de calor.

Nos parece más probable que el fenómeno presenciado por los dos observadores fuese una de las violentas erupciones que, como hoy sabemos, ocurren frecuentemente en la superficie del Sol. Sin embargo, como la explicacion dada por ámbos nada tiene de absurda, y como, además, tiene ciertos visos de posibilidad, no rehusaremos admitirla.

El cometa de 1843 pasó tan cerca del Sol que atravesó su atmósfera, inflamándose en ella y dando origen á una viva luz, visible en pleno dia, cerca del disco solar: de esto resultó aquella prodigiosa cola de 63 grados de longitud. Si su direccion hubiese sido un poco diferente, hubiera caído sobre el Sol; y al presente sabemos que los cometas y las estrellas fugaces son meteoros del mismo orden.

Pero, en realidad, la cuestion debe plantearse de este modo: estos hechos, completamente posibles, existen realmente? ¿Puede explicarse mediante ellos la constancia de la temperatura solar? Para que así ocurriese, debería caer sobre cada metro cuadrado de la superficie solar, próximamente, en cada hora, un peso de materia igual á un kilogramo. Suponiendo que la sustancia tuviese la densidad del agua, al cabo de un año formaría una capa de 10 metros de espesor; esta capa sería inapreciable por nosotros, porque, siguiendo la proporcion, se necesitarian treinta y cinco mil años para que produjese el aumento de un segundo en el diámetro solar, aumento que hubiese pasado

desapercibido vista la poca exactitud de las medidas antiguas. Pero no podemos decir lo mismo respecto á la masa; en un intervalo de cuatro mil años aumentaría en $\frac{1}{5,000}$, y según los cálculos de Thomson, en dos mil años el movimiento de la tierra se habría retardado en $\frac{1}{8}$ de año; resultado inconciliable con los datos más ciertos de la Astronomía. Para evitar esta dificultad, podría decirse que la materia proyectada así sobre el Sol se encuentra en el interior de la órbita terrestre, y es la que dá origen á la luz zodiacal. Pero esta hipótesis no es admisible, porque conocemos gran número de cometas periódicos que tienen una parte de su órbita dentro de esta region interior, en la cual debieran experimentar gran resistencia de parte de esta materia meteórica, modificándose completamente la forma de su trayectoria y la velocidad de sus movimientos. Solamente el cometa de Eucke ofrece vestigios de esta resistencia, y es sabido que podría explicarse por otra causa la anomalía de su movimiento. Por lo demás, la observacion no indica ninguna perturbacion notable en los demás cuerpos y es necesario convenir en que estos cometas no encuentran en su órbita masa alguna apreciable que pueda perturbarlos.

Las consideraciones expuestas bastan para destruir la hipótesis meteórica; así, hoy día, se encuentra abandonada por sus partidarios y aún por sus más ardientes promovedores.

Sin embargo, si no explica la persistencia de la temperatura solar, no deja de tener su valor. Cierta

cantidad de materia debe caer sobre el Sol y producir una cantidad determinada de calor. Aplicada esta misma teoría á la Tierra, podria dar la explicacion de algunos fenómenos oscuros todavia; podria, por ejemplo, dar razon de la aceleracion secular de la Luna. En efecto, si la masa de la Tierra aumenta constantemente, su velocidad de rotacion debe ir disminuyendo, y la de la Luna debe crecer aparentemente. Para que esta explicacion fuese plausible, bastaria que cada año cayese una cantidad de materia bastante á cubrir la superficie de la tierra con una capa de $\frac{1}{10}$ de milímetro de espesor. Esta condicion quizá no sea imposible, porque es muy grande el número de estrellas fugaces, y no dejan de caer aerolitos que pesan algunos miles de kilogramos.

En las regiones polares, léjos de todo centro industrial, ha encontrado el profesor Nordenskiöld cubierta la nieve por una capa negruzca, en la que se encontraba el hierro en cantidad, y nosotros mismos lo hemos recogido en el agua de la lluvia que siguió á la corrida de estrellas del 47 de Noviembre de 1872.

Por otra parte, la masa del Sol no nos es conocida con gran exactitud. Hace algunos años se consideraba como 354,936 veces la masa de la tierra; pero como se ha reconocido la necesidad de aumentar la paralaje en $\frac{1}{28}$ del valor admitido, ha habido precision de representar la masa por el número 326,800.

El mérito indisputable de la hipótesis de Mayer consiste en explicar el origen del calor solar, reduciéndolo á no ser más que un efecto de la gravitacion, considerándolo simplemente como fuerza mecánica, tal como vamos á hacer en el párrafo siguiente.

§ IV. ORIGEN DEL CALOR SOLAR.

Admiten los astrónomos, en la actualidad, que nuestro sistema solar es resultado de la condensacion de una nebulosa. Toda cuanta materia constituye hoy dia al Sol y los planetas, se encontró en otro tiempo en estado de materia cósmica, esparcida en los espacios inmensos que abrazan el sistema solar, constituyendo una verdadera nebulosa, tal como las que hoy vemos en varias partes del cielo. Herschel, que estudió las nebulosas, reconoció que presentan diversos estados de condensacion; en sus formas son muy diferentes, irregulares, esferóideas, elípticas, anulares; la materia de que estan compuestas se halla en completo estado de disociacion, y el espectróscopo muestra, en el mayor número de casos, que son del todo gaseosas. Si la masa entera de nuestro sistema planetario se extendiese solamente hasta la órbita de Neptuno, se presentaria en un estado de rarefaccion comparable al que producen nuestras mejores máquinas neumáticas.

Si supusiésemos que semejante masa se condensase precipitándose sobre un punto central, podríamos aplicar la teoría de Mayer. El choque reciproco de las moléculas pondria toda la masa en vibracion térmica, y desarrollaria en el centro una considerabilísima cantidad de calor. Teniendo en cuenta la masa y el modo segun el cual debió estar repartida primeramente á diversas distancias del Sol, se ha calculado que la cantidad de calor desarrollado de este modo ha

debido elevarse á 240 millones de grados, ó cuando ménos, á 28 millones (1). La temperatura inicial del globo solar, reducido á las dimensiones que hoy tiene, no ha podido ser menor, y la actividad térmica que hoy posee no es sino un pequeño resto de la cantidad enorme debida á la gravitacion.

Debe notarsé que esta otra teoria no presupone absolutamente nada respecto á la manera de verificarse la condensacion, ni tampoco respecto al tiempo empleado en ella. La condensacion ha podido ser muy lenta, desarrollando la misma cantidad de calor. Para explicar la temperatura, basta suponer un tiempo muy corto para el choque. Así, suponiendo que el Sol se contrae actualmente, produciendo esta contraccion una verdadera caída hácia el centro, debe compensar en parte la pérdida de fuerza viva producida por la radiacion.

Maxwel Hall se ha tomado el trabajo de hacer este cálculo, y ha encontrado que para suplir á las pérdidas ocasionadas por la radiacion, basta que el Sol se contraiga anualmente $39^m,45$. En tal caso trascurririan 48,263 años para que disminuyese el diámetro solar un segundo. (2)

Al mismo origen, segun todas las probabilidades, debe referirse el calor central de los planetas, y su energia de traslacion. Esta energia, que no es más que

(1) Estas diferencias dependen de las dimensiones atribuidas á la masa central despues de la primera condensacion.

(2) *Monthly Notices Astr. Soc.* 1874, pág. 237.

los $\frac{2}{3}$ de la que adquirirían cayendo sobre el Sol, basta, sin embargo, para compensar las pérdidas debidas á la radiación durante cuarenta y cinco mil años.

Tales son las conclusiones á que conduce la teoría de Mayer, conclusiones admitidas hoy día por los físicos. La teoría meteórica fué incapaz de dar razón de los fenómenos que pretendía explicar, pero produjo, no obstante, el ventajósísimo resultado de darnos á conocer el origen del calor solar, fuente universal de la vida en nuestro sistema planetario. Si esta teoría es exacta, debemos admitir que el globo solar no puede ser sólido, porque entonces no podría contraerse libremente ni condensarse lo bastante pronto para producir estos enormes desarrollos de calor; la superficie no tardaría en enfriarse y la vida se haría imposible sobre los planetas. Solo el estado líquido se presta á la rapidez de movimientos exigida por la teoría.

Es difícil representarse con exactitud la constitución interior del globo solar. La enorme temperatura que posee, es una probabilidad para el estado gaseoso. Por otra parte, la gravitación es muy grande en la superficie del astro; produce una presión en extremo considerable, que tiende á condensar y licuar los gases, caso de haberlos. Han sido calculadas las presiones probables á profundidades relativamente cortas. Suponiendo un líquido que tenga la misma densidad del aire atmosférico, formando una columna de altura igual á la profundidad de una mancha, la presión producida por esta columna bastaría á mantener combinados los elementos constitutivos del agua; pero en la masa solar tan alta es la temperatura, que todas las

sustancias se hallan allí en estado de disociacion, no obstante la enorme presion que experimentan. Esta misma presion, al aproximar los elementos, tiende á aumentar la densidad media, y sin embargo, ésta es de 1,42, ó á lo más, de 1,46, suponiendo igual á 1 la del agua destilada. Fijémonos bien en que se trata aquí de la densidad media: las capas que poseen realmente esta densidad deben estar muy hondas, y por consecuencia, las capas superficiales, léjos de ser sólidas, no pueden ser siquiera líquidas.

Es probable que á cierta profundidad se hallen los flúidos en ese estado intermedio, estudiado en otro tiempo por Cagniard-Latour, y más posteriormente por Andrews, que separa el estado sólido del estado líquido. Hoy se sabe que existe un estado intermedio que separa los otros dos; en los experimentos hechos en nuestros gabinetes, este periodo es poco extenso á causa de la debilidad de la presion y de las bruscas variaciones de temperatura; pero en el Sol no ocurrirá lo mismo, y debe haber en él masas considerables que se encuentren en ese estado casi desconocido para nosotros.

Sabemos que en este periodo critico, á pequeñas variaciones en una de las fuerzas antagónicas, responden grandes cambios en el volúmen y en la densidad de los cuerpos. No se hallaría en esto una explicacion satisfactoria de la rapidez con que las protuberancias cambian de forma, y sobre todo, de la velocidad prodigiosa con que son lanzadas las masas incandescentes que forman las protuberancias? El hidrógeno parece muy difícil de licuar, pues que en los experimentos de Cailletet ha sido comprimido hasta 800

atmósferas, sin que se haya notado ninguna anomalía en su condensación: es posible, á pesar de esto, que á gran profundidad bajo la superficie solar se encuentre, á lo ménos, reducido al estado límite de que hemos hablado. La estructura filiforme de las protuberancias y de la materia eruptible, recuerda una estructura análoga observada por Andrews en el momento de cambiar de estado las masas fuertemente comprimidas. El equilibrio inestable, que caracteriza á este estado, explicaría fácilmente la rapidez con que se suceden las erupciones y los cambios de forma producidos en tiempos tan cortos. Cuando, por efecto de enfriamiento, se convierte en líquido una parte de una masa gaseosa, emite gran cantidad de calor, y así puede compensarse también la pérdida de temperatura por radiación en la masa total. Aquí podríamos ver un verdadero manantial de calor, capaz de reparar durante cierto tiempo las pérdidas que la radiación hace experimentar al Sol constantemente; pero existe otra fuente mucho más abundante, y vamos á darla á conocer en el párrafo siguiente.

§ V. DE OTRAS CAUSAS DE CONSTANCIA DE LA TEMPERATURA SOLAR.

Este nuevo manantial de calor, que puede contribuir poderosamente á mantener constante la temperatura solar, es la acción química, que debe comenzar á manifestarse desde el momento en que las circunstancias permitan actuar á la afinidad. Aún suponiendo la

temperatura del Sol tan baja como suponen los franceses, es ciertamente lo bastante elevada para mantener las diversas sustancias en el estado que los quimicos designan con la palabra *disociacion*; estado en que poseen una gran cantidad de energia, que se trasforma en calor en el momento de la combinacion. Han demostrado los quimicos que, á bastante temperatura, los cuerpos simples, no obstante la afinidad que tienen á reunirlos, pueden estar *en presencia* sin combinarse: en tal caso se dice que estan *disociados*. Cuando desciende la temperatura, puede efectuarse la combinacion, pero acompañada de un desprendimiento considerable de calor. Fijémonos por un momento en tan bellos descubrimientos, y veamos el partido que se puede sacar para el objeto que nos ocupa.

Los trabajos de H. Sainte-Claire Deville nos han hecho saber que, en las llamas, una cierta cantidad de los gases, gracias al calor, escapa á toda combinacion; el distinguido quimico, usando de ingeniosísimos procedimientos, ha conseguido aislar estos gases no quemados y medir su volúmen. Tambien ha demostrado el mismo quimico que, en la combustion de la mezcla de oxigeno é hidrógeno, la mitad de los gases queda en estado de disociacion por la gran cantidad de calor que la combustion de la otra mitad produce. Hay, evidentemente, paralelismo entre estos fenómenos y los correspondientes á la condensacion de los vapores. La parte condensada de la materia gaseosa desarrolla una cantidad considerable de calor, que estaba latente, y que, hecho sensible, sirve para mantener á una temperatura suficientemente alta la parte que escapa á la condensacion. Así, un kilogramo de vapor de agua,

al pasar al estado líquido, emite 540 calorías, y para solidificarse despues, 79; de manera que este vapor pasando al estado líquido, emite 540 unidades sin cambiar de temperatura, no obstante la pérdida de calor. Lo mismo ocurre á la masa que se solidifica. Evidentemente el enfriamiento está contenido singularmente por estas propiedades.

Hay gran analogía entre los hechos acabados de exponer y los fenómenos que acompañan á las combinaciones químicas. En estado de disociacion, tienen los gases cierta cantidad de calor latente (1), que se manifiesta en el momento de efectuarse la combinacion. Todo el calor que desaparece en la disociacion, reaparece en la combinacion, y segun las últimas determinaciones, esta cantidad, en el caso del agua, es igual á 3,830 calorías. Asi, suponiendo que los dos gases se combinan, sin quedar parte alguna disociada, resultará una cantidad de calor igual á 3,830 calorías. Hay una curiosa experiencia de Física que ofrece un ejemplo palpable de esta absorcion de calor en las disociaciones. Sumergiendo en un vaso de agua dos hilos de platino muy delgados, que sean los electrodos de una pila formada por 30 ó 40 elementos grandes de Buntén, si se introducen poco en el agua, se calienta ésta rápidamente sin descomponerse, pero si se sumergen más, comienza la descomposicion, cesando el calentamiento.

Suponiendo que una masa de gases disociados pa-

(1) Empleamos la palabra en el sentido usual. La teoría mecánica del calor ha determinado ya su significacion: posibilidad que se realiza.

se al estado de combinacion, todo el calor latente de disociacion se hará sensible, y por consecuencia, el enfriamiento será mucho más lento. Admitiendo que la radiacion haga perder al cuerpo, durante un año, una cantidad de calor capaz de hacer bajar su temperatura un grado; si en virtud de esta baja de temperatura la combinacion comienza en una parte de la masa y se extiende progresivamente á toda ella, como el calor desprendido en esta combinacion es capaz de elevar la temperatura del cuerpo 3,830 grados, el enfriamiento de un grado no se realizará hasta trascurrir 3,830 años, casi 40 siglos.

Se objetará, sin duda, que no estando compuesto el Sol únicamente de oxígeno é hidrógeno, el cálculo precedente no tiene aplicacion; pero, además de que las observaciones espectrales muestran que en el Sol hay gran cantidad de hidrógeno, hay también en él otras sustancias cuya temperatura de disociacion no podemos definir. Y en todo caso, no hay necesidad de conocer exactamente el calor de disociacion de todas las sustancias, para comprender el importante papel que desempeña en el fenómeno que acabamos de explicar.

Suponiendo que el Sol tenga un calor medio de disociacion igual al del agua, y suponiendo á más que, para pasar de la temperatura T á la temperatura T' necesitase un tiempo θ , no encontrándose en el estado de disociacion, este mismo descenso de temperatura no podría verificarse en un tiempo menor que 3,830 θ , cerca de 4,000 veces mayor. Es, pues, imposible que podamos aperebirnos de estas variaciones, porque son mucho menores que las que se producen en

las épocas de máximo y mínimo de las manchas, y esas escapan á nuestros medios de observacion.

Podríamos extremar más aún esta teoría. Los químicos nos enseñan que los pesos atómicos de los cuerpos simples son múltiplos del peso atómico del hidrógeno (1); y han encontrado, además, que hay una íntima relacion entre los pesos atómicos y los calores específicos de los cuerpos. Vários filósofos han pensado, en vista de esto, que los cuerpos tenidos por nosotros como simples, pueden ser considerados como compuestos de cierto número de átomos de hidrógeno. Si esta hipótesis correspondiese á la verdad de las cosas, sería muy posible que á la temperatura hoy existente en el globo solar, la disociacion alcanzase hasta estos primeros elementos, á los *Urstoff* de los filósofos alemanes. Habria, pues, otro nuevo manantial de calor, porque toda disociacion supone una considerable cantidad de calor latente, que debe hacerse sensible en el momento de la combinacion. Y no debe parecer inverosímil esta conjetura, sobre todo si reflexionamos en la misteriosa existencia de ese gas ligerisimo que produce la raya 4474 de la corona, y en la de ese otro cuerpo, de que tantas veces hemos hablado con motivo de la presencia de la raya D₃, sin olvidar tampoco tanta otra sustancia desconocida, cuya existencia acusan multitud de rayas del espectro,

(1) Esto expresa la ley de Proust, ley combatida y apoyada por muchos, que si fuese cierta, añadiría una probabilidad á las opiniones del autor. Bien es verdad que no puede formularse un argumento en contra de las mismas, fundándose en la falsedad de la ley. (*N del T*).

que no podemos referir á ningun cuerpo conocido. No queremos dar á estas hipótesis más valor del que realmente tienen para las personas doctas, que están muy distantes de creerlas incontestables; bástanos indicarlas, para dar una muestra de la riqueza y fecundidad de los elementos que la naturaleza puede tener á su disposicion.

Vemos, pues, que á pesar de la radiacion continua y abundante, la temperatura solar puede, si no permanecer absolutamente constante, á lo ménos variar con la lentitud bastante para que no sea posible conocerla sino al cabo de un período de algunos miles de años. (1) En un tiempo mucho más considerable, quizá despues de algunos millones de siglos, el Sol se enfriará

(1) No ha faltado quien crea poder pedir la resolucion del problema á los estudios geológicos, fundándose en que, así como la flora actual puede dar á conocer las condiciones climatológicas de una region, é indirectamente la cantidad de calor que recibe, de igual modo el conocimiento de los seres vivientes en otras épocas puede conducir al de las circunstancias entonces existentes. Sin creer falso el principio, nos parece que ni conocemos aún lo bastante el asunto en la parte referente á nuestro tiempo, ni mucho ménos en lo concerniente á los tiempos pasados; y que para resolver la cuestion por este camino, no se ha de necesitar mucho ménos tiempo que para conseguirlo por la observacion directa. Por otra parte, ¿no es de esperar que algun nuevo descubrimiento venga á acélerar la resolucion? ¿Hace tanto tiempo que, pensar en el análisis cualitativo de los astros, hubiera sido considerado como una locura? (N. del T.)

considerablemente, y llegará una época, sin duda, en que no tendrá fuerzas para sostener la vida en la superficie de los planetas. Consiste la economía actual de la creacion en que los grandes centros de energía que actúan sobre los otros astros situados á su alrededor, facilitan á los seres vivientes lo necesario para su existencia. No es esta energía inagotable; progresivamente va disipándose, y existe una tendencia hácia otro órden de cosas diferente. Posible es, sin embargo, que el Autor de la naturaleza haya dispuesto las cosas desde el principio de modo que pueda repararse la actividad consumida del Sol, mediante algun extraordinario fenómeno, tal, por ejemplo, como la caída de una nebulosa; pero éstas son cuestiones completamente ociosas, sobre las cuales no debemos detenernos ni un momento. El órden que actualmente reina en nuestro sistema, ¿debe persistir eternamente? El estado actual no ha existido siempre; la geología lo dice, y puesto que ha tenido principio, ¿por qué no ha de tener fin?

Antes de terminar este capítulo, vamos á contestar á una objecion que á primera vista parece grave; pero que realmente carece de importancia. Siendo el Sol un poderoso centro de atraccion, ¿cómo admitir que se encuentre en estado gaseoso? Siendo la atraccion proporcional á las masas, ¿cómo puede una masa gaseosa de volúmen limitado producir efectos tan considerables? Para desvanecer esta objecion, recordemos primero que el estado gaseoso no es incompatible con la gravitacion, y buena prueba de esto ofrece nuestra atmósfera, que ejerce una atraccion considerable. Tampoco es incompatible este estado con un

densidad considerable: al comprimir un gas para aumentar su densidad y disminuir su volumen, se acaba tarde ó temprano por licuarlo; pero para impedir la liquefaccion, basta elevar la temperatura. (1) Ahora bien, estas dos circunstancias se encuentran reunidas en el Sol: la temperatura es muy alta, y la presión, por lo ménos en las capas inferiores, es enorme. Por otra parte, la densidad media del Sol, con relación á la del agua, es sólo 4,42, valor no muy grande, sobre todo si tenemos en cuenta que en esta masa hay metales cuyos pesos atómicos son muy considerables, (2) comparados á los correspondientes á los gases verdaderos. Vemos, pues, que la densidad media del Sol es bastante pequeña para ser compatible con el estado gaseoso, siendo no obstante la suficiente para explicar la poderosa atraccion ejercida por el astro sobre los planetas que le rodean.

(1) Segun las opiniones de Pictet, fundadas en sus trabajos y los de Nartterer, necesitan los gases para condensarse llegar á un mínimo de temperatura, sobre el cual es absolutamente imposible el estado líquido, sea cualquiera la presión. Si esta opinion coincidiese con la verdadera ley natural, la existencia del Sol en estado gaseoso sería casi incontrovertible, admitiendo que se encuentre á la temperatura que el autor supone.

(N. del T.)

(2) Los pesos atómicos y las densidades de los vapores estan íntimamente relacionados, de tal suerte que, conocido uno de los elementos, está conocido el otro. Así, una sustancia cuyo peso atómico sea 100, siendo 1 el del hidrógeno, producirá un vapor cuya densidad será respecto á la del hidrógeno como 100: 1.

De cuanto llevamos expuesto en este capítulo, podemos sacar las siguientes conclusiones que forman el resumen:

1.^a La temperatura del Sol se eleva á muchos millones de grados, pero nos es imposible determinarla con exactitud.

2.^a Probablemente esta temperatura reconoce como causa la gravitacion, habiendo sido quizá producida por la caída de la materia que constituyó la nebulosa primitiva, y hoy forma el Sol y los planetas.

3.^a En el periodo de formacion del sistema, la temperatura debió ser mucho más alta que en la actualidad, encontrándose hoy el Sol en un periodo de enfriamiento.

4.^a Aunque pierde el Sol continuamente enormes cantidades de calor, la disminucion de su temperatura es extraordinariamente pequeña, no excediendo de 4 grado en cuatro mil años. Este resultado es debido á su condensacion, y en parte al estado de disociacion en que se encuentra su materia, por la accion del calor.

5.^a Aunque la temperatura del Sol no sea absolutamente invariable, sus variaciones son, sin embargo, menores que las fluctuaciones á corto periodo que observamos, sin poder valuarlas de un modo completo: así, pues, debemos creer que nuestro planeta seguirá siendo habitable durante una larga série de siglos.

CAPÍTULO III.

De algunos fenómenos dependientes de la constitucion física del Sol.

§ I. CIRCULACION DE LA MASA FLÚIDA QUE COMPONE EL SOL.

Si es cierto que actualmente se encuentra el Sol en estado de condensacion progresiva, y que una parte á lo ménos de la materia que lo constituye se halla en estado gaseoso, deberá notarse en el movimiento de sus diversas partes algun fenómeno resultante de esta fluidez total ó parcial, fenómeno ó fenómenos incompatibles con la hipótesis de una masa sólida y rígida.

Desde luego, si está la masa en estado fluido, es necesario convenir en que las diversas capas concéntricas gozan de una gran libertad de movimientos, y no dependen completamente unas de otras, como ocurre en la rotacion de los cuerpos sólidos, en que todas las moléculas tienen igual velocidad angular. Si la condensacion es progresiva, deberá ocurrir, en virtud del principio de las áreas, que las capas interiores tendrán mayor velocidad angular que las superficiales; de este modo se explica la formacion y aceleracion

progresiva de los anillos que, al romperse, dan origen á los planetas. Cierto es que el rozamiento entre las diferentes partes que constituyen el globo solar, tiende, retardando el movimiento de las capas interiores y acelerando el de las más distantes del centro, á hacer uniforme la velocidad angular de la masa; pero siendo esta reaccion sucesiva, mientras la causa que acabamos de señalar es continua y persistente, resultará una tendencia continua á la igualdad de velocidad, tendencia que jamás se realizará. Ya hemos hecho constar, en el estudio de las manchas, los fenómenos que hacen sospechar esta mayor velocidad en el interior que al exterior; tales son, por ejemplo, los saltos hácia adelante que tan frecuentemente se producen en las épocas de recrudescimiento de la actividad solar. Esta diferencia de velocidades debe ponerse de manifiesto, especialmente en las erupciones y en las manchas producidas por masas procedentes de grandes profundidades, que deben llegar animadas de velocidades superiores á las que animan á las capas que las rodean.

Este principio encierra la explicacion de un fenómeno muy importante, buscada inútilmente. El estudio de las manchas prueba que la velocidad angular de rotacion es mayor en el ecuador que sobre los paralelos; segun la ley de Faye, fundada en las observaciones de Carrington, la diferencia de las velocidades angulares es proporcional al cuadrado del seno de la latitud: $K \text{ sen}^2 \lambda$. Este hecho se explica fácilmente por la contraccion de la masa solar. En virtud del enfriamiento, el rádio del círculo descrito por cada punto debe disminuir de longitud y la velocidad angular

aumentar en proporcion (1). Siendo el área del círculo ecuatorial πR^2 , la del paralelo situado á la latitud λ será $\pi R^2 \cos^2 \lambda$, y los crecimientos de velocidad debidos á la contraccion, seran: en el ecuador, $2K\pi R dR$; y en la latitud λ , $2K\pi R dR \cos^2 \lambda$, porque la latitud del punto durante esta contraccion permanece constante. Tomando la diferencia, hallaremos

$$2K\pi R dR(1 - \cos^2 \lambda) = 2K\pi R dR \sin^2 \lambda,$$

ó lo que es lo mismo, que la diferencia de los aumentos de velocidad angular, es proporcional al cuadrado del seno de la latitud: ó sea, la ley de Faye. Sin duda este valor teórico de la aceleracion deberá experimentar grandes modificaciones á causa de las numerosas reacciones que se producen en la circulacion general; pero como en esto es tambien permanente la causa, el efecto definitivo será un aumento de velocidad en el ecuador. Si actuase sola la fuerza aceleratriz, la aceleracion seria constante, y la velocidad creceria constante é indefinidamente, pero el rozamiento y el conjunto de reacciones de las moléculas unas sobre

(1) La superficie de un sector cuyo ángulo sea α , y cuyo rádio sea r , puede representarse por $\frac{1}{2} r^2 \alpha$. Si el rádio disminuye convirtiéndose en r' , la superficie será $\frac{1}{2} r'^2 \alpha'$; y como las áreas descritas en tiempos iguales deben ser iguales, tendríamos: $\frac{1}{2} r^2 \alpha = \frac{1}{2} r'^2 \alpha'$, de donde $\alpha' = \frac{r^2}{r'^2} \alpha$, y como $r > r'$, tendremos $\alpha' > \alpha$.

otras, pone un límite á esta aceleración, estableciendo entre estas fuerzas antagónicas un equilibrio dinámico, que produce como resultado definitivo un movimiento uniforme más rápido en el ecuador que en las latitudes elevadas.

La observación ha probado también que la temperatura es más elevada en el ecuador del Sol que en los polos; este exceso de calor puede depender así mismo de igual causa. Esta desigual distribución del calor debe producir un movimiento continuo, una verdadera circulación de los gases, en la atmósfera superior, del ecuador hacia los polos, y de los polos hacia el ecuador en el interior del globo solar. En las partes más altas de la atmósfera, sobre la cromoesfera especialmente, aparece manifiesta esta circulación, marcándose por la dirección de las protuberancias, inclinadas generalmente hacia los polos. No está probada aún la existencia de análoga circulación en la fotosfera, porque no se ha encontrado ley de constancia en el movimiento en latitud de las manchas, mientras está perfectamente demostrado que gozan de un movimiento en longitud, cuyo máximo se encuentra sobre el ecuador. En el capítulo V del libro precedente hemos señalado ya los movimientos generales en las zonas de actividad, que pueden tener relación con estas circulaciones. (1)

(1) «Esta circulación, claramente indicada por las protuberancias, existe de igual modo á mayor profundidad, pero cerrando el círculo; lo que llamamos superficie del Sol es el lugar del cambio de dirección de las circulaciones; no es maravilla que en ella no se noten. La

Si no fuese constante la velocidad de enfriamiento, la velocidad de la corriente ecuatorial sería variable, y podrían ser atribuidos á estas variaciones los cambios periódicos observados en la duracion de la rotacion solar; fenómeno que, segun Spörer nos escribe, acaba de comprobar. La rotacion solar es muy compleja, y nos es imposible determinar su duracion de una manera exacta, sirviéndonos solamente de las observaciones que hacemos en la superficie del Sol; quizá necesitaríamos para conseguirlo acudir á otro orden de fenómenos, por ejemplo, á las influencias magnéticas. Si admitiésemos tal elemento, llegaríamos á deducir un periodo de rotacion más corto que el resultante de la observacion de las manchas ecuatoriales.

§ II. CONSTITUCION DE LA SUPERFICIE VISIBLE DEL SOL.

Mediante la observacion óptica, sabemos que la superficie visible del Sol presenta un aspecto jaspeado

existencia de la circulacion profunda tiene más de una prueba. La aparicion de las manchas solo en la region central, indica, en esta, la presencia de la rama ascendente. Los vapores más densos no aparecen más que á favor de la corriente. El choque de las circulaciones parciales aleja del plano medio, del ecuador, las ramas ascendentes y produce la falta de manchas en el centro de la zona media.» *Ast. New.* New-York, 1877. Creemos exagerada la importancia que se atribuye aquí á la circulacion. (N del T).

do, y que está cubierta de innumerables granulaciones. En la observacion de los eclipses se nota que sobre esta superficie visible existe una capa de vapores brillantes, teniendo un espesor muy apreciable, y que encima de estos vapores hay una atmósfera difusa. Si la masa brillante es gaseosa y goza por lo tanto de cierta trasparencia, hay motivo para preguntar: ¿á qué llamamos superficie del Sol?

Hé aqui lo que creemos poder contestar á esta pregunta: llamamos *superficie* del Sol á la capa que, para un observador situado en la Tierra, divide la masa del Sol en dos partes; una más exterior, débilmente luminosa y sensiblemente trasparente, y otra más inmediata al centro, opaca y brillante. No es esta capa una superficie geométrica; necesariamente tiene un cierto espesor: hay un limite inferior en que la materia cesa en absoluto de ser trasparente, y otro superior en donde deja de ser luminosa: entre estos dos puntos, á medida que la trasparencia crece, disminuye progresivamente el poder luminoso. El análisis espectral muestra que en esta capa estan los elementos en estado de difusion extrema; en la parte interior las rayas de Fraunhofer se marcan perfectamente; en la exterior no se encuentran ya, tanto á causa de la luz difundida por nuestra atmósfera, cuánto por la del mismo Sol. Gran número de rayas desaparecen en el intervalo que separa estas capas; otras se hacen ménos intensas, y aún algunas se invierten por completo.

No termina aún aquí la masa del Sol, segun podemos ver en los eclipses. Encima de esta capa, cuya luz vá disminuyendo progresivamente, existe otra

sustraida de ordinario á nuestras observaciones, porque su brillo no es mayor que el de la luz difusa que recibimos de nuestra atmósfera iluminada por el Sol. El nivel de esta última capa no es constante, lo que equivale á decir que el diámetro solar varía con el tiempo; variacion ciertamente muy pequeña, pero sensible.

Si el Sol es gaseoso en toda su masa, pudiera preguntarse, ¿por qué no es completamente trasparente? ¿por qué una parte es visible y otra invisible? Estas preguntas exigen algunas explicaciones, que acabaran de hacer comprender lo que llevamos dicho.

Admiten como axioma algunos autores, que todos los gases son transparentes, sea cualquiera su temperatura y presión; y léjos de estar probada la certeza de esta asercion, debemos considerarla como absolutamente falsa en su generalidad. Ya hemos hecho notar que el hidrógeno de las protuberancias no es rigurosamente trasparente, porque de serlo debiera observarse mayor brillo en los puntos de superposicion de las venas ó surtidores, cosa que no ocurre, y por no ocurrir tienen las protuberancias ese aspecto singular que no ofrece relieve alguno á los ojos del observador. Es posible, pues, que un gas incandescente no goce de completa transparencia.

Notemos, por otra parte, que el Sol debe estar formado principalmente de vapores metálicos, muy poco transparentes, puesto que producen las enérgicas absorciones que dan origen á las rayas de Fraunhofer. Por lo demas, la existencia de estas mismas rayas prueba que los vapores estan en estado de gases verdaderos, y no en el de nieblas.

Bien comprendidas estas reflexiones, responden de un modo bastante exacto à las preguntas formuladas con respecto à la superficie del Sol. Esta superficie nos parece determinada por varias circunstancias: 1.^a por el nivel de los vapores metálicos más pesados; Cailletet ha probado que, bajo una fuerte presión, las rayas de los vapores metálicos se hacen difusas; si el vapor se hace más denso, las rayas se trasforman en bandas muy anchas, como hemos visto ocurre con el sódio y el tálio; y sin duda, bajo presión conveniente, los espectros se harán continuos como el del hidrógeno, y entonces puede creerse que los vapores cesarán de ser transparentes. 2.^a Por la temperatura à que los vapores más pesados se condensan y pasan al estado de niebla.

Ya hemos dicho que hay dos modos de concebir la existencia de la fotosfera: puede estar formada de gases sometidos à una presión bastante fuerte para que emitan una luz muy brillante, dando espectro continuo, ó bien de gases metálicos en estado de niebla incandescente. Hasta hoy día no conocemos razón alguna suficiente para decidirnos por una de las dos hipótesis. Esto no obstante, las variaciones del diámetro solar, que nos parecen incontestables, se explican más fácilmente en la teoría de Wilson, que atribuye el brillo de la luz solar à partículas sólidas é incandescentes, flotantes en una atmósfera gaseosa. Bastaría entonces, una elevación local de temperatura, ó un aumento de actividad, para volatilizar una parte de estas partículas sólidas; así vemos que, en las épocas de gran actividad y en los puntos donde particularmente se manifiesta, la superficie visible que limi-

ta exteriormente al Sol, se encuentra deprimida. (1)

La solución definitiva de esta cuestión depende de las propiedades que posean los vapores metálicos cuando están sometidos á temperaturas muy elevadas y á muy altas presiones; para resolverla, será preciso esperar á que los físicos hagan sobre este punto experimentos más precisos.

§ III. VARIACIONES DE LAS ENVOLVENTES SOLARES.

Hemos reconocido que la superficie del Sol es gaseosa, y la hemos comparado á la superficie de nivel de una masa de nubes ó de gases, hecha incandescente bajo fuerte presión. Si esta manera de ver está de acuerdo con la realidad, debemos comprender que una superficie de tal modo determinada, puede sin dificultad cambiar de posición, y por lo tanto, limitado el Sol por una capa variable, debe sufrir también variaciones en su diámetro. Los astrónomos han notado ya hace tiempo que el diámetro parecía no tener siempre la misma magnitud; pero atribuían estas diferencias á errores accidentales y á las ecuaciones personales de los observadores.

Con relación á este asunto, ya hemos dicho que los resultados de las investigaciones del P. Rosa señalan

(1) La existencia de las partículas sólidas se opone á la hipótesis de una temperatura de algunos millones de grados, según los experimentos de Pictet.

como probable la existencia de una variación de período más ó ménos largo. Añadiremos, en este lugar, solamente que estos trabajos no han sido abandonados en el Colegio Romano, y que un jóven astrónomo, Spee, habiendo proseguido estas observaciones, ha visto que, en la época actual de calma (1876), el Sol tiene un diámetro cuya magnitud es casi en absoluto constante, estando conforme con el valor que le ha sido asignado en Greenwich. Las diferencias de un día para otro no afectan más que á las centésimas de segundo de tiempo, mientras en las épocas de actividad alcanzan á las décimas, segun ya dijimos.

Es sumamente interesante la comparación de los resultados obtenidos recientemente con los que se obtuvieron en tiempos de gran actividad. El P. Rosa consiguió señalar cierta regularidad en estas variaciones que parecen tan irregulares, construyendo la curva correspondiente á las observaciones del año 1871-72, que fué época de máximo. Para construirla, tomó como absisa el grado de la latitud heliográfica correspondiente al diámetro solar observado, en el día, por el método de los pasos, y por ordenadas el valor correspondiente á este mismo diámetro. Con el fin de disminuir los errores accidentales, agrupó las observaciones de tres en tres y tomó la media. Construida la curva, fué fácil notar que el diámetro solar presenta un mínimo en la latitud de 21 grados, precisamente en el lugar de mayor actividad. Este mínimo se reproduce en las cuatro partes de la curva correspondientes á las cuatro estaciones; estas curvas se cortan dos á dos, y sus intersecciones están muy próximas, mientras en lo demas estan separadas unas de

otras por intervalos bastante considerables. Hé aqui, segun los trabajos del P. Rosa, los valores medios del diámetro solar correspondientes á cada latitud.

Diám. Medio.		Diám. Medio.				
Lat. 0....	32.4,31	} 32.3,84	Lat. 15....	32.2,54	} 32.2,66	
» 1....	32.3,30		» 16....	32.2,57		
» 2....	32.3,90		» 17....	32.2,88		
» 3....	32.3,82		» 18....	32.3,16		
» 4....	32.3,99		» 19....	32.3,33		} 32.2,87
» 5....	32.3,12		» 20....	32.2,11		
» 6....	32.3,98		» 21....	32.1,84		} 32.2,18
» 7....	32.4,00		» 22....	32.2,70		
» 8....	32.3,28		» 23....	32.1,99		} 32.2,86
» 9....	32.3,47		» 24....	32.3,19		
» 10....			» 25....	32.2,86		} 32.2,86
» 11....	32.2,25		» 26....	32.2,52		
» 12....	32.2,63					
» 13....	32.2,89		} 32.3,30			
» 14....	32.4,38					

Segun H. Wolf, de Zurich, el diámetro tiene su máximo en la época en que las manchas abundan más.

Bien léjos estamos de atribuir un valor absoluto á estas conclusiones; pero como las observaciones del P. Rosa están confirmadas por las observaciones antiguas y por el exámen detenido del asunto, las creemos lo suficientemente notables para llamar sobre ellas la atencion de los astrónomos.

§ IV. RESÚMEN.

Nos hemos ocupado, hasta el presente, de la estructura, constitucion interior y estado fisico del Sol.

Antes de llegar á lo que concierne á su actividad exterior, vamos á echar una ojeada sobre el conjunto de los hechos que constituyen la ya larga série expuesta, reasumiendo en pocas palabras la doctrina que de ellos se desprende.

1.º Está compuesto el Sol por una masa f uida incandescente,   muy alta temperatura; los metales y demas sustancias, tanto desconocidas como conocidas, se encuentran en su superficie al estado de vapor permanente.

2.º El límite del globo solar, para nosotros, es el lugar de los puntos donde los vapores se hacen incandescentes, ya por condensarse en forma de niebla, ya por efecto de una gran presión y de una elevada temperatura. Esta capa térmica recibe el nombre de *fotoesfera*; de ella parten rayos luminosos de todas clases, que debieran formar un espectro continuo.

3.º Sobre la fotoesfera hay una *atmósfera*, cuya naturaleza es muy compleja. En la parte inferior de esta atmósfera se encuentran vapores metálicos, cuya temperatura no es alta, relativamente; estos vapores, que absorben gran número de rayos y producen las rayas de Fraunhofer, encu ntranse mezclados con una gran cantidad de hidrógeno, que por sí sola forma una capa visible llamada *chromoesfera*, cuya altura ordinaria es de 10   15 segundos. Debemos presumir, en vista de esta disposición, que los gases están mezclados simplemente, y que tienen cierta tendencia   superponerse por órden de densidades.

4.º La última capa, constantemente visible al espectróscopo, es la chromoesfera; sobre ella est  mezclado el hidrógeno con las sustancias que producen la

raya D_3 y la 4474 K; probablemente contendrá esta mezcla algunos otros elementos. Todas estas sustancias, en estado de difusión y rarefacción extremas, constituyen una envoltente, visible solamente durante los eclipses, en los cuales produce la *corona*. Esta ligerísima atmósfera, tal vez por su prolongación, será el origen de la luz zodiacal.

5.º En el interior del Sol reina una violenta agitación, que se manifiesta por el levantamiento á considerable altura de la fotosfera y la cromoesfera, levantamiento que constituye verdaderas erupciones. Con ayuda del espectróscopo, podemos reconocer la presencia de la sustancia eruptiva á la altura de 8 minutos, ó sea, á 340,000 kilómetros; durante los eclipses se han observado protuberancias, cuya altura llegaba á 700 mil kilómetros. Bajo la influencia de las fuerzas eruptivas, la materia cromoesférica se levanta hasta enormes alturas, comparables á las que alcanzan los penachos observados durante los eclipses, cuya longitud excede del tercio del diámetro solar. Son tan enérgicos estos movimientos, que bien pudiera una parte de la materia eruptiva ser lanzada fuera de la atmósfera solar y esparcida en los espacios planetarios.

6.º En estas erupciones, las masas más pesadas, compuestas principalmente de vapores metálicos, vuelven á caer sobre el Sol depositándose sobre la fotosfera en forma de placas oscuras y absorbentes; por su propio peso forman en la materia fotosférica cavidades que se llenan de esta sustancia oscura, y á esto llamamos *manchas*. El análisis espectral nos muestra en estas regiones la existencia de una ab-

sorcion electiva muy enérgica, y la naturaleza de las rayas modificadas señala la presencia de iguales sustancias en las manchas y en las erupciones. Despues, la materia brillante de la fotosfera invade estas cavidades y disuelve la materia oscura, terminando las manchas de este modo.

7.º Las regiones de la superficie solar elevadas sobre el nivel comun por las fuerzas eruptivas, ó aquellas otras cuyo brillo es mayor por causa de poseer mayor actividad térmica, constituyen lo que llamamos *fáculas*. La elevacion de estas fáculas sobre el nivel comun puede con frecuencia notarse por la observacion directa; la observacion espectral dá resultados aún más perceptibles. En buenas condiciones se reconoce de ordinario en ellas la presencia de los vapores de sódio, magnésio, hierro, y de otras várias sustancias.

8.º En las regiones comprendidas entre el ecuador y los 40 grados, en la region de las manchas, la actividad solar es más considerable; la agitacion interior se hace sentir en ella especialmente, y se manifiesta en erupciones violentas. En las latitudes más altas las fuerzas eruptivas solo alcanzan á levantar la cromoesfera; los vapores metálicos nunca se elevan á gran altura, y sólo en los puntos más bajos de la atmósfera, inmediatos al limbo, es posible distinguirlos trabajosamente.

9.º Estan caracterizadas las regiones de las manchas por la violencia de las erupciones que en ellas se producen, por la altura y viveza de los surtidores, y por el gran número de vapores metálicos que entran en su composicion, cosas todas que prueban la existencia de

una alta temperatura y de una considerable potencia en la causa productora del fenómeno. Las dos zonas estan separadas por otra, cuya actividad es menor. Hacia los polos hay dos regiones de actividad intermitente.

10.º Las manchas que desde hace tiempo atraen la atencion de los observadores, no son más que fenómenos secundarios producidos por las erupciones, de las que dependen tanto en su formacion como en sus diversas fases. En el periodo de disolucion, cuando van á borrarse las manchas, ocurren en ellas algunos otros fenómenos, tambien secundarios, debidos á la mezcla de la sustancia oscura con la luminosa inmediata, estando ámbas á temperaturas muy diferentes; en este último periodo no se distingue ya otra cosa más que llamas muy bajas y muy débiles, agitaciones en la cromoesfera, y áun en algunos casos, aunque muy raros, falta completa de llamas y de agitacion cromoesférica.

11.º La superficie conmovida por estas agitaciones es mucho mayor que la ocupada por la mancha. Si las materias eruptivas, especialmente el sódio, no tuviesen tan gran poder absorbente, no sería la formacion de una mancha consecuencia necesaria de una erupcion; la materia lanzada en estas de ordinario está tomada de la fotosfera, y no es otra cosa más que vapores metálicos, los cuales, una vez enfriados, se depositan en la superficie y producen cavidades, tanto más profundas cuanto son más pesados.

12.º Siendo menor la cavidad cerca de los polos, sólo la cromoesfera se agita y levanta, dando origen á protuberancias que, conteniendo solamente hi-

drógeno, no pueden suministrar los vapores absorbentes necesarios á la formacion de las manchas. No s6n, pues, todas las protuberancias verdaderas erupciones; la diferencia esencial consiste en la ausencia 6 presencia de los vapores metálicos; áun sin necesidad del espectróscopo ni de la observacion especial de las rayas, puede notarse la diferencia entre estos dos fenómenos por el aspecto exterior y por la diferencia de altura y brillo de los surtidores incandescentes. Cerca de los polos, las protuberancias se reducen, algunas veces, á una simple difusion de la materia cromoesférica, semejante á la que observamos en nuestras nubes. La granulacion de la superficie solar reconoce como causa la cantidad innumerable de pequeños surtidores incandescentes, que en forma de llamas, de pelos y de haces se encuentran por todas partes en el contorno del disco.

13.º Ofrece la actividad del Sol variaciones periódicas muy singulares, siendo probablemente la duracion del periodo de once años y un tercio. Durante este tiempo, otras variaciones se producen, si bien son mucho ménos extensas y su período tambien más corto; variaciones son estas cuya causa es desconocida, aunque parece dependen de la accion de los planetas. Hasta muy recientemente no se habia estudiado la variacion de la actividad solar más que con respecto al número de manchas, pero las observaciones espectrales, hechas últimamente, nos han dado á conocer la existencia de cambios periódicos muy complicados en la extension que ocupan las protuberancias, siguiendo una marcha subordinada á las manchas.

14.º Aunque sea para nosotros completamente

desconocido el estado interior del Sol, todo parece indicar que el estado gaseoso llega á gran profundidad. En el interior existirá sin duda ese estado crítico, limite entre el liquido y el gaseoso, en que las fuerzas antagónicas estan en un equilibrio muy poco estable, lo que explica la abundancia y la energía de las erupciones.

15.º La enorme cantidad de calor, hoy existente en el Sol, no es más que un pequeño resto de la que fué engendrada al formarse este astro. El origen fundamental de este calor es la gravitacion, cuyo trabajo ha desarrollado la inmensa cantidad de fuerza concentrada en este vasto foco; la condensacion progresiva del Sol continua produciendo calor todavía, y contribuye de este modo á mantener constante la temperatura del astro.

16.º No obstante la inmensa cantidad de calor perdida por el Sol en la radiacion, hay en el mismo astro elementos de compensacion muy poderosos; ya hemos indicado uno, la accion de la fuerza atractiva universal, pero en el cambio de estado de la materia solar está sin duda el mayor: basta, en efecto, que una pequeña parte de esta materia pase al estado de combinacion desde el de disociacion, para que emita una cantidad de calor capaz de compensar abundantemente las pérdidas cotidianas.

17.º Debemos, pues, considerar al Sol como un cuerpo que, perdiendo calor, conserva su temperatura constante durante periodos inmensos, mucho mayores que todos aquellos que pueden tener algun interes para la humanidad. Supongamos que la materia solar se encontrase en estado de difusion lo

bastante grande para ocupar todo el espacio planetario hasta la órbita de Neptuno, y supongamos también que una fuerza cualquiera la condensara súbitamente, sin pérdida de fuerzas vivas, hasta hacerle ocupar su volumen actual; en tal caso, la cantidad de calor producido por la condensación, sería bastante para volatilizar de nuevo toda la masa entera; por esta sola consideración podemos juzgar de la enorme pérdida de energía térmica que ha debido sufrir el Sol, antes de llegar al estado en que hoy se encuentra.

18.º De estas continuas pérdidas resulta una circulación general en la masa solar, circulación que se manifiesta por la dirección de las protuberancias, inclinadas con regularidad hacia los polos, y por las diferencias sensibles entre la velocidad de rotación máxima correspondiente al ecuador y las que en otras partes existen, menores mientras más alta la latitud. La existencia de la circulación solar es indudable, aunque no haya sido aún completamente demostrada ni estudiada, y aunque con frecuencia aparezca alterada su regularidad por las acciones propias de las manchas y las protuberancias.

19.º Nada prueba que el Sol debe permanecer indefinidamente en el estado que hoy lo vemos; pero, si tomamos en cuenta su enorme masa, podemos estar seguros de que la influencia que ejerce sobre su cortejo de planetas y satélites continuará ejerciéndose durante millones y millones de siglos, sin ningún cambio apreciable.

Hasta este momento sólo hemos hablado de la naturaleza íntima del misterioso astro que nos alumbrá; los descubrimientos hechos son, sin duda, bien poca

cosa, y aún estan nuestros conocimientos mezclados de sobradas dudas. Sin embargo, si consideramos los rápidos progresos de la ciencia en estos últimos tiempos, no podemos ménos de felicitarnos por los inmensos trabajos hechos, y abrigar la esperanza de que los investigadores que con tanta energía y perseverancia trabajan; no tardaran mucho en darnos á conocer nuevas maravillas.

LIBRO SÉTIMO.

Actividad exterior del Sol.

CAPÍTULO PRIMERO.

De las radiaciones.

Hasta el presente hemos considerado el Sol en sí mismo, procurando determinar su naturaleza, hasta donde las observaciones ópticas lo permiten. Vamos ahora á estudiar su actividad exterior, y así podremos dar á conocer algo de la incalculable potencia de este inmenso manantial de fuerza y vida. Su actividad exterior tiene dos modos de manifestarse: la radiación y la gravitación. Ocupémonos ántes de la primera, y reservemos para otro capítulo la segunda.

§ I. INFLUENCIA DE LAS RADIACIONES EN EL UNIVERSO.

Mucho hemos hablado ya de las radiaciones luminosas y cálorigas, pero siempre bajo el punto de vis-

ta de las ideas que pudieran suministrarnos sobre la constitucion del Sol; ahora debemos examinarlas detenidamente, y estudiar la influencia que ejercen sobre los planetas.

El Sol es, puede decirse, el primer motor de que dependen todos los movimientos del sistema planetario, no sólo en cuanto á la regularidad de las órbitas descritas por los astros, sino tambien respecto á todos los fenómenos físicos y fisiológicos que se verifican en sus superficies. Y contrayéndonos á la Tierra en particular, los movimientos atmosféricos, los de las aguas, el desarrollo de la vegetacion, la produccion de fuerza resultante de las combustiones y de la nutricion de los animales; todos estos fenómenos se deben á la influencia de las radiaciones solares.

La atmósfera es una verdadera máquina, por más que no veamos en ella ni ruedas, ni émbolos, ni palancas; grandes masas de aire y de vapor se mueven en su seno y sostienen una circulacion constante á expensas de la accion del calor. Cuando el calor del Sol, dilatando el aire en ciertas regiones, eleva grandes masas gaseosas produciendo así un vacío, otras masas acuden rápidamente á llenarlo; de aquí se originan las corrientes atmosféricas, y la poderosa accion del viento que impulsa nuestras naves sobre el mar. La fuerza emanada del Sol es tambien la que eleva las aguas en forma de vapores, para que despues caigan convertidas en lluvias bienhechoras y fecundicen nuestros campos. Al Sol debemos las claras fuentes en que apagamos nuestra sed, y los caudalosos rios cuya fuerza pone en movimiento nuestras máquinas; él tambien alza del Oceano los vapores que produ-

cen las nieves en las elevadas cumbres de las montañas; por él la nieve, distribuyendo la fuerza, la fecundidad y la vida, corroe nuestras viejas tierras y arrastra al fondo de los mares los materiales que han de formar las nuevas montañas y los nuevos continentes, cuando otra revolucion geológica ponga término al orden de cosas hoy existente.

Pero si algo hay más admirable aún, es sin duda la manera de almacenarse, por decirlo así, la fuerza solar, no sólo en los vegetales existentes en la superficie de la tierra, que sirven para la alimentacion, el ornato, y todas las necesidades de la vida; sino tambien en aquellos que, sepultados en las profundidades hace millares de años, salen hoy á la luz del dia para alimentar nuestros hogares y producir la fuerza que mueve nuestras máquinas. Cuando los rayos del Sol caen sobre las plantas, no se reflejan y dispersan como al herir la árida roca y las abrasadas arenas del desierto; el vegetal los absorbe; y la fuerza viva de sus vibraciones se emplea en destruir las combinaciones formadas por el oxígeno con el carbono y con el hidrógeno, *ácido carbónico* y *agua*, combinaciones estables, y elementos esenciales del aire atmosférico. Entonces las plantas se asimilan el hidrógeno y el carbono unidos en combinaciones ménos estables, que despues, ya en nuestros hornillos, ya en los órganos de los animales, se destruyen para reproducir el agua y el ácido carbónico, restituyendo la fuerza viva solar que guardaban en depósito. Cada planta es por lo tanto una máquina, un aparato, en donde se elaboran esas sustancias eminentemente combustibles que nos suministran directamente el calor y la luz, ó producen

sirviéndonos de alimento, la fuerza y el calor vital indispensables, que ellas tomaron ántes del Sol. Este astro, pues, en último análisis, y de un modo directo ó indirecto, es el sosten de todos los fenómenos de la naturaleza, y áun de nuestra propia existencia.

La manera de realizarse tan maravillosas operaciones nos es todavía desconocida; solamente sabemos que estos fenómenos se verifican por la agencia de las vibraciones luminosas, caloríficas y químicas, porque bajo esta forma vibratoria es como se propaga hasta nosotros la energía solar, y ejecuta esas admirables obras de que nosotros nos aprovechamos. Cuando dos moléculas están unidas por los lazos de la afinidad química, es necesario una fuerza para separarlas, para destruir la combinación; y esta fuerza, así empleada, produce un trabajo comparable á un trabajo mecánico cualquiera. Cuando, por ejemplo, se eleva un cuerpo á cierta altura, para separar este cuerpo de la tierra, es necesario consumir cierta fuerza, produciendo un cierto trabajo; cuando el cuerpo cae, restituye la fuerza empleada en elevarlo. El Sol produce una cosa semejante entre las moléculas de los cuerpos en la superficie de la tierra; las separa, las aleja unas de otras, y en esta operación la fuerza solar, podemos decir, queda latente en los vegetales, como la del hombre ó del animal en la masa elevada á cierta altura, ó como está almacenada la de la máquina en el volante.

Durante los innumerables siglos que precedieron á la creación del hombre, hizo el Sol lo mismo que hace en nuestros días; los vegetales desarrollados en ciertos periodos geológicos, y trasformados por la ac-

cion del tiempo en ullas y lignitos, arden hoy sobre las parrillas de nuestras máquinas de vapor, y así utilizamos el trabajo que el Sol ejecutó hace luengos siglos.

Estas nociones que la ciencia ha hecho ya tan populares, enseñan cuan inmenso poder tienen las radiaciones solares, que vamos á estudiar ahora detenidamente.

§ II. DISTINCION DE LAS RADIACIONES.

Entre las radiaciones solares, llaman la atencion directamente la luz que nos alumbra, y el calor que la acompaña; pero existe, ademas, otro orden de fenómenos de alta importancia, y es la radiacion química, que, en union de las otras dos, llega hasta nosotros. Así, pues, hay que distinguir tres cosas en lo que generalmente designamos, al tratar del Sol, bajo el nombre de *luz*: 1.^a La accion luminosa que, actuando sobre los órganos de la vision, produce efectos fisiológicos especiales; 2.^a La accion térmica, que actúa sobre todos los cuerpos, y 3.^a La accion química, que produce ciertos fenómenos de desagregacion molecular.

Estas tres actividades no son tres entidades distintas; son nada más que efectos diferentes de una misma accion, consistente en una série de ondulaciones, distintas unas de otras, simplemente por su mayor ó menor amplitud y su mayor ó menor velocidad.

Las ondas cuya longitud está comprendida entre 768 y 369 millonésimas de milímetro, son capaces de hacer vibrar nuestro nervio óptico, produciendo

así la sensación de luz: los diversos colores dependen solamente de la magnitud de estas ondas, hallándose en el rojo las mayores y en el violado las menores.

Á guiarnos sólo por la observacion vulgar, pudiéramos decir que, á partir desde el verde hasta llegar al extremo final del violado, hay en las ondas luminosas, á más de las propiedades que su nombre indica, el poder de producir desagregaciones moleculares, acciones químicas, y tambien vibraciones luminosas bastante notables, en la superficie de ciertos cuerpos. Las ondas que gozan de estas propiedades, se extienden fuera del espectro visible en un espacio considerable, donde nada pueden distinguir los ojos; sin embargo, puede reconocerse su existencia haciendo uso, bien de preparaciones fotogénicas, ó de ciertas sustancias de naturaleza particular, que designamos con el nombre de *fluorescentes*, como congéneres, bajo este punto de vista, al *espató fluor*, que, sometido á la insolacion, se torna luminoso.

Á partir tambien del verde, pero en sentido del rojo, las ondas luminosas van siendo mayores, y poseen la propiedad de conmover los grupos moleculares, sólo por accion física, sin descomponerlos, al ménos en los casos ordinarios; estas ondas, llamadas *ondas caloríficas*, se extienden tambien fuera del rojo extremo, formando de esta manera una segunda parte invisible del espectro.

Realmente no hay en la naturaleza más que una sola y única série de ondas, cuya longitud vá decreciendo constantemente, á partir del extremo del espectro calorífico oscuro hasta el fin del espectro químico en su parte invisible. Las ondas de los colores

ménos refrangibles que el verde, no estan en absoluto desprovistas de todo poder químico, asi como las radiaciones llamadas *químicas* tampoco carecen por completo de accion térmica. Aunque las diversas partes del espectro parecen poseer propiedades muy distintas, realmente esto es debido á que las sustancias empleadas por nosotros son más sensibles á unos rayos que á otros. Asi, todo el espectro posee propiedades químicas, y si atribuimos estas de preferencia al violado, es porque estos rayos actuan más enérgicamente sobre las sales de plata. Otras sustancias, la clorofila, por ejemplo, son mucho más sensibles al amarillo, y acaban de descubrirse otras que se impresionan fuertemente por la accion de los rayos rojos. Segun Draper, si la parte violada del espectro de refraccion posee ménos poder calorífico, es por estar más dilatada que las otras partes; condensándola, es tan calorífica como el rojo. Entre estos dos extremos hay una porcion muy limitada, que goza de la propiedad de impresionar el nervio óptico. Los rayos exteriores al violado son visibles para algunas personas, y segun dicen, presentan un color gris flor de espliego.

En la figura 43 estan representadas las intensidades relativas de estas diversas radiaciones, tal como nos las presenta la accion dispersiva de los prismas y las reacciones de las sales de plata. (1) En la zona P W, que forma la base de la figura, estan marcadas las rayas de Fraunhofer; en la parte visible del espec-

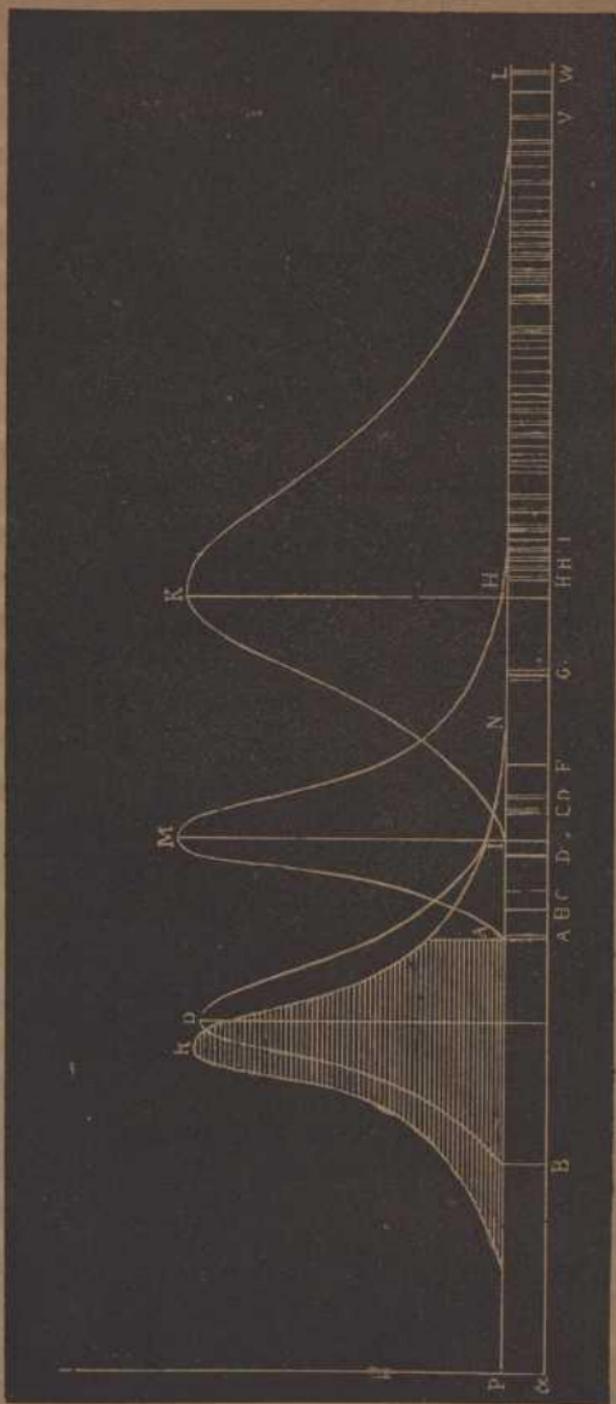
(1) La posicion relativa de estas curvas y hasta su forma, dependen de la sustancia del prisma y de los medios empleados para determinar las intensidades relativas.
(N. del T.)

tro y fuera del violado, aquellas otras cuya existencia nos ha sido revelada por la acción química. Fuera del rojo, en la parte $A P \propto B A$, está la región correspondiente á la parte oscura de los rayos térmicos. Las ordenadas de las curvas descritas sobre estas zonas, representan las intensidades relativas de cada una de estas radiaciones, en las diversas partes del espectro. La curva $A M H$ corresponde á la luz; la $I K G$ á la acción química, y la $B D N$ al calor. Por último, la curva $P R N$ representa la intensidad calorífica del arco voltaico, según Tyndall.

La relación entre las longitudes de las ondas extremas del espectro ordinario es de 1 á 4,3; pero si comprendemos también las dos partes oscuras, calorífica por un lado y química por el otro, la relación entre las ondas extremas será de 1 á 24: si bien es cierto que, respecto á la longitud de las ondas mayores, hay alguna incertidumbre. A continuación insertamos el cuadro de las longitudes de onda, correspondientes á los puntos principales, y del número de vibraciones correspondientes:

	Longitud en millonésimas de milímetro.	NÚMERO de vibraciones por segundo.
Límite extremo de los rayos caloríficos. Prisma de sal gema. . . .	4800	63.000.000.000.000
Límite en el rojo. . . .	1445	155.000.000.000.000
Raya D, en el amarillo. . . .	589	509.000.000.000.000
H, violado extremo. . . .	396	758.000.000.000.000
Extremidad del espectro químico.	317	946.000.000.000.000
Extremidad del espectro del cadmio.	210	1.364.000.000.000.000

Fig. 43.



El primer número de vibraciones ha sido dado por Miller y el último por Mascart.

Es curiosa la comparación entre estas vibraciones y las ondas sonoras. El sonido perceptible más grave corresponde á 30 vibraciones por segundo; el más agudo, á 36.000, y quizá un oído delicado pueda distinguir el sonido correspondiente á 40.000; por consecuencia, los números extremos son entre sí como 4 y 4.300 próximamente. Estos límites están entre sí mucho más distantes que los correspondientes á las ondas etéreas conocidas y medidas; mostrando, además, que las vibraciones sonoras son mucho más extensas que las luminosas, puesto que estas últimas apenas abarcan una octava. Si se admitiesen ciertos resultados obtenidos por el profesor P. M. Garibaldi, de Génova, se tendría como límite inferior de las ondas térmicas, á la temperatura de 73 grados centígrados, un número de vibraciones por segundo, á lo sumo, igual á 40.000.000.000.000, de manera que el intervalo existente entre la serie térmica y la acústica, estaría representado por la relación de 4 á 4.000.000.000.

(1) Esto no obstante, podemos tener la seguridad de que las vibraciones intermedias existen en los sólidos; porque, como ha probado Hr. Kœnig, golpeando barras muy cortas se obtienen sonidos cuya duración

(1) Para no atribuir á estas comparaciones más importancia de la que realmente tienen, debe no echarse en olvido que las vibraciones sonoras y las luminosas son distintas, no sólo por la naturaleza del medio movido, sino por la forma del movimiento. Al ménos, según las hipótesis admitidas actualmente. (N. del T.)

es tan breve, que apenas permite distinguirlos de un simple ruido; su tonalidad es muy difícil de apreciar, pero Hr. Kœnig ha conseguido calcular el número de vibraciones correspondientes, en vista de las dimensiones de las varillas con que operaba, y los números obtenidos son muy superiores á los que acabamos de citar. Además, esta misma percusión produce una sensible elevación de temperatura, haciendo, por consecuencia, vibrar el éter; pero carecemos aún de los medios necesarios para reconocer la presencia de estas ondas intermedias entre las que producen el sonido y las que engendran la luz.

§ III. RADIACION LUMINOSA.

Vamos á ocuparnos primeramente de la radiacion luminosa, por ser la que conocemos más inmediatamente, la que con mayor facilidad podemos estudiar, y á la que han sido consagradas las diversas expresiones que constituyen la terminología adoptada despues para las otras. No repetiremos nuevamente los pormenores ya dados relativamente al espectro luminoso y al origen de las rayas oscuras que en él se notan, solamente expondremos lo que se relacione con la intensidad de la luz.

Al construir la curva AMH, fig.^a 43, siguió Fraunhofer un procedimiento asaz imperfecto; bien es verdad que no es posible emplear otro, porque es en extremo difícil comparar rigurosamente el poder de iluminacion de los rayos de colores distintos; y en este

caso, sólo podemos comparar las sensaciones que un órgano bien conformado experimenta bajo la acción de ondas luminosas diferentes. Esta condición, de la buena constitución del ojo del observador, es indispensable, porque hay individuos sujetos á la afección designada con el nombre de *daltonismo*, á quienes producen la misma sensación el rojo y el verde. Realmente no podemos tener completa seguridad de que la misma onda luminosa haga experimentar iguales sensaciones á todas las personas, porque un color, después de todo, no es más que una denominación puramente convencional, constante en casos semejantes, circunstancia que hace imposible descubrir diferencia alguna, salvo en el caso excepcional en que un individuo designa dos colores diferentes con el nombre de uno de ámbos.

El poder luminoso de los rayos no es para el físico más que la mayor ó menor aptitud que poseen de conmover el nervio óptico del hombre. Probablemente, la facultad de percibir los fenómenos luminosos no es igual para todos los seres, y tal vez en algunos animales sea mucho más extensa que en el hombre, ya hácia la parte del violado, ya hácia la del rojo. El agua pura tiene un gran poder absorbente para los rayos térmicos; así, cuando se emplea un prisma hueco lleno de agua, el calor no comienza á ser sensible más que en el rojo, y es máximo en el amarillo. Los humores del ojo difieren poco del agua pura, y por esta causa el órgano de la visión es insensible á las radiaciones caloríficas.

La extensión de las ondas perceptibles por nuestra retina abarca ordinariamente el intervalo designa-

do en acústica con el nombre de una *octava*, de manera que el hombre no está puesto en relacion con el mundo remoto más que por una pequeñísima parte de las radiacionss solares. Y sin embargo, qué inmensa variedad de sensaciones y qué belleza en los contrastes! No queremos entrar en este orden de consideraciones, pero nos es imposible dejar de consignar aquí una importante observacion. Durante largo tiempo se ha creído que la radiacion luminosa era la única manera de actuar el Sol sobre el universo, siendo así que es muy secundaria, y que su importancia es muy pequeña si la comparamos con las otras radiaciones. ¡Qué son, pues, las impresiones producidas sobre la delicada materia de nuestra retina, si la comparamos con las modificaciones que el calor hace experimentar á todos los cuerpos, y con las acciones moleculares que producen los rayos químicos!

Se han hecho muchos trabajos á fin de averiguar si existen relaciones simples entre las longitudes de las ondas y las sensaciones de los colores principales. Bajo la autoridad de Newton se admite una gama, conocida por todos los físicos, en la que hay mucho de arbitrario. Despues del descubrimiento de Fraunhofer se ha tratado de ver si la posicion de las principales rayas corresponde á intervalos musicales, pero no se ha obtenido resultado cierto. Así se ha encontrado que las rayas C, D, H, I corresponden sensiblemente á las notas musicales *re*, *mi*, *si*, *do*₂, y ademas, que la raya A dista poco de la posicion correspondiente á *do*₁. Tomando la C como correspondiente á *re*, la F representa á *sol*, con la diferencia de $\frac{1}{81}$, esto es, con la diferencia de una *coma*.

Si se tomasen en cuenta las rayas correspondientes al espectro químico, las relaciones serian mucho más numerosas. Así, Cornu ha visto que la raya violada del magnésio, cerca de la L, es casi la armónica aguda de la raya *b*, habiendo entre los números de vibraciones correspondientes la relación de 3 á 4 (1). M. d'Arrest y Peslin han hecho investigaciones ingeniosísimas sobre el asunto, sin llegar á descubrir ninguna verdadera ley. Hé aquí los resultados más notables que han alcanzado: los cuadrados de las longitudes de las ondas correspondientes á las diversas rayas, guardan entre si una relación bastante sencilla; así, los cuadrados de las longitudes de las rayas C y D₃, son entre si como 4 á 5. Pero todas estas relaciones no tienen influencia alguna respecto á la visión, porque es sabido que no hay semejanza alguna entre la armonía musical y lo que pudiéramos llamar armonía *cromática*. Esta última existe sin duda alguna, pero debe estudiarse *á posteriori*, por métodos que estan completamente fuera del objeto que nos proponemos. (2)

(1) Véase *Comptes rendus*, Cornu, t. LXXIII, página 332; Peslin, t. LXXIV, pág. 32.

(2) Creyendo, como el autor, que la armonía cromática debe estudiarse *á posteriori*, puesto que no conocemos el sistema vibrante del ojo lo suficiente para hacer otra cosa, nos parece que las investigaciones referentes á las relaciones numéricas entre las vibraciones de las distintas rayas, pueden conducir á un estudio superior, para la marcha de la ciencia, al de la armonía cromática. Porque, representando cada raya la vibración propia de la molécula de una sustancia determina-

La curva de las intensidades luminosas, así como las correspondientes á las otras radiaciones, no es simétrica, respecto á la ordenada del cúspide; asciende con más rapidez que desciende; esto es efecto de la refracción del prisma. Los cuerpos refringentes no desvian los rayos proporcionalmente á la magnitud de las ondas, siendo mayor la desviación para las ondas menores; así, la dispersión mayor ocurre en el violado. En los espectros por difracción, formados por medio de los retículos, no subsiste esta causa, y la curva de las intensidades luminosas es simétrica con relación al máximo que se encuentra en el amarillo. Mossotti, por el cálculo, ha comprobado esta explicación.

Rutherford construye retículos en los cuales hay 60,000 rayas por pulgada inglesa; estos retículos producen espectros admirables, con rayas perfectamente determinadas; así pueden sustituir á los prismas en el análisis espectral. En los espectros por difracción se encuentran todos los resultados obtenidos por Fraunhofer.

Los límites del espectro visible varían de unos individuos para otros, especialmente por la parte del violado; algunas personas ven muchos de los rayos

da, el conocimiento de esta vibración y de sus relaciones numéricas con las correspondientes á la misma sustancia y á las demás, puede conducir al descubrimiento de nuevos datos sobre la constitución íntima de los cuerpos, afirmando ó contrariando, al propio tiempo, las ideas que hoy abrigamos acerca de los pesos moleculares, constitución de los gases, etc. (N. del T).

químicos, que son invisibles para la generalidad de los observadores. Quizás pueda depender esto en parte de la fosforescencia que los rayos desarrollan sobre la sustancia que los recibe, ó en los mismos medios del ojo, medios cuya fluorescencia está conocida.

Se ha tratado de comparar la intensidad de la luz solar con la de las estrellas y con la de otras luces conocidas; pero todas estas valuaciones son demasiado vagas. Bond, tomando por unidad la luz de la Luna llena, encontró para el valor de la solar el número 470.000; siendo la unidad la luz de Vénus en su mayor brillo, 622.000.000, y comparada con la de Sirio, 5.980.000.000. Pero, á nuestro modo de ver, todos estos números son demasiado pequeños, porque, durante los eclipses totales, la pequeña cantidad de luz que ilumina nuestra atmósfera es superior á la de la Luna llena, y sería muy difícil determinar minuciosamente la relacion entre esta débil luz y la del astro radiante.

Siendo muy difícil de determinar la relacion entre una unidad luminosa cualquiera y el Sol, es casi imposible averiguar si varía ó nó el brillo de este astro. Casi todos los astrónomos estan conformes en colocarlo en la categoría de las estrellas variables; pero no ha sido posible hacer constar, de un modo decisivo, sus variaciones. Si alguna vez se consiguiera, sería sin duda usando un medio más exacto que la impresion fisiológica; sería preciso, probablemente, recurrir á los efectos térmicos ó á los químicos, ó bien á algun otro fenómeno susceptible de exacta apreciacion. Actualmente sabemos que las manchas varían periódicamente, pero de aquí no podemos inferir que la luz su-

fra igual variacion, porque bien pudiera compensarse la minoracion producida por las manchas con el crecimiento engendrado por las féculas y las granulaciones.

§ IV. RADIACIONES TÉRMICAS.

Ya hemos tratado de la intensidad de estas radiaciones; vamos á ocuparnos ahora de su naturaleza y propiedades.

Cuando un haz de rayos solares, que ha atravesado un prisma, se recibe sobre un termómetro muy sensible, ó mejor aún sobre una pila termo-eléctrica, se ha de ver que el máximo de calor varía de posición con la naturaleza del prisma. Siendo éste de vidrio comun, está el máximo en el rojo; si de agua, en el amarillo; con el flint pasa fuera del rojo; y con la sal gema, fuera del rojo tambien, á una distancia de la raya A igual á la que separa á ésta de la C.

Tales diferencias confundieron no poco á los físicos, hasta que los experimentos de Melloni resolvieron la dificultad. Este distinguido fisico hizo ver que las diferentes sustancias poseen un poder absorbente electivo y particular, actuando cada una de ellas sobre los rayos caloríficos á la manera que actúan sobre la luz blanca los medios coloreados, esto es, absorbiendo unas radiaciones y dejando pasar otras; y designó esta propiedad con la palabra *termocrosis*. Si analizamos la luz solar usando prismas rojos, verdes ó amarillos, veremos como la posición del máximo de luz

corresponde á distintos puntos, segun el caso; y próximamente, lo mismo ocurre en los experimentos que acabamos de citar. De todas las sustancias es la sal gema la más diatermana, pero aún esta misma carece por completo de poder absorbente.

También poseen los gases la facultad de absorber los rayos caloríficos, y por lo tanto, absorbe nuestra atmósfera una considerable cantidad de éstos rayos. Las ondas mayores son las más fácilmente absorbidas; así, gran número de los rayos ménos refringentes, que caen sobre nuestra atmósfera, no llegan hasta nosotros.

La absorcion producida por los gases simples, oxígeno y ázoe, es en extremo pequeña; variando la presion de los mismos de 5 á 760 milímetros, su poder absorbente varía en la relacion de 4 á 4,5 próximamente. Pero si es muy pequeña la absorcion en estos gases, no ocurre lo mismo con los gases compuestos que existen en nuestra atmosfera, ácido carbónico, vapor de agua, amoniaco y algunos otros. El profesor P. M. Garibaldi, de Génova, ha probado por medio de experimentos concluyentes que, á la presion de 76 centímetros, poseen estos gases los poderes absorbentes representados por los siguientes números:

Aire atmosférico (1).	1
Ácido carbónico.	92
Amoniaco.. . . .	546
Vapor de agua.	7937

Una cantidad de vapor de agua, bastante á produ-

(1) Seco.

(N. del T).

cir una presión de 9 á 10 milímetros, es capaz de absorber cien veces más calor que el aire atmosférico á 760.

Resulta de estas propiedades la imposibilidad, para nosotros, de recibir, y por lo tanto de analizar, todas las radiaciones caloríficas solares. La curva BDN, (fig. 43) representa solamente las que han podido atravesar nuestra atmósfera, sufriendo en ella una absorción considerable. Lamansky, de Heidelberg, examinando con atención la parte ultra-roja del espectro solar, ha encontrado en ella cuatro máximos y cuatro mínimos bien marcados; pero parece que tanto sus posiciones como sus valores cambian con el grado de humedad del aire.

Lamansky vió indicios de calor hasta en la raya H.

Para examinar las otras radiaciones, han recurrido los físicos á fuentes artificiales de calor. Tyndall ha analizado cuidadosa y particularmente el arco voltáico, fuente la más activa de todas, cuya curva está representada en la figura 43, PRN.

Esta curva muestra, si se tiene en cuenta su posición sobre la zona PW, cuán pequeña es la parte luminosa con relación á la calorífica; además, comparándola con la curva RDN, se observa cuántos rayos oscuros absorbe nuestra atmósfera.

No obstante todo el esmero empleado por el profesor Tyndall, los medios usados en sus experimentos no han podido ser absolutamente diatermanos; el aire de su laboratorio necesariamente tendría vapor de agua, y el vapor de agua tiene un gran poder absorbente. El profesor Garibaldi ha hecho experimentos en el vacío sobre el calor oscuro del platino, lle-

vado progresivamente desde 78 grados al blanco. De este modo ha encontrado que las radiaciones oscuras son á lo ménos cuatro y media veces mayores que las radiaciones luminosas. Pero debe tenerse en cuenta que, en estos experimentos, no se ha hecho uso del prisma, sino que se ha absorbido el calor luminoso por medio de una disolucion de yodo en sulfuro de carbono. De esta manera se ha evitado la concentracion de la parte oscura del espectro, cosa que no ocurrió en los experimentos de Tyndall, y de este modo se hace la distribucion en mayor espacio que por el procedimiento ordinario.

Sea lo que fuere de estos detalles, lo cierto es que una parte considerable de la radiacion oscura procedente del Sol queda interceptada por la atmósfera, y no puede llegar á la superficie de la Tierra; esta absorcion es más considerable en los rayos calorificos que en los luminosos; porque las ondas, á medida que disminuye su longitud, tienen más y más facilidad para atravesar los medios trasparentes.

El estudio de estos fenómenos ha hecho descubrir un hecho interesantísimo, y que prueba la considerable potencia y energía de las radiaciones solares; el hecho es, que en las radiaciones oscuras aumenta más rápidamente la intensidad que en las luminosas: de aquí debemos inferir que, siendo extraordinariamente viva la luz del Sol, las radiaciones térmicas que emanan de su superficie, deben tener una intensidad mucho mayor de lo que podemos calcular. Es posible poner en evidencia esta conclusion, quitando á los rayos solares todo su poder luminoso, de tal manera que se conserve intacto todo su poder

calorífico, lo que permite valuar la relación de las dos radiaciones. Para obtener este resultado, se hace pasar un haz de rayos solares á través de una capa de sulfuro de carbono conteniendo yodo en disolución. De este modo se hacen invisibles los rayos sin perder su poder calorífico, y si el vaso que contiene la disolución tiene la forma de una lente convergente, en el foco invisible de esta lente se desarrolla una temperatura bastante á determinar la inflamación de los cuerpos combustibles. Por experimentos análogos ha probado para las radiaciones luminosas del platino incandescente el profesor Garibaldi, que la relación entre estas radiaciones y las oscuras es igual á $\frac{13}{320}$. Tyndall ha encontrado, para el Sol, que

el calor que acompaña á la parte luminosa, es solo $\frac{1}{9}$ del que se halla en la parte oscura.

Desde el verde hasta el violado, nuestros más sensibles termóscopos no acusan más que huellas insignificantes de calor. No debe inferirse de aquí que las ondulaciones correspondientes sean inactivas. Condensándolas, ha obtenido Draper la misma intensidad calorífica en las dos mitades del espectro. Por otra parte, en donde comienza á desaparecer la acción térmica, empieza á manifestarse otra actividad, que tiene por objeto alterar los grupos atómicos y destruir las combinaciones resultantes de la afinidad.

Al absorber la atmósfera solar tan gran porción de los rayos solares, no los anonada, ántes bien los conserva en depósito para emplearlos más tarde en nuestro provecho. Desde luego, la parte que llega hasta

nosotros, calienta los cuerpos, y por la acción molecular se transforma en calor de baja temperatura, ó sea de onda grande; así trasformada, ya no es capaz de atravesar nuestra atmósfera, con lo que se origina una acumulación de calor en las capas inferiores. En virtud de esta propiedad de las radiaciones, es posible, adoptando la disposición conveniente, elevar el agua á la temperatura de ebullición por la acción de los rayos solares, sin condensación alguna. Saussure demostró que basta para conseguirlo hacer caer la luz del Sol sobre una caja ennegrecida y forrada de sustancias no conductoras del calor, cuidando al mismo tiempo que la abertura de la caja cubierta con varias láminas de vidrio trasparente, esté vuelta hácia el Sol. Un termómetro puesto en esta caja, pronto señala una temperatura superior á 100 grados; porque la radiación de baja temperatura que se produce en el interior del aparato, no pudiendo atravesar los vidrios, caldea más y más el espacio en que se encuentra encerrada, y como, según la ley de la radiación solar, el termómetro debe marcar siempre 13 ó 14 grados sobre la temperatura del medio en que se encuentra, pronto se llega á un límite que puede ser superior á 100 grados. Hasta se ha llegado á proponer el empleo del calor solar para calentar el agua y economizar de esta manera el combustible. Sobre este principio está basada la *marmita solar* imaginada por Mouchot, de Tours, (1) en 1860. (2)

(1) *La chaleur solaire et ses applications industrielles*, por A. Mouchot, Paris.

(2) Sirviéndose Herschel de un aparato análogo al

El calor condensado en nuestra atmósfera nos presta aún otro servicio. La radiación nocturna está considerablemente disminuida por la presencia del aire atmosférico, y por lo mismo, el enfriamiento del globo y de las plantas que nutre, se disminuye y se retarda. Para este objeto actúa con más eficacia el vapor de agua; una capa de aire húmedo, de algunos metros de espesor solamente, impide el enfriamiento nocturno tanto como la atmósfera gaseosa entera.

Pero la absorción de calor que acompaña á la conversión del agua en vapor, es sin duda la circunstancia más importante. El agua se evapora en masas considerables, sobre todo en las regiones ecuatoriales, y absorbe así una gran cantidad de calor de vaporización, que queda latente. Este calor está destinado á pasar á más altas latitudes, y á establecer en la envoltente atmosférica que rodea al globo, un equilibrio de temperatura, que la radiación directa estaría bien léjos de producir por sí misma. La cantidad de calor que pasa así del Ecuador á los polos, es en extremo considerable, como se puede comprender por una valuación groseramente aproximada.

Por numerosas observaciones, bastante exactas, sabemos que, en las regiones ecuatoriales, se evapora en cada año una capa de agua de cinco metros de espesor. Supongamos que, en las mismas regiones, caiga anualmente una capa de lluvia de dos metros de grueso; queda, pues, una cantidad de tres metros, que

indicado por el autor, tuvo el gusto de ofrecer á sus amigos una comida, en que el Sol había hecho el gasto de combustible.

(N. del T.)

debe quedar en estado de vapor, é ir á condensarse cerca de los polos. En 240 millones de kilómetros cuadrados puede valuarse la superficie en que se produce esta evaporacion, y partiendo del dato de 3 metros cúbicos por metro, se obtiene un total de 720.000 kilómetros cúbicos de agua evaporada durante el año. La cantidad de calor contenida en esta masa de vapor, es capaz de fundir un volúmen de hierro igual á 400.000 kilómetros cúbicos! (1)

Esta enorme cantidad de calor pasa de *incógnito*, digámoslo así, del Ecuador á los polos, trasportada por la accion del vapor, y este vapor, al trasformarse en agua y en nieve, desprende todo el calor que habia absorbido, contribuyendo de este modo á moderar el clima de aquellas desoladas regiones. Hace notar el capitán Maury, á quién debemos estas bellas consideraciones, que con los verdaderos gases nunca se hubieran obtenido resultados análogos; porque para trasportar por medio de ellos tal cantidad de calor, seria preciso calentarlos á la temperatura de nuestras fraguas.

Es, pues, imposible no reconocer en el conjunto de la Creacion una Sabiduría infinita que, al imponer ciertas leyes elementales á la materia, las ha determinado de tal suerte, que sus consecuencias más remotas esten en armonía con la conservacion de la vida orgánica y con el bienestar de los séres racionales que, al cabo de tantos siglos, debian poblar la superficie de los planetas. En estos resultados imprevistos

(1) Véase Maury, *Physical geography of the Sea*.

resplandece principalmente la eterna Sabiduría, asombrándonos la inmensidad de sus concepciones y la exactitud con que llena sus fines.

Resulta de las más exactas observaciones, que la atmósfera terrestre absorbe, según la vertical, 0,28 del calor que cae sobre su superficie, y la absorción total, en el hemisferio iluminado, es próximamente igual á los $\frac{3}{5}$ del calor incidente, de manera que, para distintas alturas angulares, la parte transmitida guarda con la unidad incidente la relación que expresa la lista siguiente:

Altura.	Cantidad transmitida.
90°	0,72
70	0,70
50	0,64
30	0,51
10	0,16
0	0 (1)

Parte de lo que hemos dicho á propósito de los movimientos atmosféricos, es aplicable á la circulación de la masa líquida que constituye los Océanos. También el calor solar pone en movimiento esas enormes masas de agua, y determina las corrientes interiores que representan un papel tan importante. Ac-

(1) Ericson señala valores mucho más pequeños para la absorción; pero como nuestras propias observaciones están de acuerdo con las de Pouillet, las de Forbes y las de otros físicos, conservaremos estos números hasta que conozcamos mejor los trabajos del docto americano.

tua aquí el calor de dos maneras: 1.^a calentando directamente las aguas del Océano. 2.^a sosteniendo los vientos alicios que, por su acción sobre la superficie del mar, determinan en el Ecuador corrientes oceánicas, cuyo influjo se hace sentir hasta los polos: ofrece de esto un ejemplo notable el *gulf-stream*. Estas corrientes no sólo existen en la superficie, sino que bajan hasta los abismos del mar, y allí renuevan el agua y el aire para conservar la vida de los seres que pueblan aquellas insondables profundidades (1). Contentémonos con indicar esta idea, de cuyo desarrollo no permiten que nos ocupemos aquí los límites que nos hemos impuesto.

§ V. ACCION QUÍMICA DE LOS RAYOS SOLARES.

Gracias á la fotografía, todo el mundo sabe que el Sol actúa sobre las sales de plata ennegreciéndolas y descomponiéndolas. Pero, á más de esto, producen los rayos solares gran número de fenómenos semejantes, que pasan comunmente desapercibidos, ó no se manifiestan hasta después de una muy prolongada acción de la luz; tales son la decoloración ó coloración de ciertas sustancias, y sobre todo la respiración de los vegetales, de que ya nos hemos ocupado.

La acción química, como la del calor, es una acción mecánica, y puede por lo tanto ser valuada mecánicamente; pero la determinación de su equivalente ofrece una dificultad particular, porque, á decir

(1) Wyville-Thomson, *Los abismos del mar*, París, 1875.

verdad, las acciones químicas no son producto únicamente de causas exteriores á los cuerpos que actúan entre sí; ántes bien, estas causas no hacen más que determinar la accion de las afinidades moleculares interiores. El Sol, pues, solo pone en juego la actividad interior de las moléculas, y en el resultado final es imposible determinar lo correspondiente á cada una de las dos causas. Por este motivo es distinta la accion solar segun el reactivo empleado.

Bunsen y Roscoë han apreciado la accion química tomando como base la combinacion del cloro y el hidrógeno. El americano Draper habia ya observado que, cuando un rayo de luz difusa actúa sobre estos dos gases para determinar su combinacion, disminuye de intensidad y de poder luminoso. Bunsen y Roscoë han basado su método de valuacion sobre este hecho fundamental de la trasformacion de la energia luminosa de las ondas etéreas en energia química. Hé aqui los resultados que han obtenido:

1.º La intensidad de la radiacion química que cae sobre nuestra atmósfera, es suficiente para producir en un minuto la combinacion de una mezcla de hidrógeno y cloro, que forme una capa de 35 metros de espesor.

2.º No llegan á la superficie de la Tierra más que los $\frac{2}{5}$ próximamente de estas radiaciones.

3.º La atmósfera tiene un gran poder difusivo para con los rayos químicos; por tal causa, en las regiones polares, son principalmente más enérgicas estas radiaciones que las térmicas.

4.º Hasta los 50 grados son más enérgicos los rayos químicos directos que los difusos; pasado este lí-

mite ocurre lo contrario. Las intensidades de los rayos directos en San Petersburgo, Roma y el ecuador, guardan entre si la relacion de 1, 2 y 4.

5.º Toda la energía solar que llega á la Tierra en un minuto, bastaria á combinar $4\frac{1}{2}$ millones de kilómetros cúbicos de una mezcla de cloro é hidrógeno. (Este número se obtiene multiplicando 35 metros cúbicos por el cuarto de la superficie terrestre.) La energía total que se esparce por la esfera celeste, en la que nuestro globo, visto desde el Sol, subtiende un ángulo de $17'' 5$, es próximamente 2,200 millones de veces mayor que el número que acabamos de señalar: la masa combinable está representada por 10,000 millones de millones, diez mil billones, de kilómetros cúbicos. Si conociésemos el equivalente término de esta accion, podriamos valuarla en forma mecánica; pero ya hemos indicado las dificultades que impiden actualmente hacer esta valuacion. Tales son las interesantes conclusiones del trabajo de Bunsen y Roscoë.

Exponiendo á la luz Marchand una disolucion acuosa de ácido oxálico y de percloruro de hierro, ha visto que, bajo la influencia de este agente, se desprendian 4,444 centímetros cúbicos de ácido carbónico por minuto y por metro cuadrado de superficie iluminada por el Sol, estando éste en el zénit; pero el equivalente térmico de esta reacción tampoco es conocido. (1)

(1) Marchand, *Estudios sobre la fuerza fisica que radica en la luz solar*, pág. 105. Con grabados en el texto. París 1875; Gauthier-Villars.

La acción de los rayos químicos no se limita solamente á producir composiciones y descomposiciones. Desde luego, cuando penetran estos rayos en el interior de los cuerpos, se trasforman en ondas más largas y pueden producir calentamiento. Ciertos cuerpos, designados con el calificativo de *fluorescentes*, producen un efecto semejante; por ejemplo, la disolución de sulfato de quinina, la infusión de corteza de castaño de Indias, el vidrio de Urano, la disolución alcohólica de clorofila, etc. Estas sustancias devuelven por reflexión rayos correspondientes á ondas más largas que las incidentes; además, aunque iluminadas por la luz violada, monocromática, reflejan luz compuesta. En esto consiste el interesante y capital descubrimiento de Stokes, completado por el de la *calorescencia*, obtenido por Tyndall. Una disolución de yodo en sulfuro de carbono, absorbe los rayos luminosos, los convierte en otros menos refrangibles y se calienta. El P. Provenzali ha utilizado este descubrimiento haciendo con la disolución de yodo termómetros, ó mejor dicho fotómetros, de tan exquisita sensibilidad, que se dilatan bajo la acción de la Luna, de las nubes y de los cuerpos fosforescentes.

Los rayos químicos tienen la propiedad de excitar la fosforescencia en los cuerpos que son susceptibles de ella, tales como el célebre fósforo de Canton. En tales casos, su refrangibilidad se modifica según la naturaleza del cuerpo; pues, como puede verse en el gran trabajo de Becquerel sobre la luz, estos cuerpos dan espectros muy diferentes unos de otros.

La acción molecular que aumenta la longitud de las ondas, puede también disminuir la de las largas, y

un ejemplo concluyente de esto ofrece el bello experimento imaginado por Tyndall. Caen los rayos solares sobre un vaso que contiene disolucion de yodo en sulfuro de carbono, y sólo pasan á traves de ella las radiaciones oscuras; concentradas éstas, por medio de una lente, se reunen en un foco invisible; pero si en él se coloca una lámina de platino, pronto se caldea hasta ponerse incandescente, y los rayos oscuros se convierten en luminosos.

No es el Sol el único cuerpo que, al enviarnos luz, emite radiaciones químicas. Ciertos focos luminosos artificiales, como la luz eléctrica y la del magnésio, son proporcionalmente más ricos que él en estos rayos. Pero es probable que, sin la accion absorbente de nuestra atmósfera, sobrepujára á todos en esta radiacion, como los excede en la radiacion luminosa. Hay, sin embargo, gran incertidumbre respecto á todas estas cuestiones. Para ventilarlas, convendria hacer observaciones sobre alguna meseta muy elevada, la de Quito por ejemplo, ó bien el cúspide del Etna. Esta última estacion, á más de estar situada á una altura considerable, ofrece particulares ventajas bajo el punto de vista de la trasparencia de la atmósfera; en regiones tan poco elevadas sobre el nivel del mar, como son estas en que observamos, no es posible hacer valuaciones más que de un modo indirecto y que deja mucho que desear.

§ VI. ACTIVIDAD MAGNÉTICA DEL SOL.

El título del presente artículo, sin duda alguna, sorprenderá á más de un lector, porque parece imposible

que haya potencia magnética en un cuerpo cuya temperatura es tan alta, y á más se encuentra, casi todo él, en estado gaseoso. Pero Faraday ha hecho ver que el oxígeno y otros gases son magnéticos, y el hidrógeno es diamagnético; por tales descubrimientos se llega á conocer que el magnetismo puede manifestarse en los flúidos elásticos, y por lo tanto, que no es incompatible con ningun estado físico.

Por de contado, no pretendemos sostener que en el Sol exista una acción magnética directa, como la que observamos entre los imanes terrestres; sólo decimos que es un hecho incontestable la influencia del Sol sobre los fenómenos magnéticos que se manifiestan en nuestro globo. Que esta acción sea directa ó indirecta, es una cuestión puramente especulativa; por el momento nos limitamos á exponer los hechos. Añadiremos, sin embargo, que así como el globo terrestre no debe toda su potencia magnética á los minerales que gozan de esta propiedad, sino también á otro principio poco conocido aún, puede ocurrir lo propio en el Sol. Nuestra afirmación sobre la segunda causa del magnetismo terrestre se apoya en los trabajos de Gauss; según ellos, la intensidad absoluta del magnetismo en nuestro globo es tal, que cada metro cúbico del astro equivale, por su acción, á ocho imanes de acero imantados á saturación, teniendo cada uno de ellos una libra de peso (450 gramos) (1). Las sustancias que entran en la composición de nues-

(1) Véase Gauss, *Teoría general del magnetismo terrestre*, núm. 3.

tro globo, estan bien léjos de tener semejante capacidad, que apenas podrian alcanzar los minerales de hierro. En la actualidad sabemos que la electricidad puede producir los efectos magnéticos, y que un cuerpo rodeado por una corriente puede sustituir   un iman (1), y por lo tanto, que no hay necesidad de suponer la existencia de minerales particulares para explicar el magnetismo del globo.

La influencia del Sol sobre el magnetismo terrestre ha sido puesta en evidencia por los trabajos realizados desde hace medio siglo.

Estableciendo gran número de observatorios magnéticos en ambos hemisferios, han contribuido particularmente los ingleses   poner en claro las leyes que rigen estos misteriosos fenómenos; de los trabajos que han realizado, h e aquí las principales conclusiones que se desprenden.

1.ª Cuando una aguja imantada puede moverse libremente, no conserva una posicion absolutamente fija respecto á la Tierra, en sus variaciones de posicion presenta un periodo diurno y otro anual. Para determinar la fuerza magnética se estudia de ordinario su declinacion, su inclinacion y su intensidad; tambien pudiera apreciarse segun tres componentes rectangulares: una, segun la interseccion del plano horizontal con el del meridiano magnéticos, y las otras situadas respectivamente cada una en uno de los dos planos nombrados.

(1) Descubrimiento de Ampere. Origen del electro-magnetismo.
(N. del T).

Observando la brújula de declinacion, se nota que la extremidad dirigida hácia el Ecuador se mueve hácia Poniente, desde la salida del Sol hasta hora y media despues de haber pasado este astro por el meridiano magnético; y que, á partir desde esta hora hasta el crepúsculo de la tarde, el movimiento se hace en sentido contrario. No parece sino que la extremidad de la aguja huye del Sol. Durante la noche se repite el movimiento, pero con mucha menor amplitud.

2.^a A más de este movimiento, se óbserve en la aguja otra variacion anual. La oscilacion diurna de la brújula de declinacion es resultado de dos elementos, uno de ellos constante, el otro dependiente de la declinacion del Sol. Estos dos elementos se suman ó se restan, segun que la aguja y el astro están ó no en el mismo hemisfério.

3.^a La fuerza horizontal, que se mide con auxilio de una barra colocada perpendicularmente al plano del meridiano magnético, está sujeta á oscilaciones análogas, pero los instantes de sus máximos y mínimos distan tres horas de los correspondientes á la declinacion.

4.^a Hay un máximo y un mínimo anuales, independientes de la posicion del Sol respecto á los hemisféríos, pero dependiente de la distancia, apogeo ó perigeo.

5.^a Además de estas variaciones normales, estan sujetas las rayas imantadas á perturbaciones, dependientes de las auroras polares y de las borrascas eléctricas de nuestra atmósfera.

6.^a En fin, la amplitud de la oscilacion diurna

es muy variable, y en un periodo de once años, próximamente, puede variar de simple á doble.

Pero la circunstancia más extraordinaria es, que los máximos y mínimos de las variaciones diurnas coinciden con los máximos y mínimos de las auroras polares, y con los correspondientes á las manchas visibles sobre el Sol. La misma variacion en las oscilaciones periódicas se observa aún en las épocas de las protuberancias extraordinarias, conocidas con el nombre de *tempestades magnéticas*. Las leyes que acabamos de exponer, referentes á las variaciones diurnas y anuales, prueban con evidencia que el Sol influye de un modo notable sobre los fenómenos magnéticos; pero no nos muestran si la influencia proviene de su accion calorifica, ó de los fenómenos eléctricos que las radiaciones solares producen en nuestra atmósfera. Pero la coincidencia entre el periodo de las manchas y el magnético nos parece decisiva. La relacion que guardan es tan completa, que ha podido Wolf, de Zurich, partiendo del número relativo de manchas, calcular el valor medio de las variaciones diurnas de la aguja imantada. (1)

Como esta relacion es tan importante, creemos deber evidenciarla insertando un extracto del cuadro comparativo de estos fenómenos. La tabla siguiente está sacada de los trabajos ya citados de Wolf y Fritz, y aumentada con algunos particulares interesantes.

(1) Véase *Mittheilungen*, vol. II, pág. 166.

MÁXIMA		VARIACION DIURNA
de las manchas.	de las auroras boreales.	de la aguja (media).
1706	1707	»
1718	1721	40' Lóndres (Graham)
1728	1728	»
1739	1738	»
1750	1749	»
1761	1760	»
1770	1769	»
1779	1779	»
1788	1788	23,0 París (Cassini)
1804	1804	»
1817	1816	»
1830	1830	13,07 París.
1837	1839	11,47 Munich.
1848	1848	11,55
1860	1859	11,17
1871	1871	11,13 Roma.

MÍNIMA		VARIACION DIURNA
de las manchas.	de las auroras boreales.	de la aguja.
1698	1700	»
1712	1714	»
1723	1724	»
1733	1733	»
1745	1745	»
1758	1755	»
1766	1766	»
1776	1776	»
1785	1785	16',9 París (Cassini)
1799	1799	»
1811	1811	»
1823	1823	8,18 Göttinga.
1834	1834	8,79 Munich.
1844	1844	5,24
1856	1856	5,02
1967	1867	5,05
1876	...	6,55 Roma, 1 ^{er} semest.

Desgraciadamente carecemos casi por completo de observaciones magnéticas anteriores á 1823; pero los últimos periodos bastan para que no temamos una decepcion.

Para hacer resaltar mejor el paralelismo existente entre la marcha de la aguja imantada y la frecuencia de las manchas, hemos reunido al adjunto cuadro los resultados de diez y siete años de observacion. Con el fin de que se vea que no se trata de fenómenos locales, sino de un hecho verdaderamente cósmico, hemos puesto unas al lado de otras las variaciones magnéticas de Roma y de Praga. El lector puede ver lo que hemos dicho en el § II del cap. VII del libro II.

El año de 1876 ofrece un mínimo de manchas bastante pronunciado, y el mínimo de la variacion diurna se presenta ya claramente; como no ha terminado aún el año, no hemos podido consignar en el cuadro más que el resultado del primer semestre, doblando el número de manchas observadas hasta Junio.

Año Meteorológico.	Variación diurna de la Aguja.		Número de grupos de manchas.
	En Roma.	En Praga.	
1859	10,871	10,37	257
1860	10,984	10,05	251
1861	9,596	9,17	251
1862	8,995	8,59	112
1863	7,861	8,84	105
1864	8,377	8,02	97
1865	7,591	8,14	88
1866	7,143	7,65	81
1867	6,585	7,09	32
1868	7,132	8,15	92
1869	8,953	9,44	198
1870	10,966	11,41	262
1871	11,130	11,60	304
1872	10,653	10,70	292
1873	9,015	9,05	200
1874	8,110	»	154
1875	6,968	»	86
1876	6,55 (a)	»	48 (a)

(a) Primer semestre

Discutiendo cuidadosamente estos resultados, parece que se percibe la señal de un segundo período semisecular de cincuenta y cinco años y medio; pero como no tenemos certidumbre de su existencia, careciendo de observaciones antiguas, nos limitamos á consignar el hecho sin añadir más.

La existencia del período undecenal ha sido también confirmada por las observaciones hechas en el Colegio Romano durante diez y siete años. Con este objeto precisamente establecimos un observatorio magnético, y á partir del año de 1858, no hemos ce-

sado de contar y dibujar todas las manchas solares, en correspondencia con las observaciones magnéticas hechas todos los días al ménos siete veces, á las horas trópicas, en que tienen lugar las desviaciones máximas y mínimas de las agujas. Y no solamente la declinacion sigue la marcha de las manchas, sino tambien las fuerzas horizontal y vertical. Sabine lo ha visto así, examinando los resultados obtenidos en los observatorios de Santa Elena, de Hobarton en Tasmania, de Toronto en el Canadá, de Madras en la India, y tambien en los de Girard College, Filadelfia, Praga, Viena, San Petersburgo, Roma, etc.; de manera que el fenómeno es de orden cósmico.

Ya hemos dicho que la marcha ordinaria de los fenómenos magnéticos se modifica segun el estado del astro central; pero no solamente éstos sufren la influencia del Sol, sino hasta las perturbaciones extraordinarias la experimentan de igual manera. Se ha notado que hay coincidencia entre la época de las perturbaciones magnéticas y la aparicion de las manchas; y nuestro colega el P. Ferrari ha confirmado el hecho, por la discusion de las observaciones correspondientes á diez y siete años consecutivos. (1)

Los astrónomos, pues, convienen hoy unánimemente en el hecho de la coincidencia entre el período undecenal de las variaciones del magnetismo terrestre y el correspondiente de las manchas solares. Queda aún por estudiar el asunto de las protuberancias, pero

(1) Véase *Bullettino meteorológico del Collegio Romano*, 1874, Julio y siguientes.

es poco antigua la fecha del principio de su observacion para que podamos aún formular conclusiones fundadas. Sabemos, sin embargo, con completa certidumbre, que hay muchas coincidencias entre las erupciones y las variaciones del magnetismo terrestre; por otra parte, las manchas y las erupciones son ciertamente efectos de causas de un mismo orden y de una misma naturaleza: es, por lo tanto, imposible dudar de la existencia de una relacion entre las variaciones del magnetismo terrestre y las correspondientes á las protuberancias: el descubrimiento de la causa verdadera de esta relacion es la tarea del porvenir.

Hornstein ha procurado determinar la duracion de la rotacion del Sol, partiendo de la duracion de las variaciones periódicas de la aguja observadas en Praga y Viena, obteniendo un resultado satisfactorio. Si para resolver el problema se partiese de las observaciones de Greenwich, el resultado no seria tan satisfactorio, bien que en esta estacion se notan muy grandes irregularidades.

Creemos, pues, deber admitir la existencia de una relacion indudable entre las variaciones del magnetismo terrestre y de la actividad solar.

Por imprevista que sea esta conclusion, no es por eso ménos cierta; desgraciadamente es más difícil explicar esta relacion que observarla. La influencia del Sol sobre la aguja puede ser directa ó indirecta; directa, si por una accion magnética, que le sea propia, ó por corrientes eléctricas que en él existen, actúa sobre la aguja ó sobre el iman terrestre; indirecta, si su influencia produce en nuestro globo cambios propios para modificar el magnetismo, ó corrientes telúricas.

La primera opinion, la de la accion directa del Sol, ha sido sostenida por Sabine, y nosotros la hemos admitido tambien en otro tiempo. Dificil es, sin duda, probar que la materia que compone el Sol goza de un verdadero poder magnético, pero bien pudiera ser que estuviese rodeado de corrientes eléctricas, y actuase á distancia como un verdadero iman. No sería en todo caso el Sol el único cuerpo celeste que ofreciese una accion semejante, porque la Luna ejerce influencia, muy débil en verdad, pero indudable, sobre la aguja.

Anteriormente hemos repugnado admitir la comunicacion de la electricidad del Sol á la Tierra, pero respecto al magnetismo la cosa es diferente. Todos los físicos admiten que la accion magnética se ejerce á traves del vacío; verdad es que esta afirmacion no está demostrada de un modo absoluto, puesto que se funda sobre experimentos hechos en el vacío barométrico; pero está confirmada por tantos fenómenos, y más particularmente por la manera de trasmitirse la accion magnética á traves de los sólidos, que puede considerarse como cierta. Por lo tanto, si el estado magnético del Sol se modifica en las violentas crisis que agitan su masa, estas modificaciones bien podrian hacerse sentir sobre la Tierra y sobre los demas planetas.

En estos últimos tiempos se ha deseado saber si experimenta variaciones particulares durante los eclipses el magnetismo terrestre. La observacion no nos ha hecho conocer nada claro y definitivo sobre el asunto: parece, sí, que la aguja sufre una accion apreciable en la zona de la totalidad. Por lo demas, este re-

sultado es perfectamente verosímil; sabemos que la Luna es magnética, y cuando un cuerpo magnético se interpone entre la aguja y el imán que obra sobre ella, la posición de equilibrio de la primera se modifica. Bien puede la Luna actuar de igual manera y modificar por su presencia la acción del Sol sobre el magnetismo terrestre, sobre todo en la región en que el eclipse es total.

La segunda opinión, la de la acción indirecta del Sol, nos parece hoy más probable. Vemos, en efecto, que el período undecenal de las variaciones diurnas tiene una relación cierta con las auroras polares, y que el valor absoluto de las variaciones depende incontestablemente del número de las auroras. Indudablemente, son las auroras polares fenómenos meteorológicos, debidos á la electricidad que se trasporta del Ecuador á los polos á través de las regiones superiores de la atmósfera. Esta electricidad hace nacer sobre el globo terrestre verdaderas corrientes, que actúan sobre la aguja imantada. La existencia de estas corrientes telúricas está hoy perfectamente probada; y en los hilos telegráficos producen á veces corrientes derivadas capaces de producir descargas. Durante cuatro años hemos tenido un hilo telegráfico de 50 kilómetros de longitud á nuestra disposición, y hemos notado que *siempre* existía corriente, y que durante las perturbaciones llegaba á tener gran intensidad. (1) Últimamente, ha deducido Airy de las obser-

(1) La dirección del conductor influye mucho en la intensidad de la corriente que se observa. Esto no obstante, para no sentar como verdad inconcusa lo que bien

vaciones de Greenwich, que todos los movimientos magnéticos son debidos á corrientes eléctricas que circulan en la Tierra.

Siendo la electricidad causa inmediata de todas estas perturbaciones extraordinarias, bien se puede referir al mismo origen la variacion diurna; y fácil es concebir la existencia de una variacion periódica diaria en la atmósfera, capaz de producir tal resultado. Esta variacion se relaciona principalmente con los cambios que sufre la cantidad relativa de vapor de agua. Se habia buscado anteriormente la explicacion del fenómeno en la marcha del termómetro; pero la influencia de la temperatura bastaba apenas á dar cuenta de las oscilaciones de la declinacion, únicas conocidas en aquella época; al presente, conociéndose tambien las variaciones de la inclinacion y de la fuerza magnética, es necesario recurrir á otra causa para obtener la explicacion. La única admisible, á nuestro modo de ver, es suponer que la temperatura actúa

pudiera ser un prejuicio, convendria una observacion más completa que la hecha hasta el presente; hay muchas causas que producen corrientes diversas de la supuesta por Ampere. Además, según los experimentos de Rowland y Helmholtz, véase *Philosophical Magazine*, Set. 76, no es necesario admitir la existencia de una corriente que rodee el globo para explicar el magnetismo terrestre, puesto que un cuerpo electrizado, girando, actúa sobre la aguja como una corriente; y estando electrizada la superficie de la Tierra, tanto el interior de la misma como el exterior, serán campos de acción magnética.

(N. del T.)

indirectamente sobre el magnetismo, modificando el estado eléctrico del globo por medio de los vapores. (1)

Por más seductora que parezca esta teoría, tenida por nosotros como la más probable, no deja, sin embargo, de presentar sus dificultades. En el estado actual de la ciencia no podemos determinar con seguridad la relación que liga las variaciones eléctricas con las que ofrecen las manchas. Sin duda, debe estar acompañada de fenómenos eléctricos la formación de una mancha, pero no podemos explicar cómo puede la electricidad producida reaccionar sobre nuestras agujas. En cuanto á las auroras polares, que á veces aparecen simultáneamente en ámbos hemisferios, si bien es cierto que en algunos casos coinciden con la aparición de las manchas, esto en rigor ocurre raras veces; y además, como no podemos notar la aparición de las manchas en el hemisferio oculto, no conviene atribuir sobrada importancia á estas coincidencias. (2) No es posible, pues, ligar estos dos fenómenos por la relación de causa y efecto.

(1) Tiene esta hipótesis la ventaja de explicar las diferencias que se observan entre las observaciones de Praga y Viena, con respecto á las de Greenwich, teniendo en cuenta la situación de este último. (*N. del T.*)

(2) Como fácilmente conocerá el lector, determinar aproximadamente el número total de coincidencias no es imposible, ni mucho ménos, conocidas las que se verifican respecto al hemisferio visible. La relación entre el número total de coincidencias y los de auroras y manchas, es de mayor dificultad, y exigiria el trabajo combinado de muchos observatorios. Desgraciadamente **estos últimos valores son los que podrían tener importancia.** (*N. del T.*)

En el siglo anterior procuró Mairan referir á la atmósfera del Sol las auroras polares; pero en su teoría se supone que la atmósfera solar alcanza hasta la Tierra. Era imposible entonces sostener esta hipótesis, fundándola en argumentos directos; pero hoy, después del descubrimiento de las erupciones solares, parece haber adquirido algunas probabilidades de certeza; porque no es realmente imposible que se confunda la atmósfera solar con la luz zodiacal. Hagamos constar, sin embargo, que la materia que constituye el fenómeno de la luz zodiacal, no obstante extenderse hasta la Tierra, no aparece en las auroras polares; ántes hemos hecho ver que, por su pequeña densidad, no es de creer sirva para la trasmision de la electricidad estática.

Todo cuanto puede decirse actualmente es, que la periodicidad de las manchas supone una periodicidad en la actividad solar, y que, así como la falta permanente de manchas en las regiones polares quizá sea motivada por una menor actividad, del mismo modo el periodo del mínimo puede ser efecto de un estado de tranquilidad y reposo general. Esta hipótesis tiene en su apoyo las variaciones del diámetro solar, que, según los trabajos del P. Rosa y de Wolf, son periódicas, y su periodo coincide con el de las manchas. Bien pudieran estas variaciones de actividad hacerse sentir en la Tierra, ya por la radiación calorífica, ya por otro cualquier medio, desconocido aún, como por ejemplo, la inducción electrodinámica, produciendo así en nuestro globo fenómenos meteorológicos ó eléctricos.

Cuanto acabamos de decir no es más, y téngase

bien presente, que una mera conjetura, porque este problema es uno de aquellos cuya solución está reservada para las generaciones venideras. Para resolverlo será preciso encontrar un medio más perfecto de valuar las radiaciones solares; además, será necesario hacer esta valuación durante largos periodos de tiempo, á fin de apreciar sus variaciones y determinar los límites de las mismas, cuidando también de que las observaciones precisas se hagan en diversos puntos de ámbos hemisferios, á fin de evitar las influencias locales. Solamente después de haber cumplido este programa, se estará en estado de formar opinión, y de formular una teoría con verdadero conocimiento de causa. El lector podrá juzgar cuánto nos falta para alcanzar tal situación.

CAPÍTULO II.

Magnitud del sistema solar.

§ I. DETERMINACION DE LA DISTANCIA DE LOS CUERPOS CELESTES.

La determinación de la distancia á cualquier punto inaccesible, es objeto de un problema geométrico, y tal es el caso del Sol. Su distancia á la Tierra, unidad fundamental para la mensura de toda magnitud absoluta en los espacios celestes, no puede ser conocida más que por operaciones de tal naturaleza. En el

fondo, la resolución del problema estriba en la aplicación del principio usado por el agrimensor para determinar la distancia á un punto inaccesible, mediante el conocimiento de la longitud de una recta, base, y de los ángulos que ésta forma con las líneas que unen sus extremos al punto en cuestion. El astrónomo no pone de su parte más que el procedimiento para medir la base y los ángulos, procedimiento que varía según el cuerpo de que se ocupa, y que afecta á veces formas tan particulares que el principio fundamental queda como oculto entre los detalles del procedimiento de mensura.

La base del triángulo que sirve para determinar la distancia á un cuerpo celeste, está siempre sobre la Tierra, y la pequeñez de esta magnitud, comparada con las distancias celestes, es causa de las dificultades que ofrece la resolución del problema.

Supongamos que se trata de determinar la distancia de la Luna á la Tierra. Como el satélite es el cuerpo que tenemos más cercano, la operación será fácil, relativamente. Dejando á un lado las trasformaciones que sufre el procedimiento por la aplicación de los artificios del cálculo matemático, hé aquí el espíritu del método. Supongamos que dos observadores, situados á la mayor distancia posible uno de otro y bajo el mismo meridiano, determinan la distancia zenital de la Luna en cada una de las dos estaciones, en el momento del paso de este astro por el meridiano: obtenidos estos valores y corregidos de refracción, cesa el problema de ser astronómico. En efecto, los radios terrestres correspondientes á los puntos de observación, son dos rectas de magnitud y posición co-

nocidas; de igual manera son conocidos los ángulos que forman con ellos las visuales dirigidas á la Luna, puesto que es lo determinado al hallar las distancias zenitales. Estas cuatro líneas forman un cuadrilátero, cuyas diagonales son la distancia de la Tierra á la Luna, incógnita, y la cuerda que une ámbas estaciones de observaciones, conocida de magnitud y posición. Fácil es comprender como, sirviéndose de esta cuerda como base, puede determinarse, resolviendo un sencillo problema trigonométrico, la magnitud de una de las visuales, y despues, mediante la resolución del otro triángulo, formado por la visual determinada, el rádio correspondiente y la distancia de la Luna al centro de la Tierra, el valor de esta última línea, objeto del problema.

Es evidente que las dos líneas visuales de que hemos hablado, marcan por su prolongacion dos puntos distintos en la esfera celeste, ó lo que es lo mismo, la Luna aparece en posición distinta segun el lugar de la estación que observa; el ángulo formado por las dos visuales, que mide la diferencia entre las posiciones aparentes de la Luna, se llama *Paralaje*, y varia con la posición del observador y con la altura y distancia del astro. Si un observador estuviese situado en el centro de la Tierra, veria proyectarse la Luna en distinto lugar que otro cualquiera colocado en la superficie de la Tierra, fuera de la línea de los centros de los astros; las visuales dirigidas á la Luna simultáneamente, en cualquier tiempo, por estos dos observadores, formarían un triángulo con el rádio terrestre, correspondiente á la estación situada en la superficie de la Tierra; y como el valor de esta línea es co-

nocido, y tambien el ángulo que forma con la visual de la última estacion, si conociésemos el de ámbas visuales, podriamos calcular la distancia entre ámbos astros, resolviendo el triángulo. Vemos, pues, que lo esencial es conocer la paralaje para determinar la distancia, y de aquí que sean sinónimas ámbas expresiones para los astrónomos.

La paralaje deprime siempre el astro, esto es, lo aleja del zénit. La causa de esto es evidente: toda visual tirada desde un punto cualquiera de la superficie de la Tierra á otro situado sobre el horizonte, forma con el plano de este círculo un ángulo menor que el formado con el mismo plano por la línea que une el centro de la tierra y el punto observado. El valor de la paralaje depende, *cæteris paribus*, de la altura del astro. El número constante que los astrónomos designan con el nombre de paralaje, es la *paralaje horizontal ecuatorial*, ó sea, el valor particular que toma la paralaje de un astro cuando se encuentra en el horizonte de un lugar situado bajo el ecuador. Los demas valores de la paralaje son una funcion muy sencilla de ésta y de la altura del astro.

Así, pues, el problema de agrimensura se transforma en problema astronómico, siendo preciso para encontrar la *distancia* al Sol medir su paralaje. Los astrónomos antiguos procuraron valuarla, pero no les era posible, ni aún para la Luna, usar un método tan directo, simplemente por ser impracticable para ellos la observacion simultánea que hemos supuesto; en los continentes conocidos por los antiguos no era posible situar dos observatorios en las condiciones necesarias. Pero si no pudieron acudir á tal procedimiento, supie-

ron suplirlo de un modo ingenioso. En efecto, si desde un punto cualquiera de la superficie de la Tierra se observa la Luna despues de su salida y poco ántes de su ocaso, es evidente que el ángulo de las dos visuales será menor que el formado en el centro de la Tierra por las dos posiciones que ocupará la línea de los centros de ámbos astros en las dos observaciones dichas. Ahora bien, el valor de este último ángulo puede deducirse del movimiento propio de la Luna en el tiempo trascurrido entre ámbas observaciones. De la comparacion de este ángulo con el formado por las visuales de las dos observaciones, puede obtenerse la paralaje lunar; puesto que la diferencia entre ámbos es precisamente la suma de las dos paralajes referidas al paralelo del movimiento diurno de la Luna, que los astrónomos llaman *paralaje de los ángulos horarios*. Conociéndose con bastante aproximacion el movimiento propio de la Luna, se obtiene sin dificultad el valor de la paralaje, que produce esta diferencia. De un modo ó de otro se llega, pues, fácilmente á una valuacion, más ó menos exacta, de la distancia de nuestro satélite; distancia que difiriendo poco de 60 rádios terrestres, no produce, sin embargo, más que una variacion cuyo máximo excede poco más de un grado.

§ II. MENSURA DE LA DISTANCIA DEL SOL Á LA TIERRA.

Pudiera creerse, á primera vista, que el método que acabamos de indicar, tratando de la Luna, es tam-

bien aplicable al Sol, pero en la práctica las dificultades serian insuperables. El ángulo en el Sol es tan pequeño, y las mejores medidas de las distancias zenitales directas estan sujetas á errores relativamente tan considerables, que los resultados obtenidos no tendrían valor alguno. Las refracciones, especialmente, son tan irregulares y tan inciertas que, no obstante la perfeccion de los instrumentos actuales, no podemos responder de la exactitud en un segundo, es decir, en $\frac{1}{8}$ del valor de la paralaje. Aún para la misma Luna no se emplean las distancias zenitales directas, por ser demasiado defectuosas, y se toman distancias á las estrellas, esto es, se refiere la Luna á la misma estrella en ámbas estaciones de observacion, y de las distancias observadas se deduce el ángulo formado por las dos visuales dirigidas á la Luna.

De aquí la necesidad que en todo tiempo ha habido de recurrir á medios indirectos. No nos ocuparemos de todos los que inventaron los antiguos, pues por ingeniosos que fuesen, no dieron resultado alguno; indicaremos solamente uno imaginado por Aristarco. Este famoso método consiste en hallar la distancia del Sol mediante la de la Luna. Siendo este astro un globo, que tiene constantemente iluminado un hemisferio por el Sol, la línea de separacion entre la parte oscura y la iluminada es una circunferencia. Esta circunferencia se nos presenta de ordinario bajo la forma de una elipse, pero cuando la Tierra está en su plano, aparece como una recta. En tal caso, las líneas que unen los centros del Sol y de la Tierra al de la Luna, forman un ángulo recto. Si aprovechamos, pues, el momento en que la faz de la Luna está ter-

minada por una recta, para medir el ángulo que forman en la Tierra las líneas de los centros, tendremos conocido un cateto del triángulo rectángulo, y á más, los ángulos agudos, datos suficientes para determinar la hipotenusa, ó distancia de la Tierra al Sol en este caso. Aristarco halló para valor de esta magnitud 49 veces la distancia de la Tierra á la Luna. Este valor es en extremo pequeño, porque supone un ángulo en el Sol de tres grados, y realmente el tal ángulo no puede llegar á nueve minutos. El motivo verdadero de esta falsa valuacion es la imposibilidad de apreciar á simple vista el momento en que la circunferencia, límite de luz y sombra, se proyecta segun una recta, dificultad que es una verdadera imposibilidad, aún sirviéndose de un antejo, por efecto de las desigualdades de la superficie lunar. Riccioli probó que el ángulo en el Sol no llegaba á 30 minutos, lo que hacia subir la distancia del Sol á la Tierra á 445 veces la de ésta á la Luna, ó sea, á 6,900 rádios terrestres; pero, así y todo, este valor no llega al tercio de la verdadera distancia.

Cassini, despues de haber encontrado una regla bastante exacta para calcular las refracciones, lo que le permitia descartar la principal causa de error en sus observaciones, aplicó á los cometas el método de la paralaje de los ángulos horarios, de que ya hemos hecho mérito al hablar de la Luna, y dedujo que estaban mucho más distantes que este astro; pero su procedimiento resultó infructuoso al aplicarlo al Sol, porque obtuvo para la paralaje solar un valor más pequeño que los errores propios de sus observaciones.

Afortunadamente no es necesario recurrir al Sol

mismo para hallar su distancia: basta con conocer la de un planeta cualquiera para deducir la del Sol. Para comprender bien esto, es preciso recordar el gran descubrimiento de Kepler. Ocupado en determinar la órbita de Marte, embarazado por mil dificultades que ofrecian las teorías antiguas, decidió Kepler prescindir de todas, y determinar gráficamente, y por puntos, la órbita del planeta, tomando distancias directas de éste al Sol. Para conseguirlo, aplicó los procedimientos de agrimensura ó triangulación de que ya hemos hablado. En efecto, los antiguos conocian bastante bien la duracion de las revoluciones de cada planeta, referidas al Sol; porque valiéndose de las oposiciones, podian determinar estos tiempos observando desde la Tierra como si estuviesen sobre el Sol; y partiendo de este dato, se concibe sin dificultad como podian, despues de tomar la *alargacion* correspondiente á Marte, por ejemplo, ó sea el ángulo formado por las visuales dirigidas simultáneamente á Marte y al Sol, repetir esta operacion cuando el planeta al cabo de 687 dias volvía á encontrarse en la misma posicion que ántes; con lo cual, y supuesta conocida la cuerda que une las dos posiciones de la Tierra, en las dos observaciones, el problema se reduce al primero de que nos ocupamos en el presente capitulo, ó sea, al de la determinacion de la distancia de la Luna por las observaciones simultáneas. Siguiendo este procedimiento determinó Kepler la distancia de todos los planetas superiores al Sol (1). Con los

(1) Siempre en funcion de la distancia desconocida del Sol á la Tierra. (N. del T).

planetas inferiores es más sencillo aún el problema, porque en el momento en que uno de ellos, cualquiera, llega á su máxima alongacion, las líneas de los centros de la Tierra, el Sol y el planeta, forman un triángulo rectángulo, uno de cuyos ángulos es el de la máxima alongacion, y cuya hipotenusa no es otra que la distancia de la Tierra al Sol, cantidad que para estos cálculos se supone conocida.

Conocidas de esta manera las distancias planetarias, despues de haberlas corregido de los efectos de las inclinaciones y de las excentricidades, las comparó Kepler á los tiempos de las revoluciones de los planetas, y encontró la famosa ley que lleva su nombre, segun la cual, *los cuadrados de los tiempos de las revoluciones son entre sí como los cubos de las distancias medias*. Resulta de esta ley que si en un momento cualquiera se determina la distancia entre dos planetas, la del Sol á los mismos, y por lo tanto á todos los demas, puede deducirse inmediatamente. (1)

Ahora bien, hay entre los planetas dos, Marte y Vénus, que se aproximan á la Tierra mucho más que el Sol. Marte, en su oposicion, llega á distar de la

(1) Designando por a y a' las distancias medias de dos planetas al Sol, y por T y T' las duraciones de sus revoluciones, puede escribirse la ley de Kepler $\frac{a^3}{a'^3} = \frac{T^2}{T'^2}$,

de donde $\frac{a}{a'} = \frac{T^{2/3}}{T'^{2/3}}$ y $\frac{a-a'}{a'} = \frac{T^{2/3} - T'^{2/3}}{T'^{2/3}}$. Conocida

$a-a'$, se tiene el valor de a' , y despues la distancia de todos los demas planetas.

Tierra la mitad que el Sol, y Vénus, en su conjunción inferior, cuando pasa entre el Sol y nosotros, sólo los $\frac{2}{7}$ (1). Estas aproximaciones pueden ser aún mayores, si se elije la oposicion de Marte en perihelio cuando esté la Tierra en afelio, y la conjunción de Vénus en afelio con la Tierra en perihelio.

Si se determina, pues, la distancia de uno de estos dos planetas en estas condiciones, es fácil de deducir la del Sol, por la proporcion de Kepler.

Cassini, en Bolonia, intentó determinar la paralaje de Marte por el medio de los ángulos horarios, y obtuvo para la del Sol 42 segundos. Ya era esto un gran paso, pero el resultado no era lo bastante seguro. Habiendo llamado á su seno la Academia de Ciencias de Paris á Cassini, y decidido enviar á Richer á Cayena, con motivo de investigaciones astronómicas, insistió el primero en que el segundo fuese encargado de observar á Marte durante la oposicion de 1672, mientras que él y los demas astrónomos lo observaban en Europa. Las observaciones hechas por Richer, cerca del Ecuador, comparadas con las de los astrónomos de Europa, dieron para la paralaje de Marte 25 segundos $\frac{1}{2}$; de donde se deducia que la del Sol era igual á 9 y $\frac{1}{2}$ segundos. Este resultado concordaba con el de las observaciones hechas por Cassini mismo, pero difería de los obtenidos por otros astrónomos, y continuó la incertidumbre sobre el valor de la

(1) La distancia media de la Tierra al Sol es de 147.467.000 kilómetros; Marte en oposicion llega á 77.056.000 kilómetros, término medio, y Vénus á 40.709.000 kilómetros.

paralaje solar. Las observaciones hechas en años posteriores por Moraldi, Pound y Bradley, dieron paralajes comprendidas entre 9 y 12 segundos. En 1751 hizo La Caille un viaje al Cabo de Buena Esperanza para hacer allí observaciones astronómicas, y se ocupó de Marte durante la oposición del mes de Octubre de aquel año. El resultado de la comparación de sus observaciones con las hechas en Europa dió 26",8 á la paralaje de Marte, y 40",2 á la del Sol.

Para que el lector comprenda sin dificultad cómo es posible que estas observaciones den lugar á tales incertidumbres, creemos conveniente exponer con alguna extensión el modo de hacerla. La trayectoria de Marte, en la esfera celeste, está trazada de antemano, sirviéndose de las tablas del planeta; de este modo se conoce á qué estrellas se aproximará en la época oportuna. La misión del observador está reducida á medir, ya en declinacion, ya en posición y distancia, la del planeta á estas estrellas; pero esta operación, tan sencilla al parecer, no deja de presentar dificultades. Notemos desde luego que si Marte dista de una estrella cualquiera la distancia a para un observador, para otro distará a' , y es necesario determinar exactamente estos arcos para la resolución del problema. Ahora bien, la medición de estas magnitudes ofrece graves dificultades; desde luego, tiene Marte un disco lo bastante grande para que el observador no pueda fijar exactamente el centro, y por lo tanto hay precisión de tomar la distancia de la estrella al limbo del planeta, y luego el diámetro de éste, para añadir al valor hallado primeramente la mitad de este último. Pero el limbo es difícil de fijar, porque hay necesidad de

luchar para hacerlo con los efectos de luz, procedentes de las imperfecciones del antejo, con el grueso de los hilos, etc., causas de error todas que se agravan por la debilidad de la luz del limbo de Marte, producida por la absorcion de su atmósfera: de aqui, pues, procede la diversidad de apreciaciones segun el poder de los instrumentos. Nada hay más difícil que hacer á un hilo rigurosamente tangente al limbo de un planeta. La oscilacion del aire, la distancia de la estrella, á veces molesta, la diferencia de refraccion, son aún hoy dia causas de error, y antiguamente, sobre todo en la época á que nos referimos, eran mucho más considerables, por el poco poder de los antejos, y por no ser las lentes acromáticas. Además, la estrella no siempre se encuentra en el plano del planeta y de los dos observadores, y en tal caso exige mayor cuidado aún la determinacion de las distancias. Añadamos á lo dicho que Marte se mueve constantemente, y que es necesario corregir de este movimiento las observaciones cuando no son rigurosamente simultáneas. No debe, pues, causar extrañeza si las magnitudes obtenidas por este procedimiento ofrecen discordancia. Las observaciones de Marte son de gran interes, y han vuelto á hacerse en nuestro tiempo, sobre todo en los años en que, estando el planeta en el perihelio y la Tierra en el afelio, la distancia entre ámbos es menor; el resultado de las observaciones hechas, tanto en Europa como en América y África, ha sido $8''{,}49$; contribuyendo así, como veremos, á rectificar el valor de la paralaje, aceptado en la primer mitad de este siglo, bajo la autoridad de los cálculos de Encke.

Para evitar las dificultades inherentes á la mensura del diámetro del planeta, ha propuesto Galle hacer las observaciones de Flora, el cuál, si no llega tan cerca de nosotros como Marte, se aproxima sin embargo á una distancia poco mayor que la del Sol (1); de suerte que puede dar un valor de la paralaje, si no determinado por un número mayor, al ménos más cierto, puesto que está exento del error dependiente del diámetro del disco; porque, siendo este último muy pequeño, es posible apreciar su centro con exactitud. Las observaciones hechas en 1874 han señalado para la paralaje $8'',873$ (2): á este valor corresponde una distancia del Sol igual á $23,245$ ródios terrestres.

§ III. PARALAJE SOLAR DEDUCIDA DE LAS OBSERVACIONES DE VENUS.

El planeta Vénus puede servir, como Marte, cuando está en su conjuncion inferior, porque á veces su distancia al Sol en latitud es lo bastante considerable para que sea visible aún en el momento de la conjuncion. Pero en este caso no tenemos la ventaja de

(1) La distancia mínima media á que llega, es $176.775,000$ kilómetros, pero en su perihelio se aproxima más.

(2) *Comptes rendus des seances de l'Academie des Sciences*, t. LXXIX, pág. 1361.

poder referir el planeta á las estrellas, á causa de que la faz es muy estrecha y exige numerosas correcciones, siendo preciso contentarse con las distancias zenitales absolutas. Podríamos referirlo al Sol, pero como la paralaje tambien tiene influencia sobre este astro, no quedaria más que la diferencia igual á los $\frac{7}{3}$ de la paralaje solar. Sin embargo, empleando este método, La Caille y sus contemporáneos obtuvieron para la paralaje solar 10'',38. Este valor no era muy diferente del obtenido sirviéndose de Marte; es, sin embargo, demasiado grande, como pronto veremos, y este error dependió de la inexactitud de las observaciones hechas con los imperfectos anteojos de la época.

Es posible servirse de Vénus de otra manera. Como este planeta se interpone á veces entre el Sol y nosotros, de tal modo que proyecta su disco sobre el del Sol, se puede medir su distancia al limbo desde dos estaciones distantes, tal como se hace con la distancia de Marte á una estrella. Este procedimiento es bueno, pero exige medidas micrométricas, que siempre son más ó menos inexactas. Ha sido aplicado en gran escala durante el último paso; pero aún no conocemos los resultados obtenidos.

Un inglés, el célebre Halley, fué quien enseñó á los astrónomos el verdadero medio de servirse de este planeta para obtener la paralaje solar, evitando el uso de los micrómetros para medir las distancias, y los demas medios sujetos á errores de mayor ó menor importancia. Siguiendo este método, basta un buen cronómetro y un buen antejo; un segundo de arco de la paralaje corresponde á tres minutos de tiempo, de manera que la paralaje se deduce de una cantidad no-

tablemente mayor que ella, y más fácil de determinar.

El método de Halley consiste en apreciar el tiempo que tarda el planeta en atravesar el disco solar cuando se proyecta sobre éste, estando en conjunción inferior. Cuando esto ocurre, aparece Vénus sobre el disco como una mancha negra, de un diámetro de un minuto de arco próximamente, destacándose admirablemente sobre el fondo brillante del astro, y es posible tomar la entrada y la salida con gran exactitud. El único inconveniente que hay es que estos pasos son bastante poco frecuentes. Entre un primer paso y el segundo, trascurren 105 años, después á los 8 años se verifica otro, y el tercero no ocurre hasta 122 años después del segundo; el siguiente se presenta á los ocho años.

Hé aquí los pasos de Vénus á contar del primero que fué observado:

Día.	Año.	Lado del disco.
4 Diciembre.	1639	A
6 Junio.	1761	A
3 Junio.	1769	B
9 Diciembre.	1874	B
6 Diciembre.	1882	A
8 Junio.	2004	A
5 Junio.	2012	B

Esta misma rareza del fenómeno, en vez de desanimar á los astrónomos, ha sido un motivo que han tenido para redoblar su celo y actividad, y la historia de la ciencia está llena de la relacion de los aprestos hechos y expediciones emprendidas, á fin de aprovechar estos pasos para la resolución del gran problema.

Las siguientes consideraciones servirán para esclarecer las circunstancias del fenómeno. Si Vénus y la Tierra circularan alrededor del Sol en el mismo plano, pasaría la primera delante del Sol á cada revolución sinódica, esto es, á cada conjunción inferior. Pero como el plano de la órbita de Vénus forma con el de la órbita de la Tierra un ángulo de $3^{\circ} 23'31''$, no es posible ver el paso más que cuando ámbos planetas estan sobre la línea en el nodo, ó al ménos tan cerca de él, que la distancia de Vénus al Sol no exceda de la suma de los semidiámetros de ámbos astros, ó sea de $15'32''$, sin lo cual, vista Vénus desde la Tierra, aparece fuera del disco solar.

Si suponemos que uno de estos pasos se ha verificado, por ejemplo, bajo el nodo, el siguiente no podrá presentarse hasta los ocho años, y sobre el nodo; es el intervalo más corto que puede mediar entre dos posiciones de ámbos planetas sobre la línea que pase por el Sol. Despues de estos dos pasos, las conjunciones de Vénus son superiores y más distantes del nodo hasta trascurrir 405 ó 422 años, segun la posición del afelio de Vénus y de la Tierra, en que vuelve á verificarse un paso en el nodo descendente.

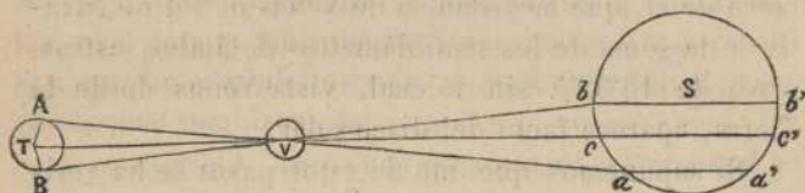
Ya hemos insertado la lista de los pasos ocurridos desde el renacimiento de la astronomía. El primero, el de 1639, no fué visto más que por Horrox y Crabtree en Inglaterra, y no supieron sacar ningun partido de él; el segundo, en 1761, fué observado con resultado, gracias al celo de L' Academie des Sciences, pero no se presentó en circunstancias muy favorables, y se hallaron valores de la paralaje comprendidos entre $8'',86$ y $10'',25$, habiendo sido preciso aplazar la

solucion definitiva hasta el paso de 1769, que fué observado con mejor éxito. Por último, el ocurrido en 1874 tambien ha sido observado, y esperamos conocer los resultados de estas últimas expediciones. (1)

Veamos ya cómo pueden servir estos pasos para determinar la paralaje solar.

Sean T, V, S, fig.^a 44, los centros de la Tierra,

Fig. 44.



Vénus y el Sol, y sean A y B dos observadores, tan apartados uno de otro cuanto sea posible. Es evidente que el observador A verá á Vénus en a , mientras que el B la verá en b , y que en su paso trazará el planeta para el primero la aa' , y para el segundo la bb' . La distancia de estas dos cuerdas será funcion de la paralaje, porque un observador situado en el centro de la Tierra hubiera visto al planeta seguir la cuerda cc' .

Realmente estan muy próximas ámbas cuerdas, pero distan del centro lo bastante para ofrecer sufi-

(1) Respecto á la historia, pormenores y cálculos referentes á este paso, puede consultarse la Memoria de Delaunay, publicada en 1874 por la Academia de Ciencias, con otros documentos concernientes al mismo asunto. (*Memoires de l' Institut*, t. XLI.)

ciente diferencia en sus longitudes, y por lo tanto una gran diferencia en la duracion de los pasos. Por las tablas de Vénus se puede saber el tiempo que este planeta emplearía en recorrer un diámetro del disco solar, y por la observacion, el que tarda en recorrer las cuerdas bb' y aa' ; puede, por lo tanto, valuarse la longitud de cada cuerda en funcion del diámetro, y por lo tanto, conocerse la distancia que las separa, igual á la diferencia de paralajes entre Vénus y el Sol. En el caso presente hemos supuesto que los observadores A y B estuviesen colocados del mismo lado del meridiano; pero hay una circunstancia ventajosa que algunas veces permite aumentar considerablemente la diferencia de duracion de los pasos. Cayendo los nodos de la órbita de Vénus muy cerca de los signos de Cancer y Capricornio, se verifican los pasos necesariamente en los meses de Junio y Diciembre. En tales épocas presenta la Tierra al Sol uno de sus casquetes polares, de manera que los observadores pueden estar en partes contrarias de un meridiano, separadas por un polo. Entónces, si la rotacion diurna se verifica para uno en el sentido del movimiento de Vénus en el cielo, para el otro se realiza en sentido contrario; y si para el uno aumenta la duracion del paso, la disminuye para el otro. Esta accion diferente contribuye á aumentar la diferencia de las duraciones, y por lo tanto la cantidad que ha de servir para determinar la paralaje. Esto fué precisamente lo que ocurrió en 1769. Mientras que los observadores situados en California y en Honolulu estaban de un lado del polo, el P. Hell, en Wardhous, en Laponia, estaba del otro; y mientras que para este último se iba á

ocultar el astro, para los otros nacía, exagerándose así las paralajes en sentido contrario. El P. Hell pudo observar por la tarde la entrada del planeta y á la mañana siguiente la salida (1). La duracion de este paso fué de algunas horas, y la diferencia en las estaciones opuestas llegó á 27 minutos. ¡Tres minutos por un segundo de paralaje!

Vemos, pues, cuan grandes son las ventajas del método de Halley, que se reduce á la simple determinacion de los momentos de entrada y salida, sin exigir más que la buena marcha del cronómetro. Sin embargo, como no hay pró sin contra, tambien en este caso sucede lo mismo.

Como vemos, es condicion indispensable para el buen éxito, que la entrada y salida del planeta sea observada en la misma estacion; no pudiendo realizarse una cualquiera de ámbas observaciones, todo el trabajo queda perdido. Y quién es capaz de asegurar el tiempo? Agreguemos á esto que las estaciones en que es posible ver las dos fases, no son generalmente tan abundantes que permitan á los observadores extenderse por todas partes, mientras que las regiones en que es posible observar la entrada ó salida, son en mucho mayor número; pero todas éstas son inútiles para el método de Halley.

Un astrónomo frances, Delisle, imaginó un método en que estas últimas estaciones son utilizables, pe-

(1) Para no formar una idea errónea de la duracion de este paso debe tenerse en cuenta que en el 3 de Junio, á la latitud en que estaba el P. Hell, la noche dura poco.

ro con la condicion, no exigida por el método de Halley, de conocer con precision absoluta la longitud geográfica del observatorio. Esta condicion, que podia ofrecer algunas dificultades en tiempo de Delisle, es hoy dia cosa de poca importancia, y la dificultad que implica vá desapareciendo cada vez más. Para comprender bien las ventajas de este método, veamos la influencia de la paralaje en la entrada y salida del planeta. Supongamos un observador que vé el Sol á Poniente, verificándose el paso de Oriente á Occidente; como la paralaje aproxima el astro al horizonte, el observador supuesto en este caso verá á Vénus tocar al limbo solar ántes del tiempo en que pudiera verlo otro situado en el centro de la Tierra, y por lo tanto, la *entrada* se habrá *adelantado*. De igual manera, por la misma causa se *retardará* la *salida* para el observador que vea el Sol á Levante. Si suponemos ahora los casos opuestos, un observador que vé la *entrada* á Levante, y otro que observa la *salida* á Poniente, verán, cada uno de ellos, la faz correspondiente *retrasada* y *adelantada*; si se combinan las observaciones, la duracion del paso señalada por los últimos aparecerá *disminuida*, y la señalada por los primeros *aumentada*.

Es evidente que cuando se combinan las observaciones de lugares distintos, es necesario, para apreciar la duracion del paso, reducir el tiempo de unas estaciones al de otras: de aqui la necesidad de conocer sus longitudes; pero es claro que así pueden utilizarse muchos lugares inútiles para el método de Halley, y ademas, tampoco se pierden los trabajos hechos en las estaciones dedicadas á este último método, cuando

impiden las nubes la observacion de una de las dos fases del fenómeno.

Para hallar los lugares en que son visibles las fases, basta recurrir al método seguido por los astrónomos para los eclipses ordinarios.

Por las tablas es posible siempre calcular el momento exacto de la conjuncion de Vénus y el Sol, y por lo tanto, los momentos de entrada y salida del astro para un observador colocado en el centro de la Tierra. Sabiendo, por ejemplo, la hora de entrada por San Fernando, se busca el lugar de la Tierra que debe tener el Sol en el zénit en aquel instante. Hecho esto, se coloca el globo terrestre de manera que el punto hallado esté en la parte más alta, y en el hemisferio se verán todos los puntos que tienen entónces el Sol sobre el horizonte, y en los que se verá la entrada. Conociendo tambien la hora de la salida, y operando de igual modo, pueden determinarse los lugares en que es visible esta faz. Aquellos que hayan permanecido sobre el horizonte en ámbas posiciones del globo, verán el principio y el fin del fenómeno, y podrá en ellos seguirse el método de Halley. Tambien podrá verse directamente, siguiendo el procedimiento que hemos indicado, la altura del Sol sobre el horizonte en el momento de entrada ó salida en cada estacion. Partiendo de estos datos, podran elegirse las estaciones más convenientes para las observaciones, segun los dos métodos; porque es necesario que no esté el Sol ni muy alto ni muy bajo, lo primero para evitar la disminucion de la paralaje, lo segundo por causa de la refraccion y de las agitaciones irregulares del aire. De esta manera se hace una eleccion provisional de

las estaciones, eleccion que despues se depura y termina mediante cálculos más rigorosos. En el volúmen citado anteriormente (*Memoires de l'Institut*, t. XLI) pueden verse las cartas formadas por Puiseux para los pasos de 1874 y 1882. En el último paso observado podia llegar la diferencia de duracion á 30 minutos; pero no todas las estaciones eran fácilmente accesibles, y esta circunstancia restringia mucho la eleccion.

De lo que llevamos dicho resulta que los 9 segundos de paralaje pueden estar representados por 27 ó 30 minutos; de manera que á cada segundo de arco corresponden 3 minutos de tiempo, de tal suerte, que aún cometiendo un error de 10 segundos de tiempo, se tendria un resultado aproximado en $\frac{1}{13}$ ó $\frac{1}{20}$ de segundo de arco, ó sea en 0",05. Pero no todos los pasos son tan favorables, y en algunos casos, la situacion de las estaciones obliga á conformarse con una diferencia de duracion de 17 á 20 minutos solamente.

Hay, sin embargo, que tener en cuenta que esta exactitud teórica es muy difícil de conseguir en la práctica. Por de pronto, el paso completo ofrece cuatro contactos:

1.º Primer contacto exterior; cuando Vénus vá á entrar en el disco solar.

2.º Primer contacto interior; cuando Vénus ha entrado completamente dentro del disco del Sol.

3.º Segundo contacto interior; cuando vá á salir el planeta.

4.º Segundo contacto exterior; cuando van á separarse completamente ámbos astros.

Evidentemente, sólo el segundo y el tercero de es-

tos cuatro contactos son utilizables; porque el primero es invisible, á causa de que Vénus no se distingue hasta que ha entrado en el Sol. Con el fin de poder aprovecharlo se ha propuesto emplear el espectróscopo para ver el momento en que la cromoesfera comienza á eclipsarse, lo que permitiría apreciar el momento en que Vénus muerde el disco solar; pero con el espectróscopo ordinario el limbo nunca aparece tranquilo y se produce una difusion de luz bastante sensible, que turba la vista y no deja ver el contacto con bastante limpieza. Con el fin de remediar este inconveniente, hemos propuesto colocar delante de la mira un segundo prisma, que produce una imágen solar muy bien definida en el foco del anteojo espectroscópico (1). Este prisma puede colocarse delante del objetivo del anteojo grande; pero entónces debe tener considerables dimensiones: puede tambien colocarse directamente delante de la mira del instrumento, á unos 0,25 milímetros de la misma. Si se hace uso de un prisma de vision directa, es preciso que el mastic de las pegaduras resista bien la accion del calor, para que el Sol no lo funda; pero como los contactos espectroscópicos no son comparables á las observaciones ordinarias, no es posible utilizar este instrumento más que en las investigaciones secundarias, como luego veremos.

El primer contacto interior es de suma importancia. El momento en que se restablece la continuidad del limbo solar, por el cierre del anillo luminoso que termina la entalladura producida por Vénus, debe

(1) Tomo I, p. 236.

determinarse con la mayor exactitud: en el momento en que esto se verifica, debe considerarse ya el planeta completamente dentro del disco solar; pero en este instante, tan fácil de notar al parecer, se presentan fenómenos que con frecuencia han tenido perplejos á los observadores. No insistimos sobre las ondulaciones de la atmósfera, que á veces son muy molestas, y que pueden producir diferencias de un minuto de tiempo, constituyendo por sí solas una dificultad de importancia. La deformacion que sufre el planeta, si está el Sol muy cerca del horizonte, hace perder el momento más precioso; pero aparte de estas dificultades accidentales, que es posible evitar eligiendo una estacion en que el Sol esté suficientemente alto, se tropieza con otros inconvenientes no ménos sensibles.

Los observadores de 1769 notaron, y especialmente el P. Hell, que cuando el limbo del planeta llegó á ser tangente interiormente al limbo del Sol, el círculo luminoso no se cerró inmediatamente, sino que el planeta se movía teniendo en su parte posterior como una gota negra unida al borde solar por un gequeño gollete. Despues de alcanzar una cierta longitud, esta gota se rompió de repente, produciéndose una especie de relámpago (*fulmen*, segun la expresion del P. Hell), reuniéndose instantáneamente las dos partes de la abertura. Mucho se ha discutido sobre la causa de esta apariencia; la opinion general la atribuye á una difusion de la imágen solar, debida, bien á la irradiacion, bien á la imperfeccion de los anteojos. En el paso de 1874, la mayor parte de los espectadores, especialmente los que tenian buenos

anteojos, de gran absorcion, y que cuidaron de poner bien á foco el ocular, no han visto nada que se parezca al ligamento negro de que hemos hablado; sin embargo, algunos han notado cierta vacilacion al cerrarse el círculo luminoso. Como ya hemos tenido ocasion de decir (véase t. I p. 347), la difusion debida, ya á la irradiacion, ya á las imperfecciones del antejo, podria fácilmente dar lugar á esta apariencia.

Existe á más otra causa de incertidumbre, que no ha molestado poco á los observadores de 1874. Sabido es que Vénus tiene una atmósfera lo bastante sensible para hacer que la faz iluminada exceda de 180 grados. Como consecuencia, cuando el planeta esté en direccion al Sol, todo el contorno de su atmósfera aparecerá vivamente iluminado, de donde resultará una especie de anillo de luz refractada alrededor de su disco. Y esto es precisamente lo que la observacion ha mostrado. Janssen, con auxilio de vidrios azules absorbentes, ha podido distinguir á Vénus á una distancia apreciable del disco solar, ántes de tocarlo, y Laymann lo ha visto poniéndose á cubierto de los rayos solares tras de los objetos terrestres bastante lejanos. Otros han visto entero el perímetro del disco cuando ya habia entrado en parte en el Sol. La corona de luz fué lo bastante viva para superar la luz de nuestra atmósfera, de manera que se hizo visible; esta luz ha causado algunas molestias á los observadores, al llegar el borde así iluminado á contacto con el disco del Sol y mezclar su luz con la del filete que estaba á punto de cerrarse (1). Mouchez, que estaba

(1) En el primer contacto interior.

en la isla de San Pablo, vió el fenómeno con gran claridad, y lo halló sobrado molesto. Resulta de aquí que tiene necesidad el observador de decidirse sobre fenómenos muy complicados, que se superponen, y que por ser imprevistos producen confusion. El ser más ó menos penetrante la vista del observador, influye tambien en el momento de notar la aparicion del filete, que no es instantánea, aunque lo parezca; porque, como sabemos, el contorno solar no está recordado, y, segun los observadores, será preciso que el astro haya *entrado* más ó menos para que la luz tenga fuerza bastante á impresionar la retina. No debemos tampoco olvidar que no es igual la intensidad luminosa del Sol en todo su contorno, y que esto puede dar lugar á diferencias de apreciacion respecto al momento del contacto. En fin, si consideramos la lentitud del movimiento de Vénus, que emplea diez y seis segundos de tiempo en recorrer uno de arco (1), no nos admiraremos de hallar divergencias de diez y hasta de veinte segundos en las apreciaciones del momento de entrada ó del de salida. Estas diferencias tambien se notan en los pasos de Mercurio, aunque este planeta sea de más rápido movimiento. En cuanto á los dos contactos finales, no tenemos más que repetir lo dicho respecto á los dos primeros. En el tercero, la rotura del filete dá lugar á iguales dificultades que el cierre del mismo en el segundo. Por lo que hace á la salida final, su observacion nunca merece gran confianza, porque las fluctuaciones debidas á

(1) Este valor, diez y seis segundos, es el señalado por el señ. Tacchini, p. 96 de su informe.

las trepidaciones del aire se confunden con la pequeña entalladura producida por el planeta. En este caso es posible tambien recurrir al espectróscopo, en las mismas condiciones que ya indicamos al tratar del primer contacto.

A pesar de todas estas dificultades prácticas, no por eso deja de ser el método de los pasos el mejor de todos para obtener la paralaje. Y por esta causa han rivalizado en generosidad siempre los gobiernos al enviar á sus astrónomos en expediciones á lejanas tierras, procurando alcanzar las ventajas propias á las estaciones mejor situadas. Con motivo del paso de 1874, envió Francia cinco expediciones, la primera al Japon, á las órdenes de Janssen; la segunda, dirigida por Fleuriais, á Pekin; otra, á cuya cabeza iba Mouchet, al hemisferio austral, á la isla de San Pablo; la cuarta, á Noumea (1) bajo la direccion de André, y por último, otra á la isla de Campbell, que tuvo desgracia y nada vió. Todos los observadores estaban provistos de anteojos ecuatoriales de 6 á 8 pulgadas, de instrumentos de pasos, de altazimudes, de péndulos, de cronómetros, etc. Inglaterra envió tres expediciones: la principal, bajo la direccion de R. P. Perry, á la isla de Kerguelen; las otras dos á la India y á Honolulu. Rusia estableció diez y nueve estaciones en Siberia. Los Estados-Unidos organizaron tres ó cuatro expediciones; Alemania otras tantas, é Italia una. Todo esto sin hablar de los astrónomos que hicieron por su propia cuenta estos largos viajes, ni de las grandes empresas, tales como la de lord Lindsay,

(1) En Nueva Caledonia.

(N. del T.)

que por sí solo erigió en la isla Mauricio un observatorio completo, con cuatro grandes instrumentos y cincuenta cronómetros para determinar las diferencias de longitud de las diversas islas. La expedición del P. Perry permaneció tres meses en Kerguelen para determinar exactamente la longitud de esta isla, que desempeña un importante papel en las observaciones de este paso.

No conocemos aún los resultados de todas estas expediciones. De las comparaciones entre San Pablo y Pekin, ha obtenido Puiseux $8'',879$; André ha hallado, con los datos de otras dos estaciones, $8'',88$; Turquet, $8'',88$; de manera que la inseguridad parece recaer sólo sobre las centésimas. Pero los resultados definitivos no se conocieran hasta pasado algún tiempo, porque la mayor parte de las observaciones han sido hechas por el método de Delisle; el de Halley no ha dado resultados más que en Kerguelen, y quizá en una ó dos estaciones más. Para el cálculo definitivo es necesario conocer no solamente el tiempo local, cosa que exige por sí sola bastantes reducciones, sino también las longitudes de las estaciones, lo que requiere la reducción de un número mayor de observaciones lunares y cronométricas. En Kerguelen, estación muy importante, no ha habido ménos de un ciento de culminaciones lunares que reducir, con numerosas posiciones de la Luna en azimut, etc.

Cuantas observaciones han sido publicadas hasta la fecha, ofrecen gran concordancia. Así, entre los italianos, la diferencia máxima entre tres observadores es de 6 segundos solamente. En otras estaciones han sido aún más pequeñas las diferencias. Si todas

llegan á ofrecer la misma exactitud, llegaremos á conocer la paralaje con $\frac{1}{40}$ de segundo de aproximacion.

Los expedicionarios de 1874 se propusieron tambien tomar las distancias de Vénus al limbo solar, ya usando micrómetros de hilos y doble imágen, ya con heliómetros, así como medir las distancias de las puntas de los segmentos y las de las entalladuras de Vénus cuando estuviese en parte sobre el disco. Estas observaciones seran sin duda de utilidad. Habia tambien dos importantes novedades que ensayar: una era la fotografía, y otra el espectróscopo. De los resultados de la observacion fotográfica, nada sabemos aún de positivo. Únicamente podemos decir que las pruebas se han tirado por cientos en algunas estaciones. Janssen, con su «revolver fotográfico,» ha podido tomar sucesivamente, sobre la misma placa, gran número de pruebas, y hay algunas correspondientes á la impresion de entrada con diferencia de muy pocos segundos de tiempo. A pesar de todo, no se espera mucho de este procedimiento. Es un hecho consignado por nosotros hace tiempo y comprobado últimamente por Angot, que el Sol, en fotografía, varía de diámetro con el tiempo de exposicion. De nuestros trabajos resulta que la diferencia puede llegar á un minuto de arco. Además, las imágenes obtenidas con los aparatos que amplian con el ocular, han resultado todas contrahechas, y será preciso hacer un estudio prévio para determinar las correcciones necesarias. Quizá puedan obtenerse resultados de verdadera importancia utilizando las pruebas de magnitud considerable, obtenidas directivamente con los objetivos de largo foco. La reduccion de estas observaciones será una

tarea sobrado larga; pero sea cualquiera su resultado, sabremos al ménos si la fotografia merece ser empleada en 1882.

El espectróscopo no ha sido empleado más que por los Sres. Tacchini y Abetti en Maddapoor, Bengala, donde observaban en union de otros astrónomos italianos, armados de anteojos ordinarios. El resultado más notable ha sido que la salida, porque la entrada no pudo observarse por causa de las nubes, se notó en el espectróscopo $2^m 44^s,54$ ántes que en los anteojos comunes, ó lo que es lo mismo, reduciendo el tiempo á arco, el espectróscopo disminuye el diámetro solar en $4'',83$. Este resultado concuerda con el que habíamos hallado por la observacion directa.

Los pasos de Mercurio son más frecuentes que los de Vénus, pero no es posible sacar de ellos el mismo partido; porque la paralaje influye casi lo mismo sobre el planeta que sobre el Sol, y no resulta más que una diferencia muy pequeña, afectada de los errores de observacion.

Antes de terminar este capitulo, insertaremos la lista de los valores de la paralaje solar segun las observaciones más dignas de confianza y los cálculos más esmerados.

DEL PASO DE VÉNUS EN 1769.

Valores antiguos.

Lalande.. . . .	$8'',50.$
Hell.	$8'',70.$
Hornsby.	$8'',78.$
Euler.	$8'',82.$

Pingré. 8",88.

Encke. 8",578.

Valores nuevos.

Powalky. 8",916.

Stone. 8",91.

Segun otras teorías.

Le Verrier. 8",95.

Hansen. 8",916.

DE LA OPOSICION DE LOS PLANETAS SUPERIORES.

Marte.

Winnecke. 8",95.

Stone. 8",943.

Flora.

Galle. 8",873.

La media de las determinaciones modernas es 8",922; á esta paralaje corresponde una distancia del Sol igual á 23,125 rádios terrestres, y suponiendo este rádio igual á 6.377,398 metros, la distancia sera 147.467,000 kilómetros.

Antes de las últimas investigaciones estaba aceptada la paralaje de Encke (8",578); pero Hansen y Le Verrier reconocieron que era muy pequeña, y que era preciso elevarla á 8",91; como consecuencia, la distancia al Sol disminuyó en $\frac{1}{30}$. Esta diferencia de cerca de 5 millones de kilómetros no representa, sin embargo, en paralaje más que el espesor de un cabello visto á 40 metros de distancia. La divergencia de los resultados provenia principalmente de la eleccion de las observaciones hechas por los calculadores,

y de la poca confianza que habia en las del P. Hell, de quien se sospechaba haberlas arreglado arbitrariamente. Esta sopecha fué propagada por Lalande, quien, no habiendo podido obtener del P. Hell las observaciones inmediatamente, como deseaba, formuló contra el observador esta odiosa insinuacion. Pero Delambre asegura que el retardo tuvo por causa las órdenes, recibidas por el astrónomo, del gobierno danés, que le prevenian no comunicase sus resultados por más vía que la oficial. Por lo demas, las hojas originales del registro del P. Hell, halladas por Litrow, señalan algunas correcciones insignificantes, y está probado que fueron escritas sobre el terreno. Como esta observacion, si se emplea, conduce al resultado actualmente admitido, la reputacion de su autor queda en su verdadero lugar. (1).

§ IV. CONFIRMACION DEL NUEVO VALOR DE LA PARALAJE SOLAR.

Ademas de los medios directos que hay para determinar la distancia al Sol, hay otros indirectos que pueden servir para comprobaciones.

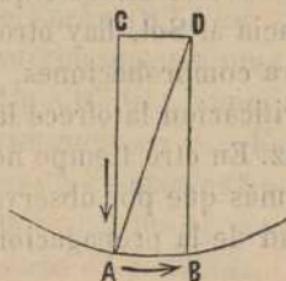
La primer verificacion la ofrece la mensura de la velocidad de la luz. En otro tiempo no era posible medir esta cantidad más que por observaciones astronómicas; la velocidad de la propagacion de la luz es ta₁

(1) Véase Delambre, *Histoire de l'Astronomie au XVIII siecle*, pág. 556.

que toda distancia terrestre queda recorrida en un tiempo inapreciable. Pero habiendo podido hallar recientemente los físicos Foucault y Fizeau, la manera de determinar esta velocidad, por medio de distancias medidas en la Tierra, se ha podido de aquí calcular la distancia del Sol. Por la observacion de los satélites de Júpiter se sabe que la luz emplea $8^m 17^s, 8 = 497^s, 8$ en venir del Sol á la Tierra, supuesto á su distancia media. La velocidad de propagacion de la luz hallada por Fizeau en 1842, fué de 315,000 kilómetros; por Leon Foucault en 1862, de 298,000 kilómetros, y por Cornu en 1875, de 300,400 kilómetros. Tomando como más exacto el resultado de Cornu, resulta para la distancia del Sol la cifra de 448 millones de kilómetros, que concuerda con el valor hallado anteriormente, y tambien una paralaje de $8'', 86$.

Otra confirmacion de estos resultados se saca del cambio aparente de lugar de las estrellas, llamado *aberracion*. Moviéndose el observador al rededor del Sol, su velocidad de traslacion AB (fig. 45) se compo-

Fig. 45.



ne con el movimiento de la luz CA, y resulta una desviacion aparente de la estrella en sentido de la dia-

gonal AD. Esta desviacion, segun las mejores observaciones, se valúa en $20''$,42. Conociendo el lado AC por los experimentos referidos ya, y el ángulo CAD, que se mide mediante la observacion astronómica, es posible conocer el arco AB, y pasar de él al rádio de la órbita de que forma parte. El valor del rádio de la órbita terrestre, hallado de esta manera, conduce á la paralaje dada anteriormente,

Lo mismo podemos decir de los valores de la paralaje deducidos del movimiento de la Luna y de las irregularidades planetarias. El cálculo de las perturbaciones, como las llaman los astrónomos, habia hecho conocer la necesidad de aproximar la Tierra al Sol, y el valor que satisfacía mejor á la teoría era, segun Hansen y Le Verrier, $8''$,94. Puede, pues, corregirse la paralaje de Encke sustituyendo la de estos dos astrónomos. Pero nunca podriamos considerar esta nueva determinacion como rigurosa y directa, porque el número de las perturbaciones y el de las incógnitas que entran en el cálculo es demasiado grande; y por adelantada que esté la mecánica celeste, no ofrecen sus teorías certeza absoluta de que la correccion de la paralaje sea el único medio de satisfacer á las observaciones. Por lo tanto, si bien estos resultados son excelentes para confirmar el nuevo valor de la paralaje, no podemos abrigar la pretension de basar sobre ellos solos la determinacion definitiva de la distancia del Sol á la Tierra.

En resúmen, podemos tener el convencimiento de que el valor de la paralaje no podrá sufrir un cambio notable, y que la discusion definitiva de las observaciones del paso de 1874 reducirá la parte dudosa á

algunas centésimas de segundo. Es lícito esperar que en el próximo paso de 1882, aprovechando la experiencia adquirida en el último, se acabe de establecer, para los astrónomos futuros, este importante elemento, con el grado de exactitud que exige la ciencia, alcanzando así nuestra generación uno de sus más bellos triunfos.

CAPÍTULO III.

El Sol centro de fuerza.—Gravitacion.

Es el Sol el foco alrededor del cual describen sus órbitas los planetas. Debe esta prerogativa á su masa, casi mil veces mayor que la de todos los astros que constituyen su séquito (1). Vamos á exponer los fenómenos planetarios íntimamente ligados á la constitucion del Sol, sin entrar en los pormenores propios de un tratado de Cosmografía ó de Astronomía. Los que deseen conocerlos pueden consultar una multitud de obras especiales, permitiéndonos indicar nuestro *Cuadro físico del sistema solar*; Roma 1859.

(1) Segun Dunkin, las masas de los planetas reunidas son iguales á 422 veces la masa de la Tierra, y la del Sol sólo iguala á 315,000 veces la de la Tierra, de donde resulta el número 746 para la relacion entre la masa del Sol y las masas reunidas de los planetas.

§ I. FORMACION DEL SISTEMA PLANETARIO.

Actualmente se hallan de acuerdo todos los hombres de ciencia en admitir que nuestro sistema solar fué producido por la condensacion de una nebulosa, que se extendia en otros tiempos más allá de los límites ocupados actualmenté por los planetas más remotos. Esta nebulosa estaba dotada en un principio de un movimiento de rotacion muy lento, que despues debió acelerarse. Segun una ley mecánica, conocida con el nombre de *ley de las áreas*, cada partícula libre debe moverse de manera que su rádio vector describa áreas iguales en tiempos iguales; de aquí se deduce que, disminuyendo el rádio constantemente por la contraccion progresiva, el arco descrito durante la unidad de tiempo ha debido crecer á fin de que el área permaneciese constantemente. De este aumento de velocidad resultó un aumento de fuerza centrifuga, y cuando ésta llegó á ser igual á la gravitacion, se formó un anillo, que quedó libre alrededor de la masa central. Los anillos formados sucesivamente, reaccionando unos sobre otros por su atraccion mútua, originaron perturbaciones, tanto más grandes cuanto mayores fueron las distancias, entre las duraciones de sus rotaciones, acabando por romperse; y obedeciendo individualmente á las leyes de la atraccion, formaron nuevas masas aisladas unas de otras, que, á su vez, se convirtieron en centros de accion semejantes al principal. Estas masas han podido tambien rodearse de anillos de segundo órden, algunos de los cuales han per-

sistido hasta nuestros días, como vemos en el sistema de Saturno; mientras otros, rompiéndose, han producido satélites.

Esta teoría, propuesta por Kant, Herschel y Laplace, ha sido estudiada en estos últimos tiempos por Hinrichs y Roche, y confirmada por los ingeniosos experimentos de Plateau. Una masa de aceite, puesta en suspensión en un líquido de igual densidad, formado de una mezcla de agua y alcohol, toma la forma esférica, bajo la influencia de la atracción molecular. Si se hace girar á esta masa alrededor de su diámetro vertical con velocidad creciente, se vé á la esfera irse aplastando; despues llega un momento en que se desprende un anillo semejante al de Saturno, y por último, creciendo más la velocidad, se rompe el anillo y se forman esferillas, que giran sobre sí mismas y alrededor de la masa principal. Roche acaba de demostrar que, á más de los anillos exteriores de Laplace, pueden formarse otros interiores, sometidos á leyes particulares. (1)

La materia que componia la nebulosa primitiva, debió estar en un estado de rarefacción muy superior al que obtenemos con nuestras mejores máquinas neumáticas: se ha condensado y contraído enormemente, dejando á distancias distintas planetas y satélites; el Sol es el residuo, todavía incandescente y gaseiforme, de esta masa primitiva. Hoy vemos en el mundo sideral vestigios de este modo de formación: en nuestro

(1) Roche ha dado á conocer otras muchas conclusiones, algunas de las cuales habian sido ya demostradas por Hinrichs.

sistema planetario, los anillos de Saturno; en la region de las estrellas, las nebulosas espirales y las anulares. Las masas que forman estas nebulosas estan aún en estado de gas, y parecen constituir mundos en vías de formacion.

Imposible es, en la actualidad, asignar las causas que han determinado la formacion de cada planeta; pero la ley que regula sus distancias parece imprimir á todo el sistema el sello de una formacion gradual, en la que cada astro ha debido desprenderse por su turno de la masa central.

Kepler fué el primero que descubrió cierta regularidad en la distribucion de los planetas; ciertamente habia una anomalia en la distancia que separa á Marte de Júpiter, y, fundándose sobre esta sola observacion, osó predecir que entre ámbos habia de descubrirse un nuevo astro, desconocido hasta entonces. Cerca de dos siglos ha sido necesario que trascurren para que el hecho haya venido á confirmar la prediccion; hoy sabemos que, en vez del planeta que Kepler anunciaba, existen por lo ménos 168. Todos ellos vienen, sin embargo, á ocupar el lugar de un solo planeta, cuya masa, segun Le Verrier, llega á lo sumo al tercio de la masa de la Tierra. Esta multitud de astros indica que, en la época de su formacion, debieron existir grandes perturbaciones en la masa solar.

Despues de Kepler, halló Titius una ley más exacta de las distancias de los planetas al Sol. Si llamamos n el número del planeta, á partir de Vénus, (1)

(1) Empezamos por Vénus, porque Mercurio no está contenido en la fórmula sino por excepcion, ha-

la ley de Titius estará contenida en la fórmula siguiente: $D=4+3 \times 2^{n-1}$. A continuacion insertamos el estado comparativo de las distancias verdaderas deducidas de la observacion, y de las distancias calculadas segun la fórmula precedente: el lector podrá apreciar la notable concordancia que existe entre las dos séries de números.

PLANETAS.	Distancias verdaderas.	Distancias aproximadas, segun la ley de Titius.
Mercurio	3,871	4
Vénus	7,233	7
Tierra	10,000	10
Marte	15,237	16
Planetas telescópicos.	22,0 - 31,6	28
Júpiter	52,028	52
Saturno	95,388	100
Urano	191,826	196
Neptuno	300,369	388

Combinando Hinrichs las leyes de Kepler con la hipótesis de la rotacion primitiva, ha probado que la fórmula de Titius es consecuencia de la condensacion progresiva de la nebulosa solar, condensacion que ha debido verificarse con regularidad y proporcionalmente al tiempo; de manera que los números que expresan las distancias de los planetas entre sí, represen-

ciendo como el segundo término. Neptuno se aparta tambien notablemente de la distancia calculada. Roche ha formulado una ley más aproximada, pero tambien más compleja.

tan de igual modo los tiempos trascurridos entre las formaciones sucesivas. Las diferencias, asaz pequeñas, que se encuentran entre los números calculados según la teoría y los hallados mediante la observación, pueden explicarse fácilmente por la resistencia del éter y por la influencia perturbadora que los planetas deben haber ejercido unos sobre otros desde el momento de su formación. La resistencia del éter debe haber sido más sensible sobre los planetas más antiguos, y por tal causa son éstos los que presentan mayores diferencias. Las distancias de los satélites, en los sistemas secundarios, están sujetas á una ley semejante; siendo también en este caso mayores las divergencias en los planetas que primero se formaron.

Llega Hinrichs á la importantísima conclusión de que la ley de la condensación progresiva se halla ligada á la tercera ley de Kepler. Esta última no es otra cosa más que una consecuencia de la gravitación universal, que actúa en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias. Este gran principio, debido al génio de Newton, es en realidad un resumen de las tres leyes de Kepler, cuyos enunciados repetimos aquí: 1.^a Las áreas descritas por los rádios vectores son proporcionales á los tiempos. 2.^a Las órbitas son elipses, y el Sol ocupa uno de los focos. 3.^a Los cuadrados de los tiempos de las revoluciones son entre sí como los cubos de los ejes mayores de las órbitas. Vemos, pues, que la ley de la formación del sistema planetario viene á ser una consecuencia de la gravitación universal. Roche acaba de confirmar los resultados de Hinrichs, ampliándolos.

Conviene examinar con algun detenimiento las circunstancias principales de esta gran evolucion. Ya hemos dicho que la formacion de los planetas telescópicos parece corresponder á un período de perturbaciones; esta hipótesis tiene, á lo que parece, una confirmacion en la existencia de un cierto número de hechos que puede explicar:

1.º Todos los planetas exteriores á esta zona tienen una densidad muy pequeña, generalmente inferior á la del agua; los otros, por el contrario, tienen un peso específico cinco veces mayor que el de este líquido.

2.º El espacio ocupado por los planetas pequeños es mayor que el que separa á la Tierra del Sol; algunos de ellos se aproximan tanto á la órbita de Marte, que no parece sino que este planeta es uno de los términos de la serie de los asteróides, y por lo tanto, la formacion de Marte debe haber sido influenciada por la gran causa de discontinuidad.

3.º Todos los planetas exteriores llevan gran acompañamiento de satélites: Júpiter cuatro, Saturno ocho, Urano cuatro, Neptuno uno, á lo ménos; los otros son muy difíciles de ver para que se pueda considerar su existencia como indudable. Entre los planetas próximos al Sol, la Tierra únicamente tiene un satélite.

4.º Las masas de los planetas exteriores son incomparablemente más considerables; la del más pequeño es superior á la de todos los planetas interiores reunidos. Esto es debido, en parte al ménos, á la inmensa extension que ocupaba primitivamente la materia de que están formados.

5.º Al estudiar al espectróscopo la luz reflejada por las atmósferas de los planetas exteriores, se ha descubierto el hecho importante de que todos tienen un gran poder de absorcion electiva. Júpiter ofrece en el rojo una banda oscura, que no se encuentra entre las rayas de nuestra atmósfera. Saturno presenta la misma banda, pero aún más pronunciada. En el espectro de Urano, hay dos rayas particulares muy fuertes en el verde y en el azul, y una bastante ancha en el amarillo. El espectro de Neptuno es aún más singular. Tiene tres bandas oscuras principales: la primera entre el amarillo y el verde, igual á la distancia que media entre las rayas *D* y *b* del Sol; la segunda coincide con la raya *b*; la tercera está en el azul. El amarillo brilla bastante, el rojo es muy débil, pero el verde abunda, lo que explica el color verde de este astro.

Todos estos planetas estan rodeados de atmósferas muy densas y de gran volúmen. La existencia de las tales atmósferas se manifiesta tambien por las bandas que los surcan en sentido del ecuador. Júpiter experimenta grandes cambios de aspecto, y ofrece fenómenos que parecen tener gran analogía con nuestras nubes y nuestros huracanes. Está, ademas, sujeto á cambios de coloracion muy considerables, que hacen pensar en fenómenos análogos á nuestras auroras polares; y, por lo ménos, parece que estos cambios no pueden realizarse más que en una masa en estado gaseoso. Hemos observado asiduamente este planeta durante veinte y cuatro años, y hemos adquirido la conviccion de que las fajas ecuatoriales sufren variaciones continuas, lo que parece probar hallarse aún la masa

entera en estado de cáos. Los planetas interiores, por el contrario, estan dotados de atmósferas pequeñas y transparentes, permitiendo esta circunstancia distinguir mejor sus superficies; las variaciones que ofrecen son, seguramente, debidas á las nubes, sin que se haya reconocido sustancia alguna distinta de las existentes en nuestro globo, á juzgar por sus poderes absorbentes. Creemos, pues, que no es excederse mucho de lo que los hechos indican suponer á los planetas exteriores en un estado muy próximo al nebuloso.

6.º Todos los planetas exteriores tienen una velocidad de rotacion que es, por término medio, dos y media veces mayor que la que poseen los planetas interiores; una diferencia tan grande, sin transicion alguna, no parece efecto del acaso. Kirkwood ha buscado una ley empírica que relacione las masas de los planetas y sus tiempos de rotacion y revolucion, llegando á obtener el resultado siguiente. Consideremos un planeta cualquiera, y supongámoslo en conjuncion con el planeta interior más próximo; determinemos la posicion del punto en que ámbos planetas ejercen igual atraccion, y llamemos r á la distancia de este punto al planeta considerado. Hagamos análogos cálculos respecto al planeta exterior, y llamemos r' al nuevo punto de igual atraccion. Si suponemos $r+r'=D$, tendremos para los distintos planetas las cantidades fijas y determinadas D, D', D'' Designemos por n el número de rotaciones siderales que el planeta considerado ejecuta al rededor de su eje, interin hace una revolucion sideral al rededor del Sol. Segun Kirkwood se tiene $n^2:n'^2::D^3:D'^3$, ó $n=n' \left(\frac{D}{D'}\right)^{3/2}$, relacion se-

mejante á la expresada en la tercera ley de Kepler, que liga las distancias á los tiempos de las revoluciones. Esta fórmula supone que existe un solo planeta entre Marte y Júpiter, y le atribuye una masa próximamente igual á la que resulta de los cálculos de Le Verrier. El astrónomo americano Sr. Ch. Walker ha hecho ver que esta relacion es una consecuencia de la hipótesis de la nebulosa. No debemos ocultar que estos resultados dependen de un gran número de elementos poco seguros, de manera que, por ahora, no podemos considerarlos como la expresion de una ley de la naturaleza; constituyen, sin embargo, un hecho notable, que indica más y más el origen comun de todas las masas existentes en el sistema solar.

Por lo demás, esta comunidad de origen está probada por gran número de hechos, de entre los cuales vamos á citar los de más bulto.

7.º A.—En todos los planetas, y en todos los satélites, el movimiento de traslacion y el de rotacion se verifica en el mismo sentido, que es el de la rotacion del Sol. Esta direccion no puede ser más que la de la nebulosa primitiva.

B.—Los planetas describen órbitas muy poco inclinadas entre sí, tanto que casi puede decirse que estan en el mismo plano. Las únicas excepciones se encuentran entre los pequeños planetas comprendidos entre Marte y Júpiter, ó sea, en el lugar preciso de la gran perturbacion.

C.—Las órbitas de los principales planetas tienen una excentricidad muy pequeña. Algunos asteróides se apartan de esta ley, pero á más de ser su masa tan pequeña que puede no tomárselos en cuenta, su mis-

ma excentricidad debe provenir de perturbaciones sufridas después de su formación.

D.—La masa central es preponderante, y excede en mucho á la de todos los satélites. Estas diferentes circunstancias no son accidentales, porque de ellas depende la estabilidad de todo el sistema.

E.—Las órbitas están muy poco inclinadas sobre el plano fundamental del sistema solar descubierto por Laplace, y que se llama *plano invariable*, porque permanece fijo, no obstante las perturbaciones que resultan de las acciones recíprocas. Este plano debe ser precisamente el de la rotación primitiva de la nebulosa.

Esta hipótesis nos explica, pues, una multitud de circunstancias íntimamente ligadas entre sí, y que no podríamos explicar de otra manera. La teoría de Newton relaciona los principales fenómenos del sistema solar, reduciéndolos al principio único de la gravitación; de igual manera, la hipótesis de la nebulosa explica la impulsión tangencial, y las circunstancias físicas de segundo orden que vemos en el conjunto del sistema. (1)

Para conocer mejor la mecánica del mundo planetario, debiéramos conocer el origen y naturaleza íntima de esa fuerza que lleva los cuerpos unos hácia otros y que llamamos *gravitación*; porque la caída de

(1) El lector que desee más pormenores, puede acudir á la Memoria de Roche. Varias de las conclusiones que sienta en ella, están limitadas por la suposición que ha de ser nula la acción de la atmósfera con respecto al núcleo principal.

los cuerpos *graves* en la superficie de la Tierra, no es más que un caso particular de su accion: pero nada podemos afirmar sobre este asunto. Los matemáticos y los astrónomos admiten esta gravitacion como un hecho fundamental, capaz de explicar los movimientos de los cuerpos celestes, y le aplican las fórmulas de la mecánica sin preocuparse de su origen. Los físicos se limitan á lo mismo, y creen que el estado de nuestros conocimientos no nos permite avanzar más por hoy.

Sin embargo, la opinion más probable, la que tiende á generalizarse cada dia más, atribuye los fenómenos de atraccion al éter, á ese flúido universal que llena el mundo entero, y concurre con la materia ponderable á la constitucion de todos los cuerpos. Pero ¿en qué consiste la accion del éter? Sobre este punto estamos aún bastante lèjos de haber llegado á un acuerdo. Lo que si podemos asegurar es que debe haber entre el Sol y los planetas un medio de comunicacion de fuerzas y de trasmision de movimientos, porque la accion de un cuerpo sobre otro á distancia es imposible. Como la existencia del medio etéreo está perfectamente demostrada por los fenómenos luminosos, no vemos la precision de imaginar otro intermediario para la trasmision de los demas movimientos.

Por otra parte, los experimentos relativos á la electricidad nos muestran que toda variacion en la densidad de este flúido hace á los cuerpos que lo contienen, capaces de producir atracciones; hay, pues, motivo para pensar si la misma gravitacion será debida á una semejante diferencia de densidad en el me-

dio etéreo que rodea al Sol, y á toda otra materia ponderable. No hacemos aquí más que consignar estas conjeturas, que en otro trabajo hemos expuesto. (1) Por lo demas, la accion de este medio pronto se nos manifestará produciendo fenómenos de distinto orden que la atraccion. Asi debemos considerarlo como uno de los agentes más importantes de la creacion.

Vamos á pasar una rápida revista á los cuerpos que constituyen el séquito del Sol.

§ II. DE LOS PLANETAS.

El volúmen relativo del Sol y los planetas está bastante bien representado en la figura 46.

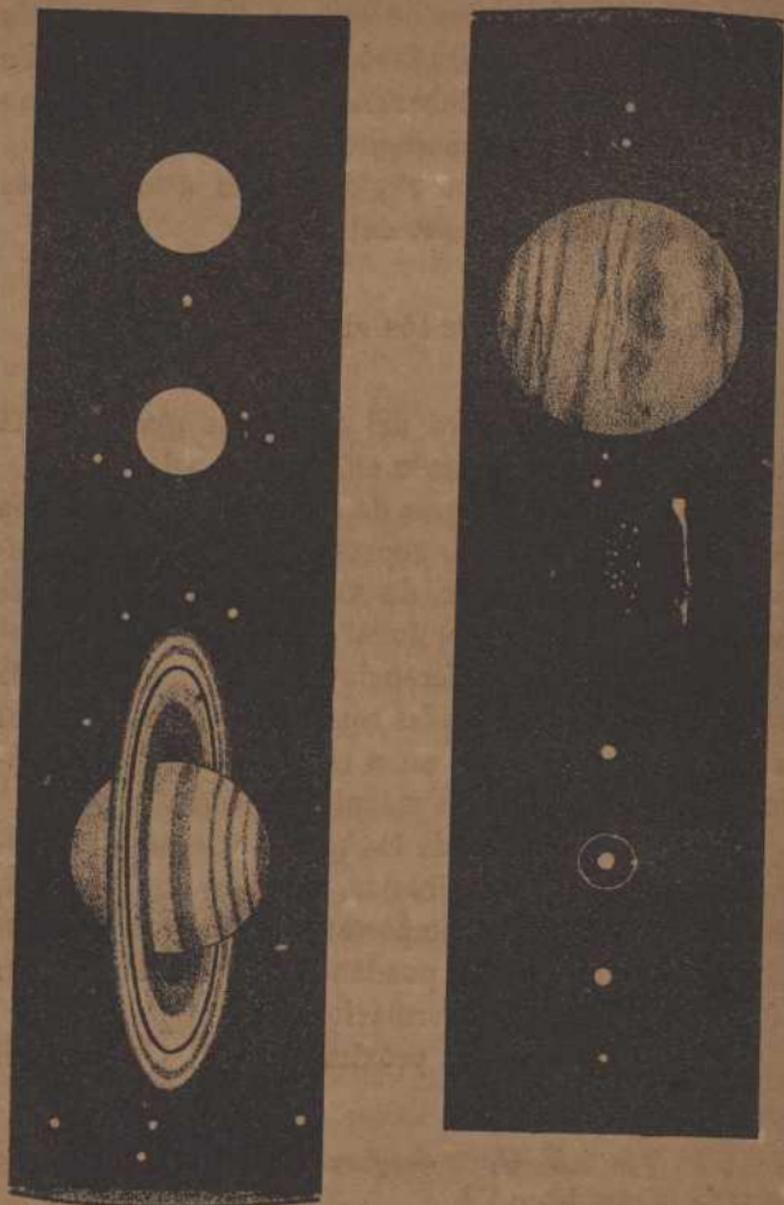
Las dos bandas negras de esta figura, puestas una á continuacion de otra, representan la longitud relativa del diámetro solar, de manera que para representar el tamaño proporcional de este astro, sería preciso trazar una circunferencia cuyo diámetro fuese la longitud de las dos bandas reunidas por sus extremos menores. Los planetas estan representados por círculos proporcionales á sus magnitudes verdaderas.

Ya hemos hablado de lo que concierne á las distancias, y aquí nos ceñiremos, en cada uno de ellos, á dar las noticias más importantes respecto á su constitucion física, y que puedan prestarnos alguna luz acerca de su modo de formacion.

Mercurio.—El más próximo al Sol, y tambien el

(1) Véase *L' Unité des forces physiques*, Paris 1869 y 1874, Savy, libro IV.

Fig. 46.



más pequeño de todos los planetas conocidos en la antigüedad. Su densidad es de 6,84, tomando la del agua como unidad; es la mayor de todo el sistema. Presenta manchas muy sensibles, sobre todo en el borde interior de la lunula, donde la luz es ménos intensa, lo que prueba que está rodeado de una atmósfera al parecer más densa que las de los planetas inmediatos. En ella se observan cambios asaz notables, debidos á las nubes sin duda. Este planeta es difícil de observar.

La rotacion de Mercurio se verifica en $24^h 5^m 28^s$. La intensidad de las radiaciones solares es 6,69 veces mayor que en la Tierra, pero la excentricidad de su órbita debe producir en su superficie grandes variaciones de temperatura. Como lo vemos siempre envuelto por los rayos del Sol, no ha sido posible examinarlo al espectróscopo más que cerca del horizonte; posición muy desventajosa, y nada se ha notado de particular en su atmósfera. Su revolucion dura casi 88 días (87,97). Su masa es 0,05, siendo 1 la de la Tierra.

Vénus.—Este planeta se encuentra en condiciones que lo asemejan más al nuestro. Su volúmen casi es igual; su masa 0,87; su densidad 5,40; la intensidad de la radiacion solar doble que en la Tierra. Pero como el eje de rotacion está inclinado, segun el P. de Vico, $53^{\circ}12'$ sobre el plano de la órbita, el arco diurno debe ser muy variable, (1) y por lo tanto, los cli-

(1) En compensacion, las estaciones son más cortas, si bien la extension de las zonas templadas es muy corta, ménos de diez y seis y medio grados cada una.

mas deben ser más extremados que entre nosotros. El año de Vénus es de 224^{días}, 7, y su día dura 24^h, 24^m, 9^s. La atmósfera de este planeta es lo bastante grande para producir un crepúsculo muy sensible; nosotros mismos hemos podido ver que la parte iluminada por este crepúsculo corresponde á un arco de 18 grados; hé aquí las circunstancias en que pudimos hacer la observacion. El planeta estaba en conjuncion inferior, y por consecuencia, la parte iluminada visible se reducía á una lunula muy delgada. No obstante la finura de los cuernos, pudimos reconocer que abarcaban más de media circunferencia, y que de una y otra parte excedían en 18 grados de la extension que hubieran abrazado sin el fenómeno del crepúsculo. En algunas ocasiones se ha creído ver iluminado el disco en toda su extension, y se han distinguido otras luces, que bien pudieran haber sido producidas por auroras polares.

El espectróscopo muestra que entre las atmósferas de Vénus y la Tierra hay analogia de composicion: en aquélla, como en ésta, hay vapor de agua que produce nubes, y, en efecto, á más de las manchas fijas, mares ó continentes, se ven otras bastante variables. Segun Nelson, (1) la atmósfera de Vénus tiene una refraccion horizontal de 54', 63; y la densidad de la misma es 1,89 veces la de la atmósfera terrestre.

La Tierra.—Digamos aquí cuatro palabras referentes á la Tierra, considerada como cuerpo celeste. Su densidad es igual á 5,5, siendo 1 la del agua.

(2) Monthly Notices R. Ast. Soc. t. XXXVI, p. 348.

Su rádio ecuatorial es de 6,377 km. 398. Vista desde el Sol, subtiende un ángulo de $17''$,8; su diámetro aparente es, pues, á esta distancia, igual al que nos presenta Vénus á su distancia media. Un observador situado fuera de la Tierra, veria en este astro manchas constantes y zonas variables: las primeras, debidas á los mares y continentes, y las segundas á las nubes. Debe presentar dos zonas oscuras situadas á uno y otro lado del Ecuador, formadas por las regiones serenas y transparentes de los vientos alicios; entre ámbas, y á sus costados, deben verse otras brillantes, correspondientes á las regiones de las nubes y de las lluvias tropicales. En las inmediaciones de los polos, el aspecto debe ser muy distinto segun las estaciones.

Los fenómenos geológicos y volcánicos prueban que en el interior de la Tierra hay una muy alta temperatura, resto del calor primitivo. Esta temperatura es tal que, segun las valuaciones más bajas, á una profundidad de algunos cientos de kilómetros, todas las sustancias deben estar fundidas. La superficie está compuesta de materias sólidas, cuyo peso específico es menor que la densidad media del astro; los materiales más pesados se hallan á mayor profundidad, y con frecuencia se encuentran en las minas, en estado que prueba han sido producidos por sublimacion. Bajo este punto de vista, vemos aquí cierta analogia con la disposicion de las sustancias que forman el Sol. Por lo demas, la densidad media del astro es muy superior á la media de los materiales que constituyen su corteza, y es, por lo tanto, necesario que en su interior haya sustancias de mucha mayor densidad. Cree Roche que en las capas próximas al centro la

densidad debe ser once ó doce veces mayor que la del agua. Segun él, el núcleo central no estaria dotado de una fluidez absoluta; solo existiria una capa líquida, situada á una profundidad poco considerable, cuya presencia explicaria los fenómenos volcánicos. La temperatura elevada de las capas interiores reconoce por causa, segun Mallet, la contraccion producida por el enfriamiento: disminuyendo de volúmen la capa superficial, comprime fuertemente las situadas más cerca del centro, y desarrolla en ellas de este modo una gran cantidad de calor. Bajo la influencia combinada del calor, de la presion y de las acciones moleculares, debe estar la materia que constituye el núcleo central, en un estado bien distinto del sólido y del líquido, tal como los estudiamos en circunstancias ordinarias.

Marte.—Este planeta tiene tambien atmósfera, pero tan delgada que permite ver los continentes mucho mejor que la de Vénus. Cerca de los polos presenta unas manchas blancas que crecen y menguan segun las estaciones del mismo Marte, lo que prueba que son nieves ó nubes. En el invierno de cada hemisferio, toman estas manchas una gran extension; pero en verano se reducen á un casquete poco extenso, rodeado de manchas más oscuras. Las manchas más distantes de los polos presentan los colores azul ó rojo, salpicados algunas veces de amarillo. Las manchas azules, de tintas más sombrías, corresponden á los mares; las rojas, á los continentes, y las amarillas á las nubes; no siendo este último color más que el efecto de la yuxtaposicion del blanco sobre los otros colores. Tambien es debido á efecto de contraste una

parte del rojo que se observa; pero, en general, depende de las materias que componen la superficie del planeta. En estas vastas extensiones se ven aparecer algunas veces manchas blancas; deben ser nubes. En ciertos casos se observan torbellinos en espiral; borrascas sin duda. La revolucion dura 4^a , 321^d , 7^h ; la rotacion se verifica en 24^h , 38^m , 23^s . Siendo el año más largo que el de la Tierra, estando más inclinado el eje sobre el plano de la órbita ($30^\circ 48'$), siendo la excentricidad mayor, las estaciones deben ofrecer contrastes mucho mayores que en la Tierra. La radiacion solar es 0,43 de la que nosotros recibimos, y la masa total 0,13, siendo 1 la terrestre.

Planetas telescópicos.—Hasta hoy día sabemos bastante poco de la constitucion fisica de estos asteroides. Sus volúmenes son muy pequeños; no hay uno que sea tan grueso como la Luna. A juzgar por el brillo, los mayores de todos deben tener unas dimensiones que permitan compararlos á un cuerpo irregular cuya superficie fuese igual á la de la isla de Sicilia; pero los más pequeños, descubiertos últimamente, son de tan poco volúmen que parecen servir de transicion entre los planetas y los aerolitos. Sus masas son tambien muy pequeñas. Hay tantos (169), se cruzan sus órbitas de tal modo y en tantos puntos, que no seria imposible un choque, como ha hecho ver Littrow, de Viena. Los astros que chocasen se romperian infaliblemente, y podrian dar origen á aerolitos. Respecto á las masas, ya hemos dicho anteriormente que, todas reunidas, no forman el tercio de la masa terrestre.

Júpiter.—El mayor de todos los planetas. Su

masa es el triplo de las de todos los demas planetas juntos; $\frac{1}{1047}$ de la del Sol, y 301 veces mayor que la de la Tierra; ha debido, por lo tanto, ejercer gran influencia en la formacion de los planetas próximos, especialmente en la de los pequeños. Está rodeado de un magnífico séquito, formado por cuatro satélites, de los cuales el más pequeño es bastante mayor que la Luna, y el mayor presenta unas dimensiones que permiten compararlo al planeta Marte.

El volúmen de Júpiter es 1233 veces mayor que el de la Tierra, pero su densidad es mucho menor; sólo llega á 4,36, menor que la del Sol, y próximamente un tercio superior á la del agua. La gravedad en su superficie es dos y media veces mayor que en la superficie de la Tierra; debe, pues, existir allí una gran presion, circunstancia que, unida á la pequeña densidad que acabamos de marcar, no permite creer que este planeta esté en estado sólido. Su aspecto anuncia desde luego grandes agitaciones, y las zonas que en él se observan estan léjos de indicar un sistema sencillo y permanente. Ya hemos hablado anteriormente de sus variaciones, y una série de vistas, tomadas con intervalos de pocos dias, basta para mostrar las profundas modificaciones que sufre su aspecto. Teniendo el eje muy poco inclinado sobre el plano de su órbita, no es posible atribuir tales modificaciones á la accion del Sol, porque las estaciones deben variar poco y con gran lentitud. Su atmósfera es muy densa, y en ella deben verificarse, hoy dia, revoluciones análogas á las acaecidas en la nuestra durante las épocas geológicas; ya hemos hecho notar que su com-

posicion difiere de la que ofrece la atmósfera terrestre. En 1872, presentó Júpiter, en las regiones ecuatoriales, un color rojo muy pronunciado. Nunca habíamos visto nada semejante en este astro, si se exceptúa el año de 1861 en que percibimos algunos trazos del mismo color, pero mucho ménos vivos. La absorcion atmosférica es tan grande en los bordes del planeta que, cuando entra un satélite en el disco, parece una mancha brillante; despues, á medida que avanza, vá desapareciendo progresivamente y acaba por parecer una mancha sombría, aunque sin parecer nunca completamente oscuro.

El año de Júpiter dura 41^a , 314^d , 834^h ; la rotacion se verifica en 8^h , 55^m , $36^s,5$. Tan rápida rotacion en cuerpos tan voluminosos, desarrolla un fuerza centrifuga muy considerable, de lo que resulta un gran aplanamiento facilísimo de comprobar.

Saturno.—El mayor de los planetas despues de Júpiter. Tiene de masa $\frac{1}{3310}$ de la solar, 90 veces más que la Tierra. Su volúmen es muy grande proporcionalmente, porque su densidad es sólo 0,73, de manera que le es aplicable, y con mayor razon, todo cuanto hemos dicho del estado nebuloso de Júpiter. Corroboran esta opinion las fajas que se notan en su superficie, y las zonas de absorcion que ofrece su espectro, más fuertes aún que las de Júpiter. El color de sus polos tira al azul, mientras que en el ecuador es blanco brillante. Su diámetro medio es de $8''$,095.

Tiene Saturno el más bello séquito que existe en nuestro sistema solar: ademas de los ocho satélites, el más grueso de los cuales es comparable á Marte,

está rodeado del maravilloso anillo que subsiste como para dar testimonio del origen de todo el sistema solar, y confirmar la exactitud de la hipótesis que hemos expuesto anteriormente. Este anillo es muy delgado, proporcionalmente á su anchura, y está compuesto, en realidad, de tres anillos distintos y separados. El más inferior, figura 46, es un poco oscuro; el segundo más brillante, y el tercero completamente nebuloso y trasparente. Los contornos de la sombra del planeta sobre los anillos nos muestran que las superficies de estos son curvas, y que las generatrices de las mismas son óvalos. Tambien en ellos se notan grandes diferencias de intensidad luminosa, que acusan irregularidades muy notables en la densidad y en la composicion de las diferentes zonas. No es fácil darse cuenta de la estructura de este anillo. Segun la opinion más aceptable, debe estar compuesto de particulas independientes las unas de las otras, como una niebla ó una nube de polvo; porque un cuerpo sólido no podria resistir las tensiones que deben producirse por la accion combinada del planeta y los satélites; tampoco se concibe mejor que una masa líquida, en tales condiciones, pudiera conservar indefinidamente la forma anular. Segun Roche y Simon, la menor distancia á que puede existir un satélite, es igual á dos y media veces el radio del planeta; la distancia que separa á Saturno de su anillo es menor que este limite. Parece, pues, probable que, habiendo llegado la nebulosa secundaria que produjo el astro á un estado de condensacion incompatible con la produccion de satélites propiamente tales, dió origen á una multitud de corpúsculos sólidos, á una especie de polvo,

que tomó la forma anular. Estos anillos estan surcados de fajas, bien distintas, que cambian con el tiempo; lo que prueba que las diferentes zonas sufren perturbaciones considerables é independientes las unas de las otras. Su diámetro exterior es de 20,"03.

El año de Saturno dura $29^a, 466^{ds}, 87$, y como el anillo está inclinado sobre nuestra eclíptica $28^{\circ} 40' 44''$, cada quince años se halla la Tierra en su plano, en el momento en que pasa por sus nodos, situados á $66^{\circ} 53'$ y $346^{\circ} 53'$ de longitud. Entónces no es visible más que por su borde, y se distingue como un filete muy delgado que sobresale por ámbos lados del planeta. La fig. 46 lo representa por el contrario en la posición más favorable, y más apartado de la que acabamos de describir.

El plano del anillo coincide con el del ecuador del planeta, inclinado $26^{\circ} 48' 40''$ sobre el de la órbita del mismo. El calor que recibe es sólo 0,014 del que nosotros recibimos. Visto el anillo desde el planeta, presenta fenómenos singulares: produce ocultaciones diurnas del Sol, muy variables con la latitud; pero, aparte de algunas zonas muy poco extensas, no produce eclipse permanente. Quizá no sea completamente opaco; el anillo interior, por lo ménos, es trasparente y comparable, bajo este punto de vista, á las colas de los cometas. Las líneas oscuras que separan los tres anillos estan completamente vacías, constituyendo verdaderas separaciones, porque, en la época en que el anillo vuelve su parte oscura hácia la Tierra, vemos, á través de cada una de estas separaciones, la luz reflejada por los contornos de los diferentes anillos. Hemos tenido ocasion de comprobar que es ligera-

mente elíptico y excéntrico, y que hace su revolución en $14^h 42^m$ sobre poco más ó ménos; precisamente el tiempo necesario, según la teoría, para la revolución de un satélite colocado á una distancia del planeta igual á la distancia media del anillo. En cuanto al astro principal, verifica su revolución en $10^h 20^m 19^s$.

Los satélites, en número de ocho, son todos exteriores al anillo. Los más próximos son los más pequeños, y los mayores los más distantes. Para más pormenores remitimos al lector á nuestra obra: *Cuadro físico del sistema solar*.

Urano.—Poco sabemos de este planeta. Como todos los exteriores á los asteróides, tiene muy poca densidad (0,82), y su atmósfera goza de un poder absorbente muy considerable. Hemos estudiado su aspecto, y lo hemos encontrado muy distinto del solar y muy semejante al de los cometas. El amarillo y el rojo son muy débiles. En el verde y en el azul hay dos rayas muy anchas y muy oscuras, que no existen en el espectro del Sol; así se podrá sentir cierta tendencia á creerlo un poco luminoso por sí mismo. Huggins ha estudiado este espectro con un instrumento más poderoso que el usado por nosotros, encontrando algunas cosas dignas de mención. Vogel ha hallado en el espectro de este astro ocho rayas oscuras, de las cuales, una situada en el verde azulado, coincide con la $H\beta$ del hidrógeno. Vemos, pues, cuán interesantes son estas observaciones, pero todavía está por decir la última palabra sobre este curioso espectro.

La masa de Urano solo es 22 veces la de la Tierra. Posee este planeta cuatro satélites, cuya existencia

está fuera de duda; el plano de sus órbitas está muy inclinado sobre el plano de la órbita del planeta. Ignoramos la duracion de su rotacion, y no conocemos tampoco la direccion de su eje; recorre su órbita en $84^{\text{a}} 5^{\text{d}}, 83$.

Neptuno.—Planeta célebre por haber sido su descubrimiento un verdadero triunfo para la teoría de la gravitacion. Su diámetro es seis veces el terrestre. Su densidad 0,91, muy pequeña, y su volúmen 105 veces el de la Tierra, mayor que el de Urano. Su color verde, análogo al del agua de mar, indica que su atmósfera absorbe enérgicamente los rayos solares; este hecho está confirmado por la observacion espectral.

La primera y más débil de las rayas de su espectro se encuentra entre el verde y el amarillo, casi á la misma distancia de D que la raya B; es ancha, pero confusa. En el verde hay otra raya, bastante clara, pero de contornos indecisos. En el azul hay otra. En el verde se ven centellear várias líneas brillantes. Las bandas oscuras coinciden con las correspondientes á las estrellas del cuarto tipo. Sería conveniente someter este espectro á un nuevo exámen, empleando instrumentos más poderosos, y fijar con exactitud la posicion de las bandas; viendo, al propio tiempo, qué relacion guardan, ya con la luz de la corona solar, ya con la de la aurora polar, ó ya con el espectro del carbono.

La fuerza con que brilla este planeta, no obstante su enorme distancia al Sol, induce á pensar si será un poco luminoso. Nunca hemos visto su contorno bien terminado, hecho que concuerda con la

hipótesis de un estado nebuloso (1). Su masa es $\frac{1}{45000}$ de la del Sol, 17 veces la terrestre. Posee un satélite que recorre su órbita en $5^d,877$, y cuyo movimiento es directo. No conocemos la duración de su rotación; su revolución se verifica en $164^a 224^d,7$.

Tales son los principales cuerpos celestes que forman parte del sistema solar; son los únicos que conocemos, pero no podemos afirmar que no existan otros. Se ha sospechado la existencia de un planeta cuya órbita, caso de existir, sería interior á Mercurio; porque en varias ocasiones se han visto pasar sobre el Sol puntos negros, animados de un movimiento bastante rápido. Le Verrier, que se había visto ya conducido por la teoría de Mercurio á suponer la existencia de uno ó varios planetas intramercuriales, ha discutido recientemente todas estas observaciones (2), y ha hecho ver que seis de estos supuestos pasos (entre los cuales está comprendido el visto por Lescarbault en 1839) podrían atribuirse á un planeta que hiciese su revolución en treinta y tres días y que pasase por sus nodos en Marzo y Octubre. Se le ha llamado Vulcano; y quizá no sea el único. Se ha procurado con empeño verlo durante el eclipse de 1869, pero sin resultado. Si existe algún otro planeta más allá de

(1) Se ha contradicho esta asercion; nosotros, sin embargo, la hemos comprobado en ciertas noches en que los satélites de Júpiter estaban muy claros.

(2) Véanse *Comptes rendus*, Setiembre y Octubre, 1876.

Neptuno, podran denunciar su existencia las perturbaciones que produzca: podria tambien descubrirselo mediante la atenta observacion de las estrellas pequeñas, pero este descubrimiento exigiria mucho tiempo, porque su movimiento deberia ser muy lento y se le confundiria durante largo tiempo con las estrellas fijas, como ocurrió con Neptuno, que aparece registrado como tal estrella en el *British Association Catalogue*.

Satélites.—De entre estos cuerpos, de tercer órden en nuestro sistema, no conocemos bien más que el compañero de la Tierra, ó sea la Luna. Nuestro satélite tiene una masa considerable, y se halla á una distancia relativamente grande: estas dos circunstancias presentan una dificultad verdaderamente grave cuando se trata de explicar la formacion de la Luna por la teoría de las nebulosas. Segun Roche, debe haberse formado en el interior de la atmósfera terrestre, cuando ésta se extendia á más de 60 rádios; despues, contrayéndose la atmósfera progresivamente, ha debido abandonar á la Luna, dejándole, como marca de su origen, dos caractéres importantes. Uno, la forma esferóidea, con el eje mayor dirigido hácia la Tierra; otro, la duracion de su rotacion igual á la de su revolucion, de lo que resulta que siempre presenta la misma faz hácia la Tierra.

Los accidentes de su superficie son bien conocidos para que nos detengamos aquí á hacer su descripcion. La forma de los cráteres, esparcidos por su superficie, prueba de un modo evidente que en tiempos pasados la fuerza expansiva de las masas incandescentes que contuvo en su seno, produjo grandes convulsiones. Ig-

noramos si esta actividad subsiste aún, porque no tenemos pruebas ciertas de cambios en la forma de los cráteres, ni ningun otro signo de explosion ó erupcion. En la actualidad, nuestro satélite está privado de toda atmósfera sensible, y tampoco existe agua líquida en su superficie; pero no podemos asegurar que siempre haya ocurrido lo mismo. En ciertos cráteres inmediatos á las llanuras que llamamos *mares*, se ven signos de corrosiones manifiestas. Estos mares no estan llenos de agua líquida; pero tanto por ser bastante oscuros como por lo que polarizan la luz, podria ser que estuviesen ocupados por hielos.

Es, pues, evidente que la Luna ha pasado en otro tiempo por los periodos geológicos que la Tierra atraviesa hoy dia; pero en razon á la pequeñez de su masa ha debido enfriarse más rápidamente. Á juzgar por las apariencias crateriformes que ofrece su superficie, en la época de sus últimas revoluciones debia estar cubierta de una corteza sólida de muy poco espesor, que cedia fácilmente á todas las expansiones locales que procedian del interior, sin sufrir vastas deformaciones como las que han hecho nacer en la Tierra las cadenas de montañas. Además, las montañas terrestres producidas por levantamientos, han sufrido despues la accion erosiva de los agentes atmosféricos, y no existiendo esta causa en la Luna, ó siendo muy débil su accion, el aspecto debe ser muy diferente. La poca resistencia de la corteza lunar es debida en parte á ser la gravedad muy pequeña, 0,16 de la terrestre, y en parte á la poca densidad (3,40) de los materiales que la componen.

Tiene siempre la Luna vuelto el mismo hemisferio hácia la Tierra, de manera que su rotacion y su revolucion se verifican en el mismo tiempo. Esta particularidad indica que, ó bien el centro de gravedad de nuestro satélite no coincide con el centro de figura, ó bien ésta es un elipsóide de tres ejes desiguales. La observacion ha confirmado esta última hipótesis, y ha mostrado que el mayor de los tres ejes está dirigido hácia la Tierra.

El diámetro de la Luna es relativamente muy considerable, porque iguala á los 0,27 del terrestre; su masa es $\frac{1}{77}$: en los demas satélites son estas relaciones mucho menores. En compensacion, su distancia á la Tierra es bastante grande, casi 60 rádios terrestres, y, á excepcion del último satélite de Saturno, no hay ejemplo de una distancia relativa tan grande entre un planeta y su satélite.

Se habia creido que todos los satélites, como la Luna hace, presentaban siempre la misma faz hácia el planeta; pero hasta hoy dia no hay nada que autorice á creer sea esto una ley general. Nosotros hemos podido examinar la rotacion de los satélites de Júpiter, gracias á las manchas que presentan en sus superficies, y, aunque no hayamos podido fijar exactamente la duracion de sus rotaciones, podemos afirmar que no es igual á la de sus revoluciones. Dawes ha confirmado el resultado de nuestras observaciones. Vemos, pues, que la ley no se dá en los satélites de Júpiter; probablemente se verificará en alguno de los de Saturno; pero es difícil afirmar algo acerca de la constitucion fisica de estos cuerpos de tercer orden, exceptuando la Luna. Se ha observado, sin embargo,

la notable particularidad de que las duraciones de sus movimientos son comensurables, especialmente en el sistema de Júpiter, y que parece haber una relacion bastante sensible entre los números que miden las revoluciones y las supuestas rotaciones: relacion que en el caso de la Luna es lo más simple posible, puesto que es de identidad. Algunos satélites tienen velocidades enormes. El primero de Saturno, por ejemplo, recorre en veinte y dos horas una órbita casi igual á la que la Luna describe en un mes.

CAPÍTULO IV.

Cometas y estrellas fugaces.

§ I. DE LOS COMETAS.

Forman los cometas una parte importante del Sol, ¿pero provienen de la misma nebulosa, ó tienen distinto origen? Este problema, planteado hace largo tiempo, parece estar ya bastante cerca de su resolucion. Sus extrañas formas, su marcha, que se verifica en todas direcciones, y con frecuencia en sentido contrario á la de los planetas, la inclinacion de sus órbitas sobre la ecliptica, grande generalmente y á veces perpendicular á este plano fundamental, son otros tantos indicios que revelan un origen diferente. Si los estudiamos, pues, es porque presentan particularida-

des instructivas, y porque pueden darnos la explicacion de fenómenos importantes, y aún facilitarnos la resoluci3n de problemas relativos á la naturaleza del Sol.

Dividense de ordinario los cometas en dos categorías, con respecto á la extension de sus 3rbitas. La primera, la de los cometas peri3dicos, consta de seis 3 siete; todos ellos verifican su revolucion dentro de los limites del sistema solar, y sus 3rbitas son elipses muy alargadas. El m3s c3ebre de todos es el de Halley, que hace su revolucion en 75 a3os; los otros tienen periodos de 5 á 6 a3os; el de Encke, que es el de m3s corto periodo, describe su 3rbita en 3^a,30 pr3ximamente.

La segunda categoría, muchisimo m3s numerosa, contiene los cometas de 3rbita parab3lica. Á decir verdad, no es probable que estos astros describan realmente parab3las; trazaran sin duda elipses tan alargadas, 3 hip3rboles de tal modo determinadas, que en la pequena parte visible para nosotros las confundimos con las parab3las. Si al entrar en la esfera de atracci3n del Sol poseen gran velocidad, deben describir hip3rboles; si, por el contrario, la velocidad es pequena en tal momento, describiran parab3las 3 elipses de gran excentricidad. Debemos hacer notar que si la 3rbita de un cometa llegase hasta las regiones del espacio en que la atracci3n del Sol es igual á la de otra estrella, por m3s cercana que se la suponga, durarí3 la revolucion un mill3n de a3os por lo m3nos! Por consiguiente, es de todo punto imposible averiguar si la 3rbita serí3 parab3lica 3 elíptica. Sin embargo, una vez dentro de los dominios del Sol, po-

dria ser retenido por la acción perturbatriz de los grandes planetas, cuya atracción podría modificar completamente la forma y la naturaleza de su órbita, y aún abreviar el tiempo de su revolución, haciéndole describir una elipse corta. Esto es precisamente lo que ha demostrado Le Verrier respecto al cometa llamado de Lexell, al de De Vico y á algunos otros.

La forma de los cometas especialmente, excita la admiración del vulgo y atrae la atención de la gente docta. Sus repentinas apariciones son efecto de la posición de sus órbitas con relación al horizonte; y á causa de su gran velocidad, pueden pasar súbitamente de un hemisferio al otro. Así, el cometa de Junio de 1861 apareció en Europa de repente; pero ya hacia algunas semanas que era visible en el otro hemisferio. El de 1843 salió de improviso de los rayos solares; pero pocos días antes se le había visto muy cerca de este astro en forma de llama brillante.

En general, cuando aparece un cometa en el fondo del espacio, dirigiéndose hácia el Sol, parece una débil nebulosa redonda ú oval. Al aproximarse al Sol, parece ir creciendo y desarrollando una parte interior más brillante que llamamos *núcleo*. Este núcleo está rodeado de una atmósfera vaporosa, ordinariamente alargada y decimétrica, cuya parte más estrecha se dirige hácia el Sol. Tal es la forma definitiva de los cometas pequeños; pero los grandes, al aproximarse al perihelio, dan origen á penachos luminosos, que parecen brotar del núcleo en dirección al Sol, para encorvarse despues y formar, próximamente hácia la parte opuesta, un rastro luminoso, que es lo que se llama *cola* del cometa. El mayor brillo se observa po-

cos días después del perihelio; á partir de este momento vá siendo el astro cada vez ménos luminoso, los penachos desaparecen, la cola se disipa, y el cometa toma nuevamente el aspecto de simple nebulosidad, tal como se presentó al principio de su aparición. Esta es la historia de todos los grandes cometas.

Vamos á ocuparnos de una particularidad de la mayor importancia. Tienen los cometas muy poca densidad; aun á través de las partes más brillantes, pueden distinguirse las estrellas de 9.^a y 10.^a magnitud. El núcleo mismo está, en general, formado de una masa de vapores. En 1856 vimos una estrella de 8.^a magnitud, á través del núcleo del cometa de Biela. En el de 1861 hemos visto aumentar y disminuir el núcleo con tan pasmosa rapidez, que no era posible en modo alguno explicar estas modificaciones por la variación de la distancia. Su figura, constantemente redonda, probaba que era traslúcido, porque, en las posiciones que ocupaba, debía haber presentado fases, y jamás se ha observado semejante cosa; las fases de que hablan algunos observadores antiguos, no son más que los penachos luminosos de que ántes hemos hablado, que pueden constituir un abanico, ó afectar la forma de media luna.

Los penachos luminosos son más ó ménos irregulares; algunas veces reaparecen periódicamente, como se notó en 1862, (fig. 47). En este cometa se formaba un surtidor luminoso en el momento en que acababa de desaparecer el anterior, y cuando el nuevo parecía agotado reapareció el primero á su vez. Estos surtidores, cuando alcanzaban una cierta elevación, se do-

blaban hácia atrás é iban á formar la cola. (1) La alternativa de estos surtidores nos confundió en los primeros días, hásta que llegamos á comprender su manera de ser. En 1858 y en 1861 habia gran número de surtidores que, al llegar á cierta altura, formaban un halo ó arco, y despues se dirigian hácia atras formando la cola. La luz de estos astros, siempre pálida y descolorida, prueba que no son lo bastante densos para reflejar la luz como los planetas.

Los últimos cometas han sido examinados al espectróscopo, y han dado un espectro discontinuo; su luz se reduce en general á tres bandas, azul, verde y amarillo rojizo, separadas por intérvalos, ó proyectadas sobre un espectro continuo poco visible. En el del cometa Winnecke, Junio de 1868, estaba el máximo de luz en tres regiones que, segun nuestras observaciones y las de Huggins, hechas al mismo tiempo, coincidian con las rayas del carbono. Nuestra afirmacion se basa en simples medidas microméticas; Huggins llegó á los mismos resultados por la superposicion de los espectros representados en la figura 48: todos los cometas que se han presentado despues han dado un espectro semejante. Las muchas diferencias han consistido en tener el mayor brillo, ya en el verde, ya en el azul, cosa dependiente de la naturaleza del gas combinado con el carbono, que unas veces era el oxígeno, y otras el hidrógeno.

El cometa de Coggia, en 1874, daba un espectro

(1) Véanse Memorias del Observatorio del Colegio Romano, 1863.

de bandas en la parte nebulosa, mientras que el núcleo, más denso, reflejando la luz solar, ofrecia un espectro sensiblemente continuo. ¿Como pueden encontrarse estas combinaciones del carbono en los cometas en estado de vapor? Lo ignoramos completamente; pero esto no es motivo bastante para negar el hecho; y lo que es aún más notable, el espectro de los cometas es completamente igual al espectro de los gases desarrollados por el calor en los aerólitos (1). Ya volveremos sobre este importante punto. Se ha pensado que la discontinuidad del espectro de los cometas pudiera ser un simple fenómeno de absorcion, pero esta idea no podemos admitirla sin pruebas directas, y carecemos de ellas.

Emiten los cometas, á más de su luz propia, otra polarizada, especialmente en la cabellera, cuyo plano de polarizacion pasa por el Sol. Es comparable esta polarizacion al fenómeno que ocurre cuando un haz de rayos solares penetra en una cámara oscura; entónces se polarizan los rayos, reflejándose sobre las innumerables facetas que ofrecen los granos de polvo en suspension en el aire; por esto se han comparado los cometas á nubes de materia ponderable muy dividida. El Dr. Tyndall ha hallado gases que, llevados á una rarefaccion extrema, reflejan la luz por una especie de fosforescencia especial que, haciéndolos luminosos, los hace emitir luz polarizada; pero esto no es una simple reflexion; ¿no será quizá un fenómeno de fluorescencia?

(1) Wright, *American Journal of Science*, Setiembre, 1876.

La opinion que creemos más aceptable respecto á los cometas es, que estan compuestos de una multitud de partículas sólidas flotantes en una atmósfera gaseosa; de ser así, debieran resultar dos espectros: uno formado de bandas, debido al gas desarrollado por el calor solar; otro continuo, producido por la reflexion en las partículas sólidas. Pronto hallaremos una confirmacion de esta hipótesis, cuando expongamos los importantes descubrimientos hechos sobre las estrellas fugaces.

Estando compuestos los cometas de materias muy rarificadas, gases ó polvo cósmico, no es maravilla que, al acercarse al Sol y sufrir la acción directa de sus rayos, que los penetran y caldean, se dilaten, tanto más fácilmente cuanto que la gravedad no puede oponer más que una muy débil resistencia á esta diffusion. En efecto, se ha calculado que, á muy pequeña distancia de la superficie cometaria, ejerce el núcleo sobre las moléculas de su atmósfera ménos atraccion que el Sol, de suerte que, en el interior de la misma cabellera, es despreciable la primera fuerza con respecto á la segunda. Una vez producida la expansion por el calor, debe dispersarse la masa en el espacio, sin que la atraccion del núcleo sea bastante á reunir la nuevamente. Esto era precisamente lo que se veia en el cometa de 1858, cuya cola dejaba escapar bandas luminosas que se agregaban á la cola paralelamente unas á otras. Las partículas así separadas continúan su marcha como cuerpos independientes, y su conjunto presenta la forma que revisten las colas y los penachos.

En efecto, no solamente la teoría prueba que

así debe suceder, sino también la observacion lo confirma; porque se han visto cometas dividirse en dos, y cada porcion seguir su camino independiente-mente. Así ocurrió con el de Biela, que en 1846 presentó este fenómeno, visto ya en tiempo de Kepler. Se habia creído fuese alguna ilusion la observacion antigua, pero respectó á la de 1846 la duda era imposible, porque los astrónomos pudieron seguir las fases. Apareció desde un principio con dos núcleos, unidos por un trazo débilmente luminoso; despues se hicieron completamente independientes. En la siguiente aparicion, en 1852, los dos cuerpos estaban separados y muy distantes el uno del otro. En 1872 no reapareció el cometa, pero al atravesar la Tierra su órbita el 27 de Noviembre, ha recibido la espléndida lluvia de estrellas fugaces de que despues nos ocuparemos.

Estos astros errantes no tienen lizeza alguna en sus formas. En cuanto á la masa, no debemos creerla completamente nula. El cometa de 1861 tenía una masa cuando ménos igual á la de 58 metros cúbicos de agua, y cuando más igual á la de nuestra atmósfera. Si una masa semejante viniera á caer toda entera sobre un planeta, no dejaria de tener alguna mala influencia; pero visto el volúmen considerable del cometa, el planeta lo atravesaria fácilmente, y su influencia nunca podría ser muy grande. Todo lo más sería una lluvia de polvo ó de estrellas fugaces en la atmósfera. (1)

(1) Escribíamos estas palabras en 1861, bien léjós de creer que habrian de verse justificadas tan pronto como lo fueron, en 1872.

Los astrónomos se han tomado no poco trabajo buscando la explicacion de la forma de los cometas, y es lo cierto que tan extrañas formas son debidas en parte al efecto de la atraccion combinado con el del calor. El aspecto de algunos cometas, quizá de todos en su periodo de mayor intensidad luminosa, acusa el estado de un cuerpo bajo la accion de un calor intensísimo, con frecuencia en estado de explosion. Siendo muy pequeña la masa del cometa, como ocurre siempre, necesariamente la atraccion del Sol predomina á muy corta distancia del núcleo. La radiacion solar, caldeando la masa, la dilata y lanza las moléculas fuera de la pequeña esfera en que es predominante la atraccion del núcleo, y entónces quedan libres y se conducen como masas independientes, sin relaciones con el astro de donde proceden, debiendo por lo tanto seguir una trayectoria propia. Ahora bien, el cálculo muestra que las particulas, lanzadas por la dilatacion hácia la parte exterior, trasforman su órbita parabólica en otras hiperbólicas, poco distintas de la precedente; y que las dirigidas hácia el Sol, la cambian en elíptica: de esta manera la parte dirigida hácia el interior se dispersa mucho más que la dirigida al exterior, y por consecuencia, una de las dos ramas podrá seguir siendo visible, mientras la otra desaparece por efecto de su misma difusion. Esta idea de la dispersion de la materia, consecuencia de la bella teoría de Schiaparelli sobre las estrellas fugaces, la hemos indicado en 1867 (1), y la consideramos como

(1) Véase, *Bullettino meteor. del Osserv. del Collegio Romano*. pág. 10.

la más natural y la más sencilla de todas las explicaciones propuestas. Para comprender como se forman las colas múltiples, basta calcular las diferentes velocidades que el calor puede imprimir á sustancias de naturaleza distinta. El cometa II de 1862, que emitió vários penachos distintos, tenia tambien dos colas, producidas por estos mismos penachos. Esta teoria puede dar cuenta asimismo de los cambios de direccion, de los encorvamientos que presentan los penachos; basta para esto admitir que las partes curvas no son caidas de surtidores, sino resultado del conjunto de materia brillante abandonada y dejada fuera de la esfera de actividad del núcleo.

No intentamos, sin embargo, explicar todos los accidentes de las formas cometarias; si el principio es cierto, quizá no sea suficiente. Es muy posible, diré más, muy probable, que actúe el Sol en estas circunstancias de un modo continuo; para ejercer realmente una accion repulsiva, nada fácil de explicar, pero que no es única en la naturaleza. Si el Sol obrara á la manera de los imanes, podria, por accion diamagnética, repeler ciertas sustancias; asi son repelidos el hidrógeno puro y la llama de una bujía en el campo magnético de un iman poderoso, y sabido es que los cometas contienen compuestos carbonados é hidrogenados, análogos á los que hay en las llamas, que pueden ser evaporados y repelidos por el Sol. Tambien se ha acudido á la accion del éter, que podria en efecto obrar de un modo desconocido hoy sobre la masa calentada y reducida á un estado de division extrema, y verdaderamente nos falta aún mucho para conocer la influencia de este medio en el Universo.

La conclusion general de todos estos hechos y fenómenos es que los cometas, segun las mayores probabilidades, son unas masas de materia nebulosa, extraña á la que ha constituido nuestro sistema, y que, una vez dentro de él, quedan retenidos por la acción perturbadora de los planetas, hasta que la difusion del calor solar las dispersa poco á poco en el espacio. Esta teoria recibe una confirmación manifiesta en lo que vamos á exponer, respecto á las estrellas fugaces, segun los últimos descubrimientos.

§ II. ESTRELLAS FUGACES.

No habrá uno solo de nuestros lectores que no haya visto, en alguna bella noche de estío, uno de esos brillantes meteoros, que, inflamándose repentinamente en el cielo, parecen desprenderse de la bóveda celeste para precipitarse sobre la Tierra, dejando en pos de si un rastro luminoso que pronto se disipa. Este fenómeno, aunque cotidiano en pequeño, adquiere proporciones extraordinarias en ciertos dias, cuya periodicidad ha llamado la atención de los astrónomos, los que han reconocido las siguientes leyes:

1.^a Las épocas más notables son, la noche del 10 de Agosto, y la madrugada del 14 de Noviembre. Estas fechas fijas excluyen toda hipótesis que tienda á atribuir el fenómeno á una causa meteorológica. La aparicion de Agosto dura varios dias, teniendo su máximo el 10; la de Noviembre es sólo en la madrugada del 14. En esta han sido algunas veces en tanto nú-

mero los meteoros, que se ha comparado el fenómeno á una lluvia de fuego. Desde 1833 se han estudiado los relatos de los antiguos cronistas, y el americano Newton ha visto que las lluvias de fuego que en ciertas épocas han llenado de espanto á las gentes, no han sido más que la aparicion de las estrellas fugaces de Noviembre. Esta aparicion no es todos los años igualmente notable; su esplendor varia periódicamente; cada treinta y tres años próximamente se repite el máximo; despues vá disminuyendo gradualmente y cesa por un largo período, reproduciéndose luego, y alcanzando el máximo en el período que hemos dicho. Además, siendo pequeño el espesor de la manga de asteróides de Noviembre, no emplea la Tierra más que algunas horas en atravesarla, y así no es visible el máximo más que en ciertas regiones limitadas, que varian en cada año. La aparicion de Agosto es más constante, pero nunca tan espléndida, y tambien está sujeta á fluctuaciones sensibles de intensidad.

2.^a Se ha averiguado que las trayectorias de los diversos meteoros divergen desde un mismo punto del cielo, llamado *punto radiante*. Este punto se halla entre las constelaciones de Perseo y Casiopea para los meteoros del mes de Agosto, y para los de Noviembre en el Leon, cerca de la estrella ζ. Greg, Herschel, Schiaparelli y Denza, han determinado un gran número de puntos radiantes, correspondientes á diversas épocas del año. No debe creerse, sin embargo, que todas las estrellas fugaces parten realmente del punto radiante; sólo si que sus trayectorias prolongadas se encuentran todas en este punto, ó en esta region bastante circunscrita, salvo un pequeño número

que se designa con el nombre de estrellas *esporádicas*. Esta divergencia es un efecto de perspectiva; las verdaderas trayectorias son sensiblemente paralelas, pero parecen diverger por la misma causa que nos hace ver divergentes los rayos del Sol en su ocaso, cuando pasan por entre las nubes.

3.º Estos fenómenos son debidos ciertamente á la inflamacion de algunas sustancias combustibles en las regiones superiores de nuestra atmósfera. En las apariciones de Noviembre se ha visto con frecuencia, que donde aparecen los meteoros se forman nubecillas, que persisten por algun tiempo despues de la desaparicion del meteoro, y que son arrastradas por las corrientes atmosféricas. Más de una vez hemos visto dilatarse estas nubes y contornearse bajo la accion de los vientos superiores. Considerando el volúmen y densidad de estas nubes, creemos que no puede ser muy pequeña su masa, y que la materia que por su combustion las forma, no puede ser gaseosa; pues si los meteoros estuviesen en tal estado y fuesen muy ligeros, no traerian fuerza para penetrar tan profundamente en nuestra atmósfera, y se disiparian en el aire ántes de inflamarse. Con frecuencia una masa se divide en dos ó tres partes, á veces en más, conservando cada una de ellas una forma perfectamente definida: estan, pues, compuestas de sustancias compactas, capaces de saltar en pedazos durante su combustion.

En Alemania y en Inglaterra se han hecho muchas observaciones, á fin de determinar la altura á que se producen estos meteoros. Nosotros tambien hemos hecho análogas observaciones en Roma y Civita-

Vecchia, estaciones distantes entre si 60 kilómetros, y unidas por un hilo telegráfico. La mayor altura observada ha sido de 200 kilómetros, y la menor de 50. Los meteoros más bellos aparecen entre 90 y 400 kilómetros, y se extinguen á una altura comprendida entre 30 y 50. Durante su trayecto, la velocidad inicial, que varia de 47 á 70 kilómetros, se reduce á 4,200 ó 4,500 metros. Hay, pues, una gran pérdida aparente de fuerza viva: una parte de esta fuerza viva ha sido empleada en mover el aire; la otra se ha transformado en calor, calor que puede ser lo bastante considerable para volatilizar el cuerpo, sobre todo si es fácilmente combustible. (1) Los meteoros de Noviembre tienen más velocidad y son más rojos que los de Agosto; dan en el espectróscopo las rayas del sodio, del magnésio y del hierro, ó al ménos otras muy próximas á las de estos metales, que son todos muy combustibles. El color de los de Agosto parece indicar una composicion química diferente.

4.º En todas las apariciones hay un período diurno y otro anual. En el periodo diurno se verifica el máximo de 3 á 6 de la mañana. El período anual consiste en que abundan más los meteoros en la segunda mitad del año que en la primera. Segun una teoría establecida por Schiaparelli, estas dos notables circunstancias dependen de que la Tierra choca más directamente con las nubes de meteoros durante la mañana que durante la tarde, y en el segundo semestre que en

(1) En este caso basta que sea suficiente para poner el cuerpo en ignicion; para lo demas suministra el calor la combinacion química. (N. del T.)

el primero. Podemos comparar la Tierra, cuando atraviesa estas mangas de corpúsculos, á una bala de cañon atravesando un enjambre de mosquitos; indudablemente encontraria muchos más por la parte anterior, y dejaria tras de si un vacío. Si la bala girase sobre sí misma, como la parte de superficie normal al sentido del movimiento variaria constantemente, los puntos más expuestos al choque serian tambien distintos de un momento á otro. El número horario de estrellas fugaces dependerá, pues, del punto á donde se dirija la Tierra en cada momento, con relación á la vertical del observador. Todo cuanto acabamos de decir supone una distribucion uniforme de corpúsculos meteóricos; si se tratase de estrellas sistématicas, seria preciso introducir otras consideraciones. Las observaciones y el cálculo confirman esta teoria; pero como el máximo se verifica á las 6, hora á que ya ha salido el Sol en el estío, no es posible observarlo completamente.

Si se ven estrellas fugaces en la parte de la Tierra opuesta al máximo, es á causa de que su velocidad es superior á la del globo terrestre. Así, en la noche del 10 de Agosto hemos visto bólidos que se movian muy lentamente, procediendo de una region del cielo opuesta á la constelacion de Casiopea, donde se hallaba el punto radiante. Ya se habia hecho constar el rápido movimiento de los meteoros, y partiendo de los hechos observados, ha probado Schiaparelli que su velocidad es próximamente vez y media la de la Tierra (1,414). Esta velocidad supone una órbita parabólica. De aqui resulta un rozamiento y una condensacion considerables. Analizada su luz al espec-

tróscopo, acusa de ordinario la presencia del magnésio, del sódio y del hierro. El cálculo les asigna como velocidad máxima la de $71^{\text{km}},5$, y como mínima, la de $16^{\text{km}},5$ por segundo. La media de estos valores difiere poco de las velocidades observadas.

Las estrellas fugaces son, pues, de la misma naturaleza que los aerólitos; siendo estos mayores y más compactos, no arden por completo en el aire, solamente se funden y vitrifican en la superficie, mientras que las estrellas fugaces, teniendo menor masa, se volatilizan por completo. Por otra parte, parece completamente probado que la velocidad de estas es muy superior á la de aquellos, lo que implica un mayor calentamiento. Segun el sig. Schiaparelli, la velocidad relativa de los aerolitos es la diferencia entre la suya absoluta y la que anima al globo terrestre, mientras que en las estrellas fugaces es igual á la suma de ámbas.

5.º Se han reconocido las mismas sustancias en las estrellas fugaces y en los meteoritos. Uno de los más recientes contenia carbon, cuerpo cuya presencia, como hemos dicho, ha sido reconocida en los cometas. Las piedras meteóricas y las estrellas fugaces corresponden al mismo grupo; ciertamente son masas extrañas al globo terrestre y, probablemente tambien, al sistema planetario.

El análisis químico de los gases, hecho recientemente al espectróscopo por Wright, ha demostrado que hay en los aerolitos las mismas sustancias y las combinaciones hidrogenadas que señala el espectróscopo en los cometas. Este hecho reúne en un solo grupo los cometas, los aerolitos y las estrellas fugaces.

6.º Queda por explicar cómo y por qué estas apariciones se repiten en épocas fijas, y cómo pueden ser variables durante muchos años y sufrir las intermitencias que hemos indicado.

Hasta el presente, consideraban los astrónomos á las estrellas fugaces como de origen planetario, suponiendo que formaban anillos circulantes alrededor del Sol en órbitas elípticas casi circulares, con velocidades comparables a la de la Tierra. El profesor Schiaparelli, fijándose en la velocidad de estos corpúsculos, que indica, como ya hemos dicho, una órbita parabólica, sospecha que tienen, del mismo modo que los cometas, un origen extraño á nuestro sistema. Expondremos brevemente su teoría.

Supongamos una masa nebulosa, ó formada de corpúsculos, situada en los límites de la esfera de atracción de nuestro Sol, y que estando dotada de un pequeño movimiento relativo, comienza á sufrir la influencia de la masa solar. Si su volúmen fuera muy grande, estarían sus puntos á muy diversas distancias, y de aquí resultaría que, cuando comenzase á caer hácia el Sol, adquirirían velocidades diferentes los puntos situados á distancias distintas. A pesar de tales diferencias, prueba el cálculo que las distancias perihélicas de los diversos corpúsculos se modifican muy poco, siendo las órbitas de tal modo semejantes que las partículas se seguirán unas á otras formando una especie de cadena ó de corriente, que empleará un tiempo extremadamente largo en pasar alrededor del Sol. Una masa cuyo diámetro fuese igual solamente al del globo solar, necesitaría vários siglos para efectuar este movimiento. Esta corriente representaría de

una manera física y visible la órbita de los corpúsculos meteóricos, como un surtidor de agua representa la trayectoria parabólica de cada molécula, considerada como proyectil aislado.

Si en su movimiento de traslación encontrase la Tierra esta especie de procesion de corpúsculos, pasaría á través de ellos, chocando con un cierto número, cuyas velocidades propias se combinarían con la terrestre. Si la cadena fuese muy larga, la Tierra la atravesaría cada año en el mismo punto, encontrando en cada paso corpúsculos diferentes de los que encontraría el año anterior. Fácil sería entónces calcular la posición de esta corriente, porque su radio vector está dado por la distancia del Sol á la Tierra en el momento del encuentro: la longitud de la Tierra en la misma época dá la longitud de uno de los nodos, y, como la órbita es parabólica, podrían determinarse los elementos por el procedimiento que se usa para las órbitas de los cometas.

Schiaparelli ha hecho los cálculos relativos á las dos corrientes de Agosto y Noviembre, y, cosa admirable, ha hallado que las órbitas de diez cometas muy conocidos coinciden precisamente con estas cadenas de meteoros. El primero es el gran cometa II de 1862, que pasó por el perihelio el 23 de Agosto del mismo, y cuya revolución dura ciento treinta y dos años. Su órbita coincide con la cadena meteórica del mes de Agosto. El segundo es el de Tempel, que apareció en 1866; tiene un periodo de treinta y tres años, y forma parte de los meteoros de Noviembre.

Este imprevisto resultado esclareció en gran manera no sólo el asunto de la naturaleza de los aeróli-

tos, sino tambien el de los cometas. Podemos, pues, sentar que estos astrós no son más que grandes estrellas fugaces, ó más bien montones de meteoros, derivados de masas nebulosas extrañas á nuestro sistema planetario; estábamos, pues, completamente en lo cierto cuando decíamos que si un cometa tropezase con la Tierra, produciria simplemente el fenómeno de la lluvia de estrellas fugaces.

Podria objetarse que el análisis espectral muestra los cometas como formados, al ménos en parte, de materia gaseosa, mientras que las estrellas fugaces deben ser sólidas; pero el mismo espectróscopo ha resuelto la dificultad. En efecto, prescindiendo de que las materias litóideas pueden estar envueltas por una atmósfera nebulosa y gaseosa á la cual es posible atribuir espectro cometario, el análisis espectral prueba que en sus masas, y dentro de sus poros, hay gran cantidad del gas de los cometas, que se desprende simplemente por la accion de un calor bastante moderado. Tambien está probado que varios meteoritos, como el del Cabo y el de Orgueil, contienen carbon. Esta sustancia bien ha podido evaporarse al pasar el cometa por su perihelio, y dar el espectro observado. La multiplicidad de núcleos en ciertos cometas es tambien favorable á nuestra hipótesis. De esta especie eran, el descubierto por nosotros en la constelacion de la Liebre, en 1853, el observado por Hevelius, y otros vários.

Stanislas Meunier, analizando gran número de meteoritos, ha visto que estan constituidos de una manera semejante en un todo á la de ciertas rocas volcánicas terrestres, sin más diferencia que carecer de

agua, ó sea del elemento de hidratacion. Este hecho es muy importante, é indica condiciones distintas de las que han presidido á la formacion de los materiales terrestres. Deshidratando nuestros minerales volcánicos, se obtienen combinaciones meteóricas. El carbon hallado en los meteoritos se encuentra tambien en condiciones físicas particulares.

Las corrientes de materia meteórica pueden evidentemente ser discontinuas, ó abarcar un arco limitado; así se explicarian sin dificultad las interrupciones que caracterizan á ciertas apariciones, como la de Noviembre, por ejemplo. Por otra parte, introducida en nuestro sistema una corriente meteórica extraña, puede quedar en él, por efecto de la accion perturbatriz de los grandes planetas, que puede obligarla á describir una órbita cerrada; no vemos dificultad en explicar de este modo las apariciones periódicas anuales.

Para que uno de estos corpúsculos meteóricos produzca una estrella fugaz, no es necesario que sea muy grande su masa; se calcula que basta, y aún sobra, con un gramo de materia combustible. Sin embargo, gran número de estrellas deben tener mucho mayor masa, porque sus rastros á veces son nubes de una longitud considerable. Es posible que cada uno de los núcleos de los cometas, que tienen varios, sea susceptible de producir una ó más estrellas fugaces. Es en ciertos casos tan grande el volumen de los cometas, que la Tierra, al atravesarlos, no haria más que un pequeño agujero.

La teoria de Schiaparelli explica tambien algunos curiosos fenómenos consignados en los anales de la ciencia: tales son, por ejemplo, ciertos rastros lumi-

nosos, vistos sólo una noche, que han pasado de Oriente á Occidente, así tambien como ciertas luces extraordinarias, parecidas á cometas, pero de muy corta duracion. El origen de esto seria, segun la hipótesis de que estamos tratando, el paso de algunos pequeños cometas, ó de algunas estrellas fugaces, por las inmediaciones de la Tierra, pero sin penetrar en la atmósfera, y por lo tanto sin llegar á inflamarse. (1)

Podria abrigarse alguna duda respecto á si los aerolitos son ó no aglomeraciones de estrellas fugaces. La constitucion de ciertas piedras meteóricas puede ser un argumento en pró de la afirmativa, por ofrecer ordinariamente un conjunto de granos de metal puro, (mezcla de hierro y de niquel) rodeados de otras sustancias oxidadas; y si bien cada grano pesa ménos de un gramo, tienen la masa suficiente para producir una estrella fugaz. Esto no obstante, seria difícil sostener la misma opinion tratándose de las masas meteóricas de hierro casi puro, ó de óxido de hierro, que tienen en sus poros hidrógeno condensado. En ellas se vé una indicacion de la alta temperatura que han sufrido; y es probable que hayan formado parte de algun cuerpo más considerable, y que no sean, en una palabra, mas que fragmentos de pequeños planetas. Confirma esta manera de ver la gran semejanza que se nota entre las piedras meteóricas, puesto que el 80 por 100 son de una estructura análoga, estando formadas de pequeños granos de hierro cromado, en-

(1) Pueden consultarse sobre este asunto las Memorias de Schiaparelli, insertas en el *Bullettino met.^o del Observ. del Collegio Romano*, 1866.

vueltos en una ganga de olivina, ó de compuestos silíceos deshidratados.

Sin dificultad se concibe que una misma causa puede dar lugar, según las circunstancias, á un aereolito ó á una estrella fugaz. Si su movimiento se verifica en sentido opuesto al de la Tierra, la velocidad relativa será igual á la suma de los velocidades, 70 kilómetros próximamente, y la resistencia del aire dará lugar á gran desprendimiento de calor. Si la misma masa cae sobre la Tierra moviéndose en el sentido de este astro, la velocidad relativa será solamente la diferencia de las dos velocidades absolutas, y por lo tanto mucho menor, unos 17 kilómetros á lo sumo; y siendo el calor desarrollado también ménor, podrá no ser completa la combustion. Esta creencia está confirmada por la direccion que, al caer, siguen generalmente los aerolitos.

Además de los dos cometas ya dichos, se han encontrado algunos otros cuyas órbitas coinciden con otras corrientes de meteoros señaladas por los astrónomos: así, por ejemplo, el cometa de Biela acompaña á los meteoros del 20 de Abril. Se esperaba la vuelta de este cometa en Octubre de 1872; no se presentó; pero la Tierra debia atravesar el nodo de su órbita el 27 de Noviembre del mismo año. En este dia se verificó la lluvia de estrellas de que ya hemos hablado. Resulta pues, que, si no hemos atravesado la cabeza del cometa retrasado, hemos atravesado la corriente que le sigue. Klinkerfues, suponiendo que habiamos atravesado la cabeza, telegrafió á Madras, á Pogson, invitándole á observar el cometa que habiamos tropezado, señalándole el lugar en que debia en-

contrarlo. Pogson descubrió un cometa en el sitio indicado; por desgracia no pudo hacer más que dos observaciones, siendo precisas tres para determinarlo y hacer constar su identidad con el de Biela. Sin embargo, si la coincidencia no corresponde á éste, es preciso convenir en que la casualidad ha sido bastante curiosa. Así, algunos astrónomos consideran como cosa probada que la Tierra ha atravesado la cabeza de un cometa.

Pero no debemos creer que tropezamos con un cometa en cada aparición de estrellas fugaces. La influencia de los planetas mayores es muy considerable sobre estos cuerpos tan ligeros, y despues de tanto tiempo como hace que entraron en nuestro sistema, las corrientes meteóricas han debido modificar el régimen primitivo.

Tenemos ante nuestra vista otra confirmacion más de la teoría de la nebulosa del sistema solar, y si alguno considerase como gratuita la hipótesis de masas tan considerables empleando siglos y siglos en pasar cerca de nosotros, podríamos responderle que hay en los vastos espacios celestes nebulosas cuya extension es millones de veces mayor que la de todo nuestro sistema planetario. No hay, pues, dificultad alguna en concebir que estas masas de materia cósmica circulen alrededor del Sol durante un tiempo extremadamente grande. Para formarnos idea del número de los meteoros, notemos que cada observador, en la estacion que ocupa, no puede ver sino los que caen sobre una parte muy limitada del globo. Este espacio podria estar representado por una peseta sobre un globo de un metro de diámetro. Y sin embargo, en las noches del 10 de

Agosto y 13 de Noviembre se cuentan, en cada estación, varias centenas, en el trascurso de una hora. Durante la noche del 27 de Noviembre de 1872, en ciertas partes del cielo caían las exhalaciones tan pequeñas y tan espesas que parecia nevar, de tal modo que al contemplarlas se sentia un movimiento instintivo de pavor, considerando las consecuencias que hubieran producido á no existir la atmósfera para protegernos.

Podemos sentar, como conclusion final, que, ademas de los cuerpos de cierto tamaño, surcan el espacio planetario multitud de cuerpos muy pequeños que, ya aislados, ya reunidos en gran número, atraviesan el espacio en todas direcciones. De igual manera podemos añadir que el Sol actúa sobre todos los cuerpos de un modo particular, que no conocemos bastante y que parece depender de su fuerza calorífica y magnética.

§ III. DE LA LUZ ZODIACAL.

Llámase luz zodiacal á un débil resplandor en forma de hoja de lanza, que se distingue á lo largo del zodiaco, cuando el tiempo está puro, por la tarde, hácia el fin del crepúsculo, y por la mañana ántes de la aurora. En las bajas latitudes se eleva esta luz algunas veces á gran altura, pero sólo rara vez alcanza el zénit. Su intensidad y su extension no son constantes; parece más viva á Poniente, entre Febrero y Marzo, y

á Oriente, entre Setiembre y Octubre. En el Ecuador se vé todo el año; alcanza un brillo de que no tenemos idea, y atraviesa algunas veces todo el cielo. Las variaciones anuales que experimenta en nuestras latitudes, dependen evidentemente de la posicion de la ecliptica con relacion al horizonte. Algunos observadores afirman que, áun á media noche, la veian en la parte del cielo opuesta al Sol; Heis nos lo ha asegurado. Nosotros nunca hemos estado en condiciones de hacer esta observacion, porque el alumbrado de gas de la ciudad de Roma la hace en extremo difícil.

Esta luz depende inmediatamente del Sol; le precede y le sigue constantemente. Abraza las órbitas de Mercurio y Venus, y si hemos de dar crédito á las observaciones que la hacen pasar del zénit, envuelve también la de la Tierra. Aun á nuestra latitud, no es raro ver su cúspide apartarse del Sol 90 grados. Su forma es la de un elipsoide muy aplastado, visto de lado. No es este elipsoide completamente regular, con frecuencia presenta la forma de un cuerno de punta curva; tampoco tiene las mismas dimensiones en las dos direcciones diametrales, porque cuando es largo por la mañana, es corto por la tarde, y *vice-versa*. Así parece tener tres ejes desiguales. Segun Houzeau, el plano principal de este elipsoide no coincide con el del Ecuador solar, sino más bien con el de la ecliptica.

Mucho se ha discutido sobre el origen de esta luz. Segun la opinion más admitida, depende de la extension de la atmósfera solar; pero debe estar la materia en estado de rarificacion extrema, porque, no obstan-

te su extension de cerca de 400 millones de leguas, es bastante trasparente para dejarnos ver estrellas muy pequeñas, y no produce resistencia sensible en los movimientos de Vénus y Mercurio.

Segun esta hipótesis, tambien seria la prolongacion de la atmósfera solar el origen de la corona, que se vé durante los eclipses. Pero ¿por qué no vemos la luz zodiacal durante estos fenómenos? Pudiera contestarse que en ellos queda oscurecida por la luz atmosférica, superior en estos casos á la del plenilunio. Algunos han querido recientemente ver en la luz de que nos ocupamos, un fenómeno terrestre, sin verdadero fundamento segun nuestro modo de ver. La mayor parte de la gente docta cree que es producido el fenómeno por la materia meteórica, estrellas fugaces ó materia cometaria que se dirige al Sol. Ya hemos visto, en efecto, que los cometas se van deshaciendo lentamente en el espacio, y es natural que su sustancia se dirija poco á poco hácia el centro general de atraccion. Roche cree producida la luz por un resto de la nebulosa primitiva. Sea como fuere, lo que si podemos asegurar es que la luz zodiacal llega hasta el mismo cuerpo solar.

Esta asercion se funda en un hecho que los astrónomos no han apreciado en todo su valor. El cometa del mes de Marzo de 1843 pasó tan cerca del Sol que entró dentro de su atmósfera: ahora bien, el dia que apareció este cometa, al lado de su inmensa cola brillaba la luz zodiacal de un modo extraordinario, presentando un matiz de: i: i: lamente rojo. Nosotros, en Loreto, y Cooper en Niza, vimos la intensidad extraordinaria del fenómeno. Tal brillo provenia sin duda de

la agitacion producida en la atmósfera solar por aquel extraño huésped. Este hecho parece indicar que la luz zodiacal procede de la misma atmósfera solar, y no de un anillo independiente, como se ha supuesto algunas veces. En el siglo pasado creia Mairan, que la atmósfera solar se mezclaba con la terrestre y producía la luz zodiacal y las auroras boreales; pero hoy no es posible sostener ya esta teoría, porque sabemos que las auroras polares son fenómenos eléctricos que se verifican en la atmósfera terrestre, y que en el Norte descienden bastante hasta interponerse entre el observador y las montañas, y hasta llegar á sufrir la influencia de los vientos (Parent, *Viaje al Polo*, Struve y otros.)

Debiera verse, sin embargo, si guarda la luz zodiacal alguna relacion con el magnetismo terrestre, ó con el período decenal de las manchas solares. Si el Sol tuviese una accion inmediata bastante apreciable sobre este fenómeno, tendríamos un precioso dato para relacionarlo á los magnéticos que se verifican en los espacios celestes. Pero hasta la fecha, nada se ha descubierto que autorice tal asimilacion (Heis).

Se ha anunciado que esta luz daba el mismo espectro que la aurora boreal, y que la segunda raya de la corona era idéntica á la raya de aquella; pero las observaciones de Piazzi Smyth, en Palermo, las nuestras, en Roma, y las de Arcimis, en Cádiz, prueban que el espectro de la luz zodiacal no está formado de rayas monocromáticas, en el sentido riguroso de la palabra. Está constituido por una banda verde azulada, notablemente difusa, y sólo un poco más recortada hácia la parte ménos refrangible, sin tener rela-

cion alguna con el espectro de la aurora boreal ni con la raya 4474 de Kirchhoff. Es semejante al de todas las luces débiles y azuladas, tales como las que emiten los animales fosforescentes. Cuando se analizan cuidadosamente estas luces, despues de reforzadas, dan un espectro continuo de tintas muertas; pero como no podemos reforzar la luz zodiacal, tampoco podemos decir nada más sobre ella. Lo que sí podemos decir es que la banda de su espectro no puede confundirse con la raya de la aurora boreal, y quizá Respighi y Angström observaron, sin saberlo, alguna aurora boreal difusa que acompañara á la luz zodiacal. Sería interesante ver si esta luz se hace más viva en la época de las erupciones solares y de la mayor actividad. Tacchini cree que así ocurre, pero el hecho necesita confirmacion.

Hé aquí un campo de investigacion asaz vasto, que no agotaremos hasta despues de largas y constantes observaciones. Estos trabajos no ofrecen graves dificultades, pero piden atencion y perseverancia.

Vemos ahora cómo el estado actual del Sol está intimamente ligado á la formacion de nuestro sistema; cómo los planetas formaron parte de la nebulosa en otros tiempos, y cómo los cometas son huéspedes extraños á esta formacion, constituyendo una sola familia con los bólidos ó estrellas fugaces. Todas las partes del mundo planetario deben tener, pues, el mismo origen, y el sistema completo debe estar en comunicacion con los demás por medio de los cometas y de las estrellas fugaces.

Mucho más pudiéramos añadir sobre tan impor-

tante asunto, si no temiésemos excedernos de los límites que nos hemos impuesto; haciendo punto en este lugar, remitimos una vez más al lector á nuestro *Cuadro del sistema solar*, así como á las notabilísimas *Memorias del Sig. Schiaparelli*.

LIBRO OCTAVO.

De los soles ó estrellas.

CAPÍTULO ÚNICO.

§ I. EL SOL Y LAS ESTRELLAS.

Este esplendente Sol que nos alumbra, es nada más que una de las innumerables estrellas que pueblan los espacios celestes, distinguiéndose de ellas solamente por estar de nosotros á una distancia relativamente exígua. Si se alejase siquiera tanto como lo está la estrella más cercana, apenas lo distinguiríamos á simple vista como una estrella de 5.^a ó 6.^a magnitud; su diámetro sería imperceptible, porque desde Neptuno subtiende solamente un ángulo de 64 segundos, y las estrellas más cercanas están á distancias inmensamente mayores. Aun suponiéndoles una paralaje de un segundo, distarian cuando ménos 206,265 veces el semieje mayor de la órbita terrestre; pero en realidad distan mucho más, porque las paralajes anuales mejor determinadas no llegan á un segundo. Y sin

embargo, á la distancia supuesta, tardaría la luz en llegar hasta nosotros tres años y ochenta y tres dias. Diez años tarda en atravesar el espacio que nos separa de la estrella 61 del Cisne, cuya paralaje es de $0''{,}34$ segun Bessel ($0{,}52$ segun Auwers), mientras que para llegar del Sol á la Tierra le basta un medio cuarto de hora ($8^m 17^s$)

Estas someras indicaciones bastan para poder formar una idea de la inmensidad del espacio sidéreo, y comprender como hay suficiente distancia entre los astros para que los diversos sistemas sean independientes unos de otros en sus acciones internas. En efecto, la estrella considerada como más cercana á nuestro sistema no puede tener influencia sensible sobre el planeta más apartado del centro comun de accion, Neptuno, porque dista de él 7,800 veces más que el Sol; y como la accion se verifica en razon inversa del cuadrado de las distancias, suponiendo que tengan iguales masas ámbos centros de atraccion, la influencia de la estrella sobre Neptuno será 60 millones de veces menor que la solar. La estrella más próxima, segun hoy dia se cree, es el α del Centáuro, estrella doble del hemisferio austral, cuya paralaje parece ser de $0''{,}88$ (1), y cuya distancia es 234,000 veces la del Sol á la Tierra, y 7,800 la de Neptuno al centro del sistema.

Las estrellas llamadas comunmente *fijas*, no estan inmóviles en absoluto. La observacion nos ha hecho

(1) Este número ha sido deducido de las observaciones de Maclear, Moesta y otros astrónomos.

saber que todas tienen su movimiento propio, pequeñísimo al parecer, pero sensible para los astrónomos; algunas describen en un año arcos de muchos segundos, otras emplean un siglo en recorrer algunos segundos, pero esto es suficiente para hacer cambiar con el tiempo el aspecto del cielo y la forma actual de las constelaciones. Estos movimientos están compuestos de otros dos: 1.º, el movimiento peculiar á cada estrella; 2.º, el sistemático y extraño al astro considerado, explicable fácilmente admitiendo que el Sol con todos los astros de su sistema se dirige hácia un punto de la constelación de Hércules, cuya ascension recta es de $259^{\circ}30'$, siendo su declinación próximamente 32 grados Norte. Sin duda alguna debe ser curvilíneo este movimiento, pero nos es imposible señalar la curvatura, estudiar la trayectoria y determinar el punto de donde procede la fuerza que lo produce. Hasta estos últimos tiempos no habían tenido los astrónomos otro medio de estudiar estos cambios de posición que los movimientos propios de los astros, y estos no permiten apreciar más que los movimientos laterales de las estrellas. En la actualidad tienen también, gracias al espectróscopo, un medio de reconocer la variación de las distancias. Ya hemos dicho, en este mismo volumen, cómo por las variaciones de posición de las rayas espectrales se ha conseguido averiguar si la materia eruptiva lanzada del Sol se mueve en dirección al observador ó en sentido opuesto. Doppler, en 1841, intentó aplicar este movimiento de las estrellas, haciendo notar que el cambio de color de las mismas podría servir de criterio para juzgar de su traslación en el espacio. En efecto, si la estrella se

dirige hacia el observador, todas las ondas se acortan relativamente, y el color debe variar hacia el violado; por el contrario, si la estrella se aleja, el cambio ocurrirá en sentido del rojo. Este razonamiento supone tácitamente que, ántes del rojo y despues del violado, no hay otras radiaciones que puedan sustituir las, porque de haberlas, el movimiento no podria apreciarse; pero como las tales radiaciones existen, de aquí que la idea de Doppler no sea aplicable. Asi lo hicimos notar en 1865, indicando al mismo tiempo que si en lugar de los colores se examinasen las rayas de Fraunhofer, refiriéndolas á las producidas por focos terrestres, se podrian obtener, segun el mismo principio, resultados rigurosos, y examinar el movimiento propio de las estrellas en sentido del rádio visual. (1) El principio ha sido despues puesto en duda por autoridades competentes, de manera que la solucion del problema es aún dudosa.

Hemos ensayado el procedimiento en varias estrellas; pero la poca fuerza de nuestros instrumentos no nos ha permitido obtener resultados definitivos. Huggins atacó el problema seguidamente con medios más poderosos, y por la variacion de posicion de algunas rayas de las estrellas, comparadas con las mismas rayas producidas por sustancias terrestres, ha creído encontrar en ciertas estrellas un movimiento de traslacion. Despues se ha vuelto á ocupar del problema, así como Vogel y los astrónomos de Greenwich. El resultado ha sido ver que algunas estrellas, entre las

(1) Véase *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 623.

cuales se cuenta Sirio, se alejan con una velocidad de 30 á 40 kilómetros por segundo, mientras que otras, tales como Arturo y Vega, se aproximan á nosotros. Por más que estas conclusiones no sean definitivas, creemos deber darlas á conocer para mostrar que inagotable manantial de descubrimientos es el espectróscopo en la astronomía.

En algunos grupos de estrellas, señalados en otro lugar como muy notables por la analogía de los espectros y por la region que ocupan, tales como los de la Osa mayor, etc., se ha notado un movimiento comun en una misma direccion, lo que induce á suponer formen un sistema.

A primera vista parece que las estrellas mayores estan esparcidas en la bóveda celeste al acaso, sin órden ni ley alguna; pero un más atento exámen dá á conocer que ocupan una zona cuya linea media es un círculo máximo, uno de cuyos polos está cerca de Fomalhaut, estrella del Pez austral. Fácil es verlo colocando un globo celeste de manera que la estrella últimamente nombrada corresponda al zénit; en tal posicion pasa el horizonte por las Hyadas, por el cinturion de Orion, entre Sirio y Canopus; divide en dos la Cruz del Sur, y pasa por el Centauro y por el cuerpo del Escorpion. Vinien lo despues al hemisferio boreal, por encima de la ecliptica, cruza á Ofiuco, atraviesa la Lira, cerca de Vega, pasa por Andrómeda y muy cerca de α de Perseo, dejan lo á la Cabra á poca distancia. Tambien cruza la constelacion de Hércules, muy cerca del punto á donde se dirige nuestro Sol y todo su sistema. Este círculo, de que venimos hablando, corta al Ecuador en $4^{\text{h}}43^{\text{m}}$ de ascension recta, en

la constelacion del Toro cerca de Aldebaran, y en las 16^h45^m en el Escorpion, próximo á Antares. Casi todas las estrellas de las cuatro primeras magnitudes estan comprendidas en esta zona, que si bien no sigue á la vía láctea, está muy próxima á ella, y áun coincide durante algun tiempo con la bifurcacion, esto es, con la rama divergente que se dirige al Escorpion.

Aunque sea absurdo pretender señalar el centro del Universo, debemos no obstante investigar cuáles son las relaciones existentes entre nuestro Sol y los otros muchos que brillan á tan grandes distancias. Analizaremos, pues, brevemente lo que concierne á las estrellas, sus sistemas y su composicion, á fin de ilustrarnos más y más sobre la constitucion de nuestro Sol y de su posicion en el Universo. De igual manera estudiaremos esas masas de materia cósmica, esas nebulosas, que son mundos en via de formacion, y que actualmente pasan por las mismas fases que nuestro Sol atravesó anteriormente.

§ II. RELACIONES DE COMPOSICION ENTRE LOS SOLES. ESPECTROS ESTELARES.

El análisis espectral puede darnos á conocer de dos modos la composicion química de los cuerpos, segun ya hemos dicho al tratar del Sol: bien por los rayos que emiten directamente, bien por la absorcion que producen en las radiaciones luminosas. Ambos procedimientos se emplean en el estudio del cielo; el segundo se aplica á la mayor parte de las estrellas; el

primero se usa con un pequeño número de estas y con las nebulosas. Entremos en algunos pormenores históricos respecto á tan importante asunto.

El primero que se ocupó de los espectros siderales fué Fraunhofer, quien, habiendo colocado un prisma de $37^{\circ} 4'$ delante del objetivo de cuatro pulgadas de diámetro de su buscador de cometas, y una lente cilíndrica para ensanchar el espectro lineal de las estrellas, examinó á Sirio, Betelguese, Arturo y otras estrellas principales, notando que sus espectros diferían por lo comun del solar, mientras que Vénus, la Luna y los demás planetas reproducían este último. La muerte impidió á Fraunhofer adelantar más en esta vía.

Lamont, poseyendo los instrumentos de Fraunhofer, repitió y confirmó estos resultados en 1838; pero no pudo ampliarlos por falta de luz en el aparato. Pensó, sin embargo, estudiar los espectros sidéreos colocando un prisma ordinario próximo al ocular; pero las imágenes obtenidas así no tienen la suficiente limpieza, porque la superficie focal que se engendra por la intervencion del prisma cae de ordinario en los círculos de difraccion de la imagen focal. Lamont atribuía los malos resultados á las condiciones atmosféricas. Además, las líneas son curvas, y el foco es muy variable de una línea para otra. Estos experimentos de Lamont quedaron estériles.

En 1855, con un teodolito provisto de un prisma, repetimos estas observaciones, y un pequeño prisma adaptado al gran refractor de Merz nos dió un tan bello espectro de Sirio que tuvimos vivos deseos de

continuar estas investigaciones; pero nos lo impidió la necesidad de atender á otros trabajos.

Donati, de Florencia, en 1860 continuó estos estudios, usando una gran lente colectora, y un espectróscopo ordinario de prisma simple angular, empleando una lente cilíndrica en reemplazo de la mira del espectróscopo. En 1862 publicó la descripción de varios espectros; pero, á causa de la falta de luz y exactitud en el aparato, no pudo hacer avanzar mucho este ramo.

De todos modos, estas investigaciones produjeron para la ciencia, primero, el espectróscopo compuesto aplicado á los anteojos, y despues, el espectróscopo de vision directa, inventado por Amici de Módena, que ha sido un elemento de gran valia en esta clase de trabajos.

Hoffmann, en 1862, inventó su espectróscopo de bolsillo, y le pedimos uno con intencion de emplearlo en las investigaciones sidéricas; mientras esperábamos el instrumento pedido, trajo uno de Roma Jansen, y aplicándolo á nuestro refractor de Merz, hicimos las primeras investigaciones en union del doctor frances, reconociendo el sódio en Betelguese. Muy luego continuamos sólo estas investigaciones, que fueron publicadas en 1863.

En el mismo año señalamos las primeras diferencias entre los espectros de las estrellas blancas y los correspondientes á las coloradas, basándonos sobre los caractéres espectrales y no sobre los colores naturales ordinarios (1). Fuimos modificando progresiva-

(1) *Bull. meteor. dell Coll Romano* (1863, p. 126.)

mente nuestro aparato, comenzando por suprimir la mira como inútil, empleando una lente cilíndrica, quedá una imágen lineal de la estrella, y publicamos los espectros de α de Orion, α del Toro, despues del de α del Escorpion. Inmediatamente despues inventamos nuestro espectróscopo simplificado.

Al mismo tiempo, Huggins, en union de Miller, comenzaba en Inglaterra el estudio de los espectros de las estrellas y de las nebulosas, haciendo constar la presencia de otras varias rayas á más de las del sódio, y publicó los espectros de α del Toro y de Betelguese; este último ofrecia alguna diferencia con el publicado por nosotros, diferencia que se atribuyó en un principio á variabilidad, pero que despues se reconoció consistir en una equivocacion cometida por el observador inglés al fijar el órden de posicion de las bandas.

El espectróscopo simplificado da mucha luz y gran exactitud en la imágen. No permite ciertamente medidas absolutas ni comparaciones con las rayas de los gases; pero hemos conseguido alcanzar la suficiente exactitud para obtener distancias relativas valiéndonos de la imágen directa de la estrella, vista por cima del prisma al mismo tiempo que la imágen espectral. Despues de haber fijado con el espectróscopo ordinario la posicion absoluta de algunas rayas en las estrellas principales, fué fácil examinar otras estrellas más pequeñas, y así pudimos descender hasta las de 9.^a magnitud. En un catálogo de estrellas bastante extenso que llega hasta las de 5.^a magnitud, publicado en 1866, confirmamos las diferencias entre los tres prin-

principales tipos de estrellas, y en el año siguiente encontramos el cuarto.

Este descubrimiento de los tipos se ha atribuido á Rutherford; pero si este observador ha reconocido por su parte la diversidad de los espectros (cosa vista ya por Fraunhofer) no ha establecido los tipos segun los caractéres propios de los espectros, sino nada más que con arreglo á los colores naturales, lo que es muy distinto. Además, para establecer los tipos, esto es, para ver que *todas* las estrellas son reductibles á estos tipos, es preciso hacer una revista completa de las estrellas, lo que no ha hecho Rutherford, y si hemos hecho nosotros. En este sentido nos corresponde exclusivamente el descubrimiento de los tipos. Ha sido aceptado por todos los astrónomos, y D'Arrest ha ampliado y continuado nuestro trabajo. Desgraciadamente son muy poco conocidas en el extranjero las publicaciones italianas, y pueden muy bien las gentes doctas no haber tenido noticia de nuestros trabajos. (1)

En fin, despues de haber agotado estos métodos, y viendo que aun quedaban maravillas que examinar, ensayamos el método de Fraunhofer, pero de distinta manera, usando un prisma de pequeño ángulo refringente, de 6 pulgadas de diámetro, aplicado sucesivamente al objetivo de nuestro gran ecuatorial de Merz y al antejo de 6 pulgadas de cauchoix. Los resulta-

(1) Insistimos en este asunto porque Schellen, en la traduccion alemana de esta obra, ha atribuido arbitrariamente á Rutherford el descubrimiento de los tipos.

dos obtenidos son lo que puede esperarse de un objetivo de 9 pulgadas solamente. Otros despues han podido disponer de mayores fuerzas. Rutherford, Huggins, Vogel y D'Arrest han empleado instrumentos mas potentes, y han conseguido examinar interesantes pormenores de que nos serviremos en este capitulo.

Antes de pasar más adelante, digamos cuatro palabras sobre los instrumentos. Si el lector recuerda la descripción del espectróscopo solar hecha en el primer volumen de esta obra (1), fácilmente comprenderá la disposición del aparato que, como hemos dicho ántes, llegamos á disponer despues de sucesivas modificaciones. La parte que realmente constituye la disposición espectroscópica, consta de un cuerpo cilindrico que se une á tornillo con el anteojo astronómico; en el eje de este cilindro, y en la parte más próxima al anteojo, hay una lente cilíndrica que produce una imagen lineal de la estrella, precisamente en el foco de dos lentes que tambien estan en el eje del cilindro, y forman el colimador; detras de ellas, y siempre dentro del cilindro, está el prisma de vision directa. Unido á este cuerpo del aparato, y en la prolongacion de su eje, está el anteojo analizador, provisto de un micrómetro de puntas y dotado de un movimiento propio para poder examinar todas las partes del espectro. Escusado creemos añadir que en el primer cuerpo descrito enchufa lateralmente otro etc., detalles todos en que no entramos, conocido ya el juego del espectróscopo. Este

(1) Libro III, cap. II, § II.

instrumento da mucha más luz que el de mira, y puede usarse, lo mismo que este último, para el exámen de los espectros metálicos y gaseosos, colocando la mira en el sitio que ocupa el foco de la lente cilíndrica.

Sin embargo de todo, absorbe demasiada luz, y con el fin de evitar este inconveniente, inventamos el espectróscopo simplificado de que hablamos ántes. Este instrumento consta esencialmente de un prisma de vision directa, tras el cual se coloca una lente cilíndrica acromática que forma una imágen lineal de la estrella. Para examinar esta imágen se hace uso de un ocular ordinario, compuesto de dos lentes esféricas, ó mejor aún, de dos lentes cilíndricas, cuyo eje es perpendicular al plano de dispersion. De esta manera se consigue gran intensidad luminosa, y con un antejojo de 25 centímetros de abertura, hemos obtenido espectros muy perceptibles de las estrellas de sétima magnitud, y aún de las de octava. Las estrellas de las primeras magnitudes dan espectros extraordinariamente brillantes, que permiten dibujar fácilmente las rayas y también medir con exactitud sus posiciones respectivas. Notemos de paso que puede usarse del mismo modo el prisma ordinario en vez del de vision directa, como hizo Lamont, pero entónces se tropieza con los inconvenientes apuntados más atrás.

De todos los aparatos inventados es el más propio sin duda alguna para esta clase de investigaciones, el prisma angular de pequeño ángulo refringente, colocado delante del objetivo, ó sea, la disposicion ideada por Fraunhofer. La falta de este aparato consistia en el uso de un prisma de ángulo sobrado considerable: tal clase de prisma dispensa en verdad del uso de la

lente cilíndrica y del ocular, porque se vé la imágen dilatada en la superficie focal, debida á la dispersion prismática, pero tiene otros inconvenientes, entre los cuales no es el menor la dificultad de hallar masas de flint bastante grandes y suficientemente puras. El prisma de que nosotros nos hemos servido ha sido construido por Merz; tiene 6 pulgadas de diámetro, y puede adaptarse, bien al anteojo de cauchois, bien al gran ecuatorial. Pero como ámbos no tienen igual diámetro, la montura del prisma es diferente para cada uno de ellos. Con el primero es una simple guarnicion, provista de dos gorriones en los extremos de un diámetro, con objeto de poder colocarlo en posicion conveniente, la de desviacion minima. Cuando se emplea con el refractor de Merz, se coloca esta primera armadura en el centro de otra mayor, y se adapta como una tapadera al anteojo.

Para trabajar con el gran ecuatorial, habiamos dispuesto sobre la segunda armadura un pequeño prisma acromático, á fin de recibir la imágen directa de la estrella; pero esta disposicion no dió resultados completamente satisfactorios. Entónces fijamos otro buscador sobre el anteojo grande, inclinado como de ordinario, y dispuesto de manera que la estrella estuviese dentro del campo del ecuatorial cuando apareciese en el centro del buscador. El ángulo del prisma es de unos doce grados, y la dispersion en el foco del anteojo grande es mayor que el diámetro solar. De este modo obtenemos espectros muy extensos, demasiado extensos, porque la luz se debilita. Aplicando este prisma á un anteojo de 6 pulgadas de diámetro y de 2ⁿ,40 de distancia focal, no se pierde luz alguna, hay mayor vive-

za en los colores y pueden verse espectros magníficos. La representación del de α Orion, que hemos publicado últimamente, fue obtenida en el anteojo de cauchoix y prueba la eficacia del sistema. Con los grandes anteojos pueden emplearse ángulos refringentes menores: 5 ó 6 grados bastan para distancias focales de 4 metros, y otros aún más pequeños para mayores distancias. Vemos, pues, que ya no será una dificultad el hallar masas de flint suficientes para tales prismas.

Con instrumentos de esta clase, y más especialmente con el espectróscopo simplificado, hemos pasado revista á las principales estrellas del cielo y á muchas de las pequeñas. De este estudio hemos llegado á sacar los interesantes resultados que vamos á exponer lo más brevemente posible.

Bajo el punto de vista del espectro que producen, se dividen las estrellas en cuatro clases, correspondientes á otros tantos tipos perfectamente definidos; algunos espectros, pocos en número, en vez de formar claramente en una de estas categorías, parecen ser términos intermedios.

El primer tipo corresponde á las estrellas blancas, tales como Sirio, Vega, Altair, Regulo, Rigel, las de la Osa mayor, á excepcion de α , las de Ofiuco, etc. Todas estas estrellas, que llamamos comunmente *blancas*, por más que en realidad sean ligeramente azuladas, ofrecen el espectro representado en la figura 49. Está formado por el conjunto ordinario de los siete colores, interrumpido por cuatro líneas oscuras bien marcadas, una en el rojo, otra en el azul y dos en el violado. Estas cuatro rayas corresponden al hidrógeno; coinciden con las más brillantes producidas por

este gas cuando se eleva á gran temperatura, tal como ocurre en los tubos de Geissler. A más de estas cuatro rayas anchas fundamentales, se vé en las estrellas más brillantes, Sirio por ejemplo, una raya en el amarillo, muy fina, que parece coincidir con la del sódio, y en el verde otras más débiles correspondientes al hierro y al magnesio.

La particularidad más notable en este tipo es la anchura de las rayas del hidrógeno, anchura que parece indicar un gran espesor en la capa absorbente y gran presión en la misma.

En las estrellas pequeñas es difícil ver, por falta de luz, la raya del rojo; pero en compensación, la del azul á veces es más ancha. En realidad, como hemos hecho notar, estas estrellas tienen un matiz azulado, y en efecto, sus espectros contienen poco rojo y poco amarillo; el azul y el violado predominan. (1)

Examinado Sirio con el prisma grande, ha presentado sus rayas notablemente dilatadas; desde el principio de nuestros estudios, habíamos hecho constar la particularidad de aparecer la raya F guarnecida de dos *batientes*: se atribuyó este resultado á imperfecciones de nuestro instrumento. En la actualidad ya nadie se ocupa de tal objeción. La dilatación de las rayas es cierta, y prueba la considerable presión á que está el gas luminoso.

Próximamente la mitad de las estrellas del cielo

(1) Nunca hemos negado la presencia del rojo en estas estrellas, (como se ha supuesto erróneamente) sólo hemos dicho que es mucho menos fuerte que en los demás tipos.

se refieren á este tipo; así es fácil de estudiar, aun con un anteojo bastante débil.

El segundo tipo es el de las estrellas amarillas, como la Cabra, Polus, Arturo, Aldebaran, α de la Osa mayor, Procyon, etc. El espectro de estas estrellas es perfectamente semejante al de nuestro Sol; está formado por rayas oscuras muy finas, muy compactas y colocadas en la misma posición que las del espectro solar, fig.^a 50. Todas estas estrellas no son igualmente fáciles de estudiar. Las rayas oscuras son extremadamente finas en el espectro de Polus y en el de la Cabra; más anchas y ménos fáciles de reconocer en el de Arturo y Aldebaran. Esta última estrella podría considerarse como intermedia entre el segundo y el tercer tipo, así como Procyon ocuparía igual lugar entre el primero y el segundo. Durante el período de su variabilidad, cuando presenta el color rojo, pertenece Aldebaran más al tercer tipo que al segundo; fenómeno importante que nos pone sobre la pista del origen de la variabilidad de las estrellas rojas. Weber ha anunciado últimamente (1) la variabilidad del color de α de la Osa mayor. Así esta estrella entra en la regla general.

Ya hemos dicho que el segundo tipo ofrece las mismas rayas que el Sol: en el estudio de Arturo hemos podido hacer constar la coincidencia de treinta, elegidas entre las principales. Tal es la identidad que, á falta del Sol, no vacilamos en servirnos de las rayas de estas estrellas para comprobar nuestros instru-

(1) Véase *The Nature*, t. XV, p. 107.

mentos. Las estrellas del segundo tipo tienen, pues, la misma composición que el Sol y se encuentran en igual estado físico. Algunas estrellitas amarillas parecen que dan un espectro continuo, pero esto depende de la finura de las rayas y de la dificultad de distinguir-las; cuando el aire está tranquilo, usando buenos instrumentos se perciben fácilmente. Con el prisma objetivo(1) hemos podido resolver en bandas oscuras y brillantes los grupos del verde de Arturo y de α de Orion, y marcar la nebulosidad y dilatación de la raya D en estas estrellas. Huggins asegura que ha reconocido las rayas finas que rodean á la D en *esta estrella*. Las persianas del verde son comparables á las que hemos indicado al tratar del espectro de las manchas solares.

Hemos visto que el primer tipo contiene próximamente la mitad de las estrellas observadas hasta el presente; los dos tercios de las restantes entran en la categoría de las estrellas amarillas, ó sea de la que acabamos de ocuparnos.

El espectro del tercer tipo es asaz extraordinario; está compuesto de un doble sistema de bandas nebulosas y rayas oscuras. Puede tomarse como ejemplo el de α de Hércules (fig. 51.) En realidad las rayas oscuras fundamentales son las mismas que en el segundo tipo, como es fácil reconocerlo, especialmente en Arturo y Aldebaran; pero el tercer tipo contiene, á más de estas rayas, un gran número de bandas nebulosas que dividen todo el espectro y forman como una especie de columnata. Estas bandas, de anchura é in-

(1) La tercera disposición descrita en los párrafos anteriores. (N. del T.)

tensidad muy variables, producen entre las estrellas de esta clase diferencias bastante considerables. Hemos elegido como tipo fundamental α Hércules, porque es la que presenta un espectro más regular. Pudiéramos también mencionar á β de Pegaso, σ de la Ballena, α Orion, Antares, etc. Todas estas estrellas son notabilísimas, porque son variables, de color más ó ménos rojo ó anaranjado; α Orion, segun su color, sufre variaciones en las bandas; σ de la Ballena, la célebre estrella llamada *maravillosa* (*Mira*) presenta en su espectro bandas verdaderamente negras, muy variables segun su magnitud.

Véanse en algunas estrellas más pequeñas, en vez de las columnatas, espacios oscuros que separan grupos de rayas brillantes. Las zonas espectrales dependen, pues, de las variaciones de las estrellas, y estas mismas variaciones del poder absorbente, más ó ménos enérgico, de las atmósferas respectivas. Mediante el análisis espectral de las diversas partes del Sol, hemos averiguado que el fondo de las manchas produce un espectro marcadamente rayado y atravesado por bandas oscuras, análogas á las que vemos en el espectro de α de Orion. Podemos afirmar, partiendo de aquí, que las estrellas de que nos ocupamos deben la forma de sus espectros á una absorcion análoga á la que se produce en las manchas solares. Por lo tanto, si tuviere nuestro Sol por toda su superficie una capa absorbente como la que hay en las manchas, presentaria el aspecto de α de Orion y de las demás estrellas de igual clase.

Las estrellas de este tipo no son numerosas; las más notables son unas treinta, y contando las de se-

gundo orden hemos llegado á una centena. D'Arrest con su poderoso instrumento ha aumentado considerablemente el número de ellas. En el hemisferio austral las hay sin duda; una de ellas debe ser la estrella variable ζ del Navio, y tambien algunas otras rojas y amarillas; pero no hemos visto aun la representacion del espectro de ninguna de ellas. Para guia de los aficionados que deseen observar, insertamos á continuacion el catálogo de las más importantes. Los números de orden que ocupan el lugar de los nombres en algunos casos, son los números correspondientes en el catálogo de estrellas rojas de Schjellerup.

1	18.13	21.7	nova
2	8.28	21.10	Alcyon...
3	12.21	10.22	137
4	4.04	12.8	3 N. Reg...
5	10.30	13.37	161
6	10.30	13.37	161
7	10.30	13.37	161
8	10.30	13.37	161
9	10.30	13.37	161
10	10.30	13.37	161
11	10.30	13.37	161
12	10.30	13.37	161
13	10.30	13.37	161
14	10.30	13.37	161
15	10.30	13.37	161
16	10.30	13.37	161
17	10.30	13.37	161
18	10.30	13.37	161
19	10.30	13.37	161
20	10.30	13.37	161
21	10.30	13.37	161
22	10.30	13.37	161
23	10.30	13.37	161
24	10.30	13.37	161
25	10.30	13.37	161
26	10.30	13.37	161
27	10.30	13.37	161
28	10.30	13.37	161
29	10.30	13.37	161
30	10.30	13.37	161
31	10.30	13.37	161
32	10.30	13.37	161
33	10.30	13.37	161
34	10.30	13.37	161
35	10.30	13.37	161
36	10.30	13.37	161
37	10.30	13.37	161
38	10.30	13.37	161
39	10.30	13.37	161
40	10.30	13.37	161
41	10.30	13.37	161
42	10.30	13.37	161
43	10.30	13.37	161
44	10.30	13.37	161
45	10.30	13.37	161
46	10.30	13.37	161
47	10.30	13.37	161
48	10.30	13.37	161
49	10.30	13.37	161
50	10.30	13.37	161
51	10.30	13.37	161
52	10.30	13.37	161
53	10.30	13.37	161
54	10.30	13.37	161
55	10.30	13.37	161
56	10.30	13.37	161
57	10.30	13.37	161
58	10.30	13.37	161
59	10.30	13.37	161
60	10.30	13.37	161
61	10.30	13.37	161
62	10.30	13.37	161
63	10.30	13.37	161
64	10.30	13.37	161
65	10.30	13.37	161
66	10.30	13.37	161
67	10.30	13.37	161
68	10.30	13.37	161
69	10.30	13.37	161
70	10.30	13.37	161
71	10.30	13.37	161
72	10.30	13.37	161
73	10.30	13.37	161
74	10.30	13.37	161
75	10.30	13.37	161
76	10.30	13.37	161
77	10.30	13.37	161
78	10.30	13.37	161
79	10.30	13.37	161
80	10.30	13.37	161
81	10.30	13.37	161
82	10.30	13.37	161
83	10.30	13.37	161
84	10.30	13.37	161
85	10.30	13.37	161
86	10.30	13.37	161
87	10.30	13.37	161
88	10.30	13.37	161
89	10.30	13.37	161
90	10.30	13.37	161
91	10.30	13.37	161
92	10.30	13.37	161
93	10.30	13.37	161
94	10.30	13.37	161
95	10.30	13.37	161
96	10.30	13.37	161
97	10.30	13.37	161
98	10.30	13.37	161
99	10.30	13.37	161
100	10.30	13.37	161

Importa mucho notar en este catálogo, que las tres principales que aparecen, las colinas ocupan el mismo lugar en las estrellas de Schjellerup. Este catálogo por un gran número de maneras. Las tres principales son las del momento, el solido y el blanco, siendo á veces difusas por los bordes.

Catálogo de las principales estrellas del tercer tipo.

NOMBRES de las estrellas.	ASCENSION RECTA, 1870.	DECLINACION.	MAGNITUD.
	h m s	° ' "	
o Ballena..	2.12.47	+ 3.34,1	Variable.
α Ballena..	2.55.29	+ 3.34,5	Id.
ρ Perseo....	2.56.51	+38.15,1	Id.
Schjell 44.	4.45.11	+14. 2,0	5
46.	4.46.36	+ 2.16,7	5,5
59.	5.24.36	+18.29,7	5,5
α Orion.....	5.48. 9	+ 7.22,8	1 Variable.
67.	5.50.17	+45.55,3	5,6
120.	9. 2.50	+31.29,7	6
nova.	9.17 \pm	-21.42.....	1
α Hydra....	9.21.12	- 8. 5,8	
137.	10.53. 6	-15.39,4	6
δ Virgen...	12.48. 4	+ 4. 6,1	
160.	13.22.37	-22.36,4	Variable.
162.	13.43.13	+16,26,6	4
Arcturo....	14. 9.44	+19.52,0	1
178.	15.30.27	+15.32,0	7,5
Antares....	16.21.27	-26. 8,5	1
α Hércules	17. 8.43	+14.32,5	2 Variable.
nova.	18.14.40	+25. 2.....	6
234.	19.58.58	-27.35,7	7,5
254.	21.39.48	- 2.48,8	6,5
β Pegaso...	22.57.28	+27.22,7	2
266.	23.00.27	+ 8.42,4	5,5
267.	23.11.44	+48.18,3	

Importa mucho notar en este tercer tipo, que las rayas principales que separan las columnatas ocupan el mismo lugar en todas las estrellas. Este hecho ha sido comprobado por un gran número de mensuras. Las rayas más salientes son las del magnesio, el sodio y el hierro, siendo á veces difusas por los bordes,

como ocurre en las manchas solares. También se encuentran las rayas del hidrógeno, pero no aparecen dominantes como en los dos primeros tipos. Este gas existe, pues, en las estrellas de la tercera categoría, y fué un error negarlo; pero sus rayas aparecen invertidas parcialmente, como ocurre en el espectro de las manchas. La mayor parte de las rayas dominantes corresponden á metales que se encuentran en el Sol.

El espectro del tercer tipo es igual al del Sol, ó más bien al de Arturo, sin más diferencia que estar profundamente surcado por bandas nebulosas, debidas probablemente á óxidos, lo que hace creer será más baja que la del Sol la temperatura de estas estrellas. Dijimos: *ó más bien al de Arturo*, porque las rayas de éste son más anchas que las del Sol; si examinamos minuciosamente las líneas secundarias, veremos que la parte verde del espectro de Arturo se aparta del correspondiente al Sol y demás estrellas de este tipo, para acercarse al que ofrecen las del tercero; por esta causa lo hemos registrado en el catálogo anterior. Todas estas particularidades están mejor ó peor definidas según es más ó ménos roja la estrella, y cuando presenta decididamente este color, ofrece trazas de bandas, como Aldebaran. Notemos de paso, una vez más, que estas diferencias son precisamente las que observamos en los núcleos de las manchas; los espectros que al presente examinamos nos recuerdan los de las manchas solares; así nos creemos más y más autorizados para pensar que las estrellas del segundo tipo y las del tercero difieren entre sí solamente por el espesor de sus atmósferas, y por la continuidad ó discontinuidad de su fotosfera; podrán tener las estre-

llas de ámbos tipos manchas variables, como las del Sol; pero deben ser incomparablemente mayores, y aún es probable que estén completamente envueltas en unas atmosferas más absorbentes y ménos caldeadas.

El cuarto tipo es aún más extraordinario; no lo habíamos reconocido en un principio, porque comprende solamente unas estrellitas color de sangre, que son en poco número. Su aspecto, fig. 52, tiene tres zonas fundamentales: amarillo, verde y azul. Estas zonas no pueden reducirse al tipo precedente por la supresion alternativa de una banda nebulosa; porque, no obstante coincidir bastante bien algunas líneas oscuras, la distribucion de la luz es completamente distinta: presentan, además, algunas un indicio de zona roja, pero este color es muy oscuro y difícil de examinar (I).

En el tercer tipo, la luz es más brillante en las columnatas de la parte del rojo, mientras que en el tipo cuarto la luz es más viva del lado opuesto, ó sea del violado. Esta diferencia es fundamental, y parece como que uno de los espectros es el *negativo* del otro. Por esta causa, y para hacer más perceptible la diferencia, debajo de cada espectro hemos trazado unas curvas cuyas ordenadas representan las intensidades de la luz. Nótanse, además, líneas brillantes y muy vivas en algunos lugares. Estos espectros pueden variar

(1) Huggins marca, según él, un espectro distinto á las estrellas de este tipo: toda la diferencia está reducida á extender el rojo.

mucho unos de otros, siempre dentro del tipo, y podríamos multiplicar los ejemplos.

Las estrellas de este tipo no son muchas; nosotros hemos encontrado unas treinta, y damos un catálogo de las más notables. Como son todas pequeñísimas, es probable que se descubran bastantes más, empleando instrumentos de más potencia. D'Arrest, habiendo combinado estas investigaciones, ha encontrado efectivamente un cierto número. Puede verse sobre este asunto el catálogo de estrellas coloradas que hemos publicado en las *Memorias de la sociedad de espectroscopistas italianos*, año de 1876.

Catálogo de las principales estrellas del cuarto tipo.

NUMERO del catálogo de Schjellerup.	ASCENSION RECTA, 1870.	DECLINACION.	MAGNITUD y observaciones.
	h m s	°	
41	4.37.47	+67.56,0	6 Bella.
43	4.43.23	+28.18,0	8
51	4.58.41	+ 0.59,8	6
78	6.27.36	+38.32,8	6,5 Bella.
89	7. 1.59	-11.43,5	7,5
124	9.45. 4	-22.24,6	6,5
128	10. 6.12	-34.40,9	7
132	10.31. 9	-12.42,6	6 Bella.
136	10.45.18	-20.33,7	6,5
152	12.39. 1	+46. 9,0	6 Magnífica
159	13.19.52	-12. 1,8	7,5
163	13.47.39	+40.58,8	7
229	19.26.10	+76.18,1	6,5
238	20. 9.30	-21.42,9	6
249	21.26. 3	+51. 0,7	9
252	21.38.59	+37.16,0	8,5
273	32.39.45	+ 1.45,9	6 Bella.

Algunas de las rayas oscuras más importantes coinciden próximamente con las del tercer tipo; sin embargo, el espectro, en su conjunto, se asemeja más al directo de un cuerpo gaseoso que á un espectro de absorcion. Si se le considera como de esta última clase, veremos que ofrece los caractéres de los compuestos del carbon, tales como se obtienen haciendo saltar una série de chispas eléctricas en una mezcla de aire y vapores de benzina, y en el arco voltáico entre los carbones. Siendo las bandas difusas un carácter de los óxidos gaseosos, se seguiria de aqui que las estrellas del tercero y del cuarto tipo, siendo ricas en óxidos, tienen menor temperatura que las otras.

Sea de esto lo que fuere, otros trabajos posteriores daran á conocer la verdadera naturaleza de estas estrellas; hasta el dia no hemos hecho más que clasificarlas en varios grupos, segun las diferencias y conexiones que ofrecen los rayos luminosos que nos envian.

Ademas de estos cuatro tipos principales, hay grupos de estrellas que merecen una particular atencion: tal es el de la constelacion de Orion; corresponde al segundo tipo por la finura de sus líneas; pero al mismo tiempo es muy notable por la casi completa carencia de rojo y amarillo. Decimos *casi completa*, porque estos colores existen, pero su debilidad es manifiesta. Sin razon se ha dicho que nosotros habiamos negado la existencia del rojo en estas estrellas, y quizá Huggins haya sido inducido á este error por la manera demasiado absoluta que tiene de expresarse Schellen en su traduccion; de manera que todas las estrellas de esta region ofrecen dos caractéres:

1.º tienen un matiz verde muy pronunciado; 2.º son tan finas las rayas de sus espectros, que frecuentemente es difícil separarlas. Por el contrario, la región de la Ballena y la del Eridano encierran gran número de estrellas amarillas. Esta distribución no puede ser mera casualidad; depende sin duda de la naturaleza y el estado de las sustancias que ocupan las diversas partes del universo. Huggins acaba de descubrir que en ciertos grupos, como por ejemplo en la Osa mayor, la variación de lugar de las rayas, debida al movimiento propio de las estrellas, se verifica en un sentido para las del primer tipo, y en sentido contrario para la α , que es del segundo, lo que prueba la independencia de los sistemas y la conexión de sus miembros, como ya lo habíamos sospechado.

Hay una excepción muy singular formada por una quinta clase de estrellas, muy poco numerosa, que dan el espectro *directo* del hidrógeno. La más notable de entre ellas es la γ de Casiopea, que presenta dos líneas brillantes en el lugar de las rayas hidrogénicas F y C; las del violado son muy poco visibles para que puedan distinguirse. También hay en el amarillo otra raya brillante, que ocupa probablemente el lugar de la D_3 de las protuberancias solares; pero la determinación de esta raya es muy difícil de hacer con la exactitud necesaria.

El mismo carácter se presenta en la β de la Lira, estrella variable, muy difícil de estudiar. En fin, dos estrellas variables y temporeras han presentado también un espectro directo, pero discontinuo, lo que las distingue de las precedentes; una de ellas apareció en la Corona en 1866 ($\alpha = 45^{\text{h}}53^{\text{m}},9$; $\delta = +26^{\circ}18'$), la

otra es la **R** de los Gemelos ($\alpha=6^{\text{h}}58^{\text{m}},5$; $\delta=22^{\circ}53'$). Estas dos estrellas han presentado el espectro del hidrógeno dispuesto en zonas, mezclado con los de otras sustancias, entre las cuales se distinguía el magnesio. Su brillo era muy débil, y su duracion fué demasiado pequeña para poderla estudiar hasta obtener resultados más completos. La estrella temporera del Cisne (1) $\alpha=21^{\text{h}}36^{\text{m}}50^{\text{s}}$, $\delta=+42^{\circ}47'$, ha presentado un espectro semejante. Estos espectros acusan una combustion rápida que ocurrió sin duda en una época muy lejana, pero que se manifiesta tardamente á causa de la inmensa distancia que ha debido recorrer la luz para llegar á la Tierra.

Naturalmente se ha querido saber si Algol pertenece al mismo tipo de las demas estrellas variables, que generalmente son coloradas. La hemos estudiado cuidadosamente, y hemos visto que dá siempre un espectro del primer tipo, de manera que sus variaciones no dependen ni de absorcion mayor ó menor, ni de manchas más ó ménos grandes; sino probablemente de la interposicion de un cuerpo opaco que, girando alrededor de ella, produce eclipses parciales, segun indica la duracion de la ocultacion máxima, solo de algunos minutos, mientras que las fases de luz creciente duran unas cuatro horas, y el periodo entero unos tres dias.

(1) Descubierta por Schmidt, el 24 de Noviembre de 1876. (N. del T.)

§ III. ESPECTROS DE LAS NEBULOSAS.

El espectro de estas últimas estrellas ofrece alguna analogía con el de las nebulosas. Las resolubles, compuestas de una aglomeración de estrellas, tienen espectro sideral continuo. Las nebulosas propiamente tales forman dos clases: algunas, como las de Andrómeda y la Virgen, dan espectro continuo; pero la mayor parte no dan más que un pequeño número de rayas brillantes: tales son las nebulosas de Orion, el Sagitario, la Lira y todas las conocidas con el nombre de *planetarias*. El descubrimiento del espectro de estos singulares objetos, se debe á Huggins. Antes de conocer nosotros sus trabajos, habíamos revelado que el espectro de la nebulosa de Orion se reducía á tres rayas: una de ellas en el verde, ancha y brillante; otra más fina y muy próxima á la primera por la parte del violado, y por último, otra tercera, también hácia el mismo lugar y un poco más distante de la segunda. Comparando estas rayas con las de los gases, se nota que la última corresponde á la F del hidrógeno, y que la primera está muy próxima á una de las del nitrógeno, si no se confunde con ella. Como este último gas presenta varios espectros, se ha visto que, para obtener la coincidencia, es preciso iluminar el tubo de Geissler por la electricidad á alta tensión, lo que se obtiene introduciendo un condensador en el círculo de inducción. Sin embargo, las últimas investigaciones de Huggins y de Vogel prueban que la raya verde

del ázoe es doble en el gas y simple en la nebulosa, con una longitud de onda igual a 5.004. Vogel ha hallado también la tercera raya del hidrógeno $H\alpha$, de la que nosotros habíamos hallado trazas muy inseguras. Así vemos que la presencia del hidrógeno está fuera de duda, pero la del ázoe no está demostrada de igual manera.

Todas las nebulosas planetarias tienen el mismo espectro: la raya principal muy viva; las secundarias ménos luminosas. La sencillez de este espectro hace que sea fácilmente visible y que soporte la iluminación del campo del antejo, no obstante la debilidad de la nebulosa, concentrada como está toda su luz en muy pocas líneas. Una circunstancia hay que merece llamar nuestra atención. Algunas nebulosas planetarias parecen presentar puntos luminosos; tales son las de la Hidra ($\alpha=10^h18^m22^s$, $\delta=47^\circ55'50''$) y la del Sagitario ($\alpha=19^h36^m24^s$, $\delta=14^\circ28'52''$); y sin embargo dan espectros monocromáticos; prueba esto que la materia gaseosa de que están formadas, puede condensarse hasta tomar la apariencia de una estrella, sin llegar por esto á formar un cuerpo sólido é incandescente (1). Sin embargo, la nebulosa planetaria de Andrómeda, que realmente es una estrella, presenta los dos espectros superpuestos. La nebulosa anular de la

(1) Admitiendo las conclusiones del autor, referentes á la constitución del Sol, el hecho presente prueba, no solamente no haber en estas nebulosas cuerpos sólidos incandescentes, sino también no sufrir la materia gaseosa que las compone la presión necesaria para dar el espectro continuo. (N. del T).

Lira da tambien un espectro lineal, por más que parezca compuesta de puntos luminosos. Se ha dicho que de las observaciones de Bonel, hechas con el gran refractor de Cambridge (Estados-Unidos), resultaba descomponible la nebulosa de Orion; pero el espectróscopo nos enseña que es gaseosa. Las masas centrales no dan indicios de espectro continuo. Por el contrario, donde están las estrellas del *trapecio* se ven los dos espectros. Debemos inferir de aqui que estos puntos no son verdaderas estrellas, sino masas gaseosas más condensadas.

La teoria que hemos expuesto respecto á la formacion del Sol, en que se supone este astro formado por la condensacion sucesiva de una nebulosa, no habia sido admitida más que por simples inducciones; el descubrimiento de las nebulosas gaseosas ha venido á confirmarla, y podemos decirlo, á demostrarla; porque en la actualidad todo nos conduce á creer que estas nebulosas se trasformarán con el tiempo en estrellas, y que todos los astros que hoy brillan en el firmamento han tenido un origen semejante. Debemos consignar aqui que, para obtener artificialmente espectros análogos á los de algunas de estas nubes de materia cósmica, debemos recurrir á los medios de disociacion más eficaces que conocemos, por ejemplo, á la chispa eléctrica de induccion, reforzada por la interposicion de un condensador; verdaderamente esta materia debe estar en un grado extremo de disociacion, sin duda elemental. No estamos, sin embargo, seguros de conocer completamente su espectro; la distancia es muy grande, la luz débil, y nuestros instrumentos sobrado imperfectos.

Si una nebulosa se condensase por efecto de la atraccion que ejercen sus partes unas sobre otras, se comprende que este movimiento produciria una cantidad de calor comparable á aquella cuya existencia hemos reconocido en el Sol. Estas masas cósmicas ocupan espacios inmensos. La nebulosa de Orion en su parte más densa subtiende un arco de un grado, pero en toda su extension abarca cuatro grados. La de Argos es próximamente del mismo tamaño. A la otra parte del Sagitario vemos muchas superficies blancas, que dan rayas directas y deben ser nebulosas irresolubles. No es, pues, de extrañar que algunas de estas masas, moviéndose, atraviesen nuestro sistema planetario y acaben por entrar en nuestra atmósfera, dando origen á cometas ó á estrellas fugaces. Esta hipótesis está justificada por el espectro tan discontinuo que presentan los cometas.

El mundo crece ante nuestros ojos; el sistema solar no es ya más que un punto en el espacio. ¡Qué diferencia entre estas vastas concepciones y las que en otro tiempo limitaban el mundo á nuestro globo! Pero al hacer retroceder los límites del mundo, no disminuimos nuestra verdadera grandeza. Sin duda que parece muy poca cosa ante la inmensidad del Universo; pero mientras más crezca el mundo, más inteligencia es necesario para comprender sus maravillas, y más génio ha sido preciso para descubrirlas. Dios sólo puede comprender perfectamente su obra: dichoso el mortal que pueda formar de ella una idea bastante á poder admirar su inmensidad y su belleza.

§ IV. OJEADA SOBRE LA DISTRIBUCION DE LAS ESTRELLAS EN EL ESPACIO.

Están distribuidas las estrellas en grupos formando sistemas semejantes á aquel á que pertenemos. Las mismas leyes de la atraccion que producen y rigen los movimientos de estos apartados astros, presiden á la circulacion de los planetas alrededor del Sol. Los sistemas más sencillos constituyen estrellas dobles ó triples; son otros tantos soles acompañados de sus séquitos de planetas brillantes, que describen á su alrededor órbitas elípticas. Estos planetas no difieren de los de nuestro sistema mas que en un sólo punto: están aún incandescentes, y son por lo tanto luminosos por sí mismos; nos alumbran con su propia luz, no con un resplandor prestado, no con luz reflejada en sus superficies. Esta circunstancia nos permite verlos á tan grandes distancias, observar las posiciones que ocupan sucesivamente, y calcular las órbitas que describen.

Tendrán satélites oscuros? Natural es creerlo así. Las irregularidades observadas en el movimiento propio de Sirio han hecho sospechar durante mucho tiempo la existencia de un astro oscuro que girase alrededor de esta magnífica estrella. Últimamente ha sido descubierto este satélite, pero es luminoso por sí mismo, y su brillo iguala por lo menos al de una estrella de 6.^a magnitud; la causa de haber tardado en descubrirlo no es otra que la dificultad de percibir

la poca luz que nos envia, confundida casi siempre en los rayos de la estrella principal. Se ha creído tambien encontrar un satélite de Procyon, cuya existencia explicaria las irregularidades del movimiento propio de esta estrella; pero últimamente ha sido puesta en duda la realidad de este hecho.

Otra estrella, Algol (β de Perseo), prueba directamente la existencia de los satélites oscuros por las variaciones regulares que experimenta, las cuales no pueden ser debidas más que á ocultaciones parciales, producidas por un cuerpo opaco que pasa por entre nosotros y el astro luminoso. El periodo de estas variaciones es de $2^d 20^h 48^m 58^s$. Durante $2^d 3^h$ la luz es constante y la estrella figura entre las de $2.^a$ magnitud; despues comienza á debilitarse, y al cabo de $3^h 30^m$ queda reducida á menos de la $4.^a$ magnitud; permanece en este estado durante cinco ó seis minutos á lo más, y tarda en recobrar su brillo primitivo un tiempo igual al precedente, $3^h 30^m$. Estas variaciones son fenómenos en un todo semejantes á los eclipses; así se suponía hace largo tiempo, pero los últimos descubrimientos espectroscópicos han venido á dar la completa certidumbre, demostrando que las variaciones de esta estrella no pueden atribuirse, como se hace respecto á otras muchas, á cambios ocurridos en el poder absorbente de su atmósfera.

No basta que dos estrellas parezcan muy próximas para constituir lo que se designa más especialmente con el nombre de *estrella doble*: es necesario á más que estén realmente lo bastante próximas para que, influenciándose mutuamente por la gravitacion, formen un sistema aparte. Hasta la fecha solamente

hay unos quince sistemas (1) lo bastante bien conocidos para que se hayan podido determinar completamente sus revoluciones y calcular los elementos de sus órbitas; pero hay otros muchos más, respecto á los cuales puede afirmarse con seguridad la existencia de conexiones físicas. Así, de 1312 estrellas observadas por Struve, y examinadas en el Observatorio del Colegio Romano, se ha encontrado una tercera parte dotadas de movimiento angular relativo muy marcado. El número de sistemas binarios y terciarios conocidos irá creciendo con el tiempo, único elemento que falta actualmente á los astrónomos, y del cual no pueden disponer á su arbitrio. Apenas hace medio siglo que comenzaron á hacerse buenas observaciones sobre este asunto, y ya se ha visto hacer una revolución entera á algunos de estos soles (2). Hay otras estrellas que emplean más tiempo en hacer su revolución. La compañera de α del Centáuro tiene una órbita muy semejante á la del cometa de Halley. Como se conoce la distancia de esta estrella, ha sido posible calcular la masa del sistema, y se ha visto difiere poco de la del Sol.

Los sistemas binarios ofrecen dos particularida-

(1) A continuación señalamos algunas estrellas cuyo período es de los más cortos: η Cor. Bor. $42^{\text{a}}, 5$; ζ Hércules, $36^{\text{a}}, 4$; ζ Cáncer, 59^{a} ; ξ Osa Mayor, 63^{a} ; γ Cor. Aust. $55^{\text{a}}, 6$; ρ Ofinco; 30^{a} . (N. del T.)

(2) En las páginas 217 y 218 de *Le Stelle*, Milan 1878, inserta el P. Secchi un cuadro que contiene los elementos de las órbitas de 26 de estos sistemas.

(N. del T.)

des notables. Sus órbitas son generalmente muy alargadas, lo que puede dar alguna luz respecto á su modo de formacion; las dos estrellas son casi siempre de colores complementarios, lo que indica diferencia de temperaturas y de estado de condensacion.

Ademas de estos sistemas relativamente sencillos, hay unas aglomeraciones globulares, designadas en inglés con el nombre de *clusters*, (1) compuestas de una multitud verdaderamente innumerable de estrellitas, cuya densidad crece hácia el centro de un modo prodigioso, sin que por esto sean los astros nebulosos, ni dejen de ser distintos los individuos, como prueba el espectróscopo. Es de notar que los más bellos grupos globulares se encuentran en la zona de las estrellas mayores. Parece como que ocupan el lugar de algunos de estos grandes astros más próximos á nuestro sistema.

En fin, es imposible desconocer, en ciertos grupos de estrellas que hay en el cielo, la existencia de sistemas formados por astros ligados físicamente entre sí; tales son, por ejemplo, las Pléyadas, el grupo de Cáncer, el de Perseo; ciertos espacios nebulosos muy vastos, como la Cabellera de Berenice, las nubes de Magallanes, y sobre todo, la vía láctea.

No podemos conocer detalladamente la disposicion de estos grupos, ni determinar el centro alrededor del cual verifican sus movimientos, porque para esto necesitaríamos poseer los resultados de largas observaciones, que no se han hecho. En cuanto á la region

(1) Racimos ó grupos.

(N. del T.)

más próxima á nosotros, formada por la via láctea, podemos sondar su profundidad en distintas direcciones, y formarnos una idea bastante exacta de la disposicion en que estan agrupadas en ella las estrellas. En verdad, es imposible resolver esta cuestion directamente, y áun valuar la distancia de las estrellas en unidades cōnocidas; pero podemos alcanzar cierta aproximacion, mediante un cálculo de medias, fundado sobre la teoria de las probabilidades.

Las estrellas, salvo muy pocas excepciones, no tienen paralaje apreciable, de donde se sigue que, vista la distancia á que se encuentran, su luz tarda por término medio treinta años como mínimo en llegar hasta nosotros. (1) Debemos, pues, renunciar á medir sus distancias absolutas y contentarnos con apreciar sus distancias relativas.

Pueden emplearse tres medios para valuar estas distancias relativas: se puede, desde luego, medir la intensidad de la luz que nos envian, lo que constituye el método *fotométrico*; se puede tambien estudiar la relacion que existe entre sus movimientos propios, y por último, puede basarse un cálculo en el número de estrellas que contienen las clases sucesivas. Siendo independientes unos de otros estos tres medios, y estando fundados sobre leyes geométricas distintas, si conducen á resultados análogos, tendremos una ra-

(1) A continuacion insertamos una lista de las paralajes probables correspondientes á ciertas estrellas, advirtiéndole que las menores 0,2" merecen poca confianza. La asignada á α Centáuro quizá sea un poco grande.

zon muy poderosa para creer en la exactitud de los mismos.

NOMBRES Y MAGNITUDES de las estrellas.	Paralajes anuales.	Distancias, siendo 1 la del Sol á la Tierra.	Número de años que tarda la luz en llegar hasta nosotros.
α Centáuro (1 á 4)	"	222300	3,5
61 Cisne ($5 \frac{1}{2}$ á 6)	0,553	373300	5,9
Lalande, 21185 ($7 \frac{1}{2}$)	0,501	411700	6,5
β Centáuro (1)	0,470	439100	6,9
μ Casiopea ($5 \frac{1}{2}$)	0,342	603100	9,5
Groombridge, 34 ($8 \frac{1}{2}$)	0,307	671900	10,6
La Cabra (1)	0,305	676300	10,7
Lalande, 21258 ($8 \frac{1}{2}$)	0,271	761400	12,0
OEltzen, 17415 ($8 \frac{1}{2}$)	0,247	835100	13,2
σ Dragon (5)	0,246	838500	13,2
Sirio (1)	0,193	1069100	16,9
α Lira (1)	0,180	1146000	18,0
70 Ofiuco ($4 \frac{1}{2}$)	0,162	1273000	20,1
η Cassiopea ($4 \frac{1}{2}$ á 7)	0,154	1339000	21,1
Procyon (1)	0,123	1677000	26,5
Groombridge, 1830 ($6 \frac{1}{2}$)	0,118	1748000	27,6
Polar (2)	0,091	2267000	35,7

La valuacion de distancias por el método fotométrico se funda en dos principios: 1.º las estrellas no pueden estar todas á la misma distancia de nosotros; 2.º las más distantes deben por esta sola circunstancia parecer más pequeñas. Estos dos principios nos conducirían á la apreciacion directa y segura de las distancias relativas si pudiésemos afirmar que todas las estrellas tienen una luz intrínseca igual, pero esta

última asercion ni está probada ni es probable. Debemos, pues, tratar el problema por los métodos del cálculo de probabilidades. Los resultados á que llegaremos seran ciertos para la inmensa mayoría de las estrellas, aunque puedan faltar para algunas; porque, en las medias, las excepciones en un sentido anulan las del sentido contrario. Supongamos, por ejemplo, que dos estrellas parecen ser de igual magnitud siendo realmente desiguales; pues bien, á la mayor atribuimos una distancia demasiado corta y á la menor otra demasiado larga, verificándose así la compensacion.

Antes de abordar la cuestion en sí misma han tenido los astrónomos que resolver el siguiente problema: *Dada una estrella de una magnitud determinada, en cuanto debe aumentar su distancia para que la luz disminuya una unidad en el orden de las magnitudes?*

La clasificacion que se encuentra en todos los Catálogos es por completo arbitraria y puramente convencional; así no es posible deducir nada mientras no se haya medido el poder luminoso de cada orden, determinado la ley física contenida en esta clasificacion arbitraria, y expresado numéricamente la intensidad luminosa que caracteriza á cada magnitud. Empleando métodos fotométricos ingeniosísimos, han llegado los astrónomos á la siguiente conclusion: por término medio, la relacion entre las intensidades luminosas de las estrellas de magnitudes sucesivas es igual á 2,42. Exceptúanse las de 1.^a y 2.^a, entre las cuales la relacion se eleva á 3,75. Tomando como valor medio el de 2,42, al cual corresponde 1,55 como

relacion de distancia, se ha podido calcular el valor relativo de aquellas distancias á que debería colocarse una estrella de 1.^a magnitud para aparecer como de 2.^a, 3.^a, etc. Los resultados de este cálculo estan con-signados en el cuadro siguiente:

Magnitudes.	Distancias.	Magnitudes.	Distancias.
1	1,00	9	34,30
2	1,55	10	53,36
3	2,42	11	83,00
4	3,76	12	129,12
5	5,86	13	200,90
6	9,11	14	312,50
7	14,17	15	486,10
8	22,01	16	756,20

La magnitud 16.^a contiene las estrellas más pequeñas visibles con el gran telescopio de Herschel, el cual, en buenas condiciones de bruñido, con su luz de 48 pulgadas (43 centímetros), equivale en *fuerza penetrante* á un refractor de Merz de 25 centímetros de diámetro.

Procuremos dar una idea de las distancias absolutas de las estrellas. Suponiendo uno de estos astros lo bastante lejano para que su luz tarde diez años en llegar hasta nosotros, su paralaje estaria representada por un tercio de segundo, cantidad demasiado grande sin duda aún para las estrellas de 1.^a magnitud. Partiendo de tal supuesto, las estrellas más pequeñas, visibles en nuestro refractor, estarian situadas á tan grande distancia que su luz tardaria siete mil quinientos setenta años en llegar hasta nosotros. En el reflector de lord Rosse el limite de las distancias estaria representado por 2090 unidades, y en re-

correr esta distancia emplearia la luz veinte mil novecientos años.

Tambien se ha tratado de determinar la distancia relativa de las estrellas de las distintas magnitudes segun la amplitud de sus movimientos propios. Struve ha hecho sobre este asunto un trabajo notabilisimo, del cual tomamos los resultados siguientes:

MAGNITUD de las estrellas.	MOVIMIENTO PROPIO EN 100 AÑOS.			
	ESTRELLAS SIMPLES.		ESTRELLAS DOBLES	
	En	En	En	En
	ascension recta.	declinacion.	ascension recta.	declinacion.
1	34,2	29,0	55,5	47,9
2	18,2	16,1	30,8	26,1
3	12,2	10,5	20,1	17,0
4	8,7	7,4	14,4	12,0
5	6,3	5,3	10,2	8,6
6	3,7	3,1	6,0	5,1
7	2,2	1,8	3,5	3,0
8	1,4	1,2	2,3	2,0
9	1,0	0,9	1,7	1,5

Este cuadro pone de manifiesto la singular circunstancia de ser más pronunciados los movimientos propios en las estrellas dobles. La causa de esto debe ser la mayor impulsión recibida por estos sistemas en su origen, impulsión que les obligó á dividirse en partes.

Como los movimientos aparentes estan en razon inversa del cuadrado de las distancias, se podrá cal-

cular la distancia relativa de las estrellas tomando como unidad la de las estrellas de primera magnitud.

El siguiente cuadro contiene la comparacion entre los resultados obtenidos por el estudio de los movimientos propios y los hallados por el método fotométrico.

MAGNITUD de las estrellas.	DISTANCIAS CALCULADAS		
	SEGUN LOS MOVIMIENTOS PROPIOS		Por la fotometria.
	Estrellas simples.	Estrellas dobles.	
1	1,0	1,0	1,0
2	1,3	1,4	1,5
3	2,1	2,0	2,4
4	3,6	3,2	3,7
5	6,1	5,9	5,8
6	8,5	8,2	9,1
7	12,0	11,6	14,2
8	17,9	17,8	22,0
9	33,3	31,8	34,3

Del exámen de este cuadro resulta que las progresiones son semejantes en extremo, y no debiéramos esperar mayor concordancia entre elementos tan diferentes. No hay completa seguridad respecto á los valores de los movimientos propios en las tres últimas clases, lo que explica las diferencias algo mayores que se notan en sus resultados.

El tercer medio de valuar las distancias relativas consiste en el cuento de las estrellas que forman las clases sucesivas. Pero aquí debemos tener en cuenta

su distribucion en las diferentes partes del firmamento; porque es necesario distinguir entre la distribucion real y la distribucion aparente.

Cuando queremos deducir la distribucion real de la aparente, abandonamos el dominio de la observacion para entrar forzosamente en el de las hipótesis. Ahora bien, hay dos maneras de concebir la distribucion real, segun lo que la observacion nos enseña: 1.^a puede suponerse que si vemos más estrellas en una direccion que en otra, es sólo debido á su mayor ó menor condensacion, permaneciendo constante la profundidad de la capa explorada; 2.^a puede admitirse, por el contrario, que la capa es más profunda en unas direcciones que en otras, siendo en todas la densidad constante.

La resolucion de este problema exige el conocimiento prévio de la distribucion de las estrellas pequeños en el cielo. Este trabajo ha sido hecho por los dos Herschel, William en el hemisfério Norte, y Jhon en el Sur. Es absolutamente imposible que un hombre solo ejecute este recuento; exige más de un siglo de trabajo constante. Para llegar á obtener un resultado, sustituyó W. Herschel á la enumeracion continua el procedimiento de las sondas ó aforos (*star gauges*) distribuidos en el cielo de un modo uniforme. Esta operacion consistió en contar las estrellas visibles en un reflector de 18 pulgadas, al cual se habia adaptado un ocular que le daba un campo de vision igual á 45 minutos. Estas sondas dieron resultados extraordinariamente distintos. En algunos lugares, cerca del polo de la Via láctea, se contaban tres ó cuatro estrellas en cada observacion, mientras que en la

Vía láctea misma, el número llegó á elevarse hasta 588.

Discutiendo estas observaciones se ha llegado á sentar algunas conclusiones generales, que vamos á exponer brevemente.

1.^a El número de las estrellas crece á medida que nos acercamos á la Vía láctea: el máximo se halla en el plano de esta nebulosa; el mínimo en sus polos.

2.^a En la misma Vía láctea, es mayor la acumulacion en los puntos inmediatos al Águila (18^b de ascension recta), que en la proximidad del Toro (6^b). En una parte el máximo es de 557, y en la otra sólo de 204.

3.^a La densidad aparente disminuye con gran rapidez alejándose de la Vía láctea. A una distancia de 2 grados es muy considerable; á 45 grados el mínimo de estrellas correspondientes á una *sonda* baja á 56; á los 30 grados ya es de 17; á los 45 solo de 10; y entre 60 y 70 grados no se encuentran más que 6 ó 4 estrellas.

4.^a Calculando segun estas sondas el número de estrellas visibles en el telescopio de Herschel, se halla el número 20.374,034. Con el refractor de Washington, que tiene 26 pulgadas, el número sería de 30 millones.

Estos resultados, confirmados por los trabajos de varios astrónomos, permiten establecer con bastantes probabilidades la ley de la distribucion real de las estrellas en el espacio. Ya hemos dicho que hay dos hipótesis posibles. A fin de ver cual de ámbas es la verdadera, se ha calculado de dos modos distintos el rá-

dio de la esfera en que deben estar comprendidas las estrellas de cada magnitud. En el primer cálculo se ha supuesto la distribución uniforme; en el segundo variable. Comparando los números así obtenidos con los valores hallados por los otros métodos precedentes, se podrá ver cuál hipótesis dá resultados más concordantes con los ya encontrados. Hé aquí en donde estan reasumidos estos cálculos:

MAGNITUD de las estrellas.	DISTANCIAS CALCULADAS		
	En el supuesto de una distancia uniforme	Suponiendo variable la densidad	Procedimiento fotométrico
1	1,00	1,00	1,00
2	1,46	1,80	1,55
3	2,13	2,76	2,42
4	2,91	3,90	3,76
5	3,98	5,45	5,86
6	5,46	9,28	9,11
7	8,58	15,78	14,17
8	13,44	23,86	22,04
9	20,38	33,40	34,30
14 (Herschel)	98,00	180,40	312,00

Vemos aquí que, con respecto á las estrellas mayores, los resultados obtenidos en la hipótesis de la distribución uniforme, no ofrecen nada de particular; pero á partir de la 4.^a magnitud vá creciendo la divergencia y haciéndose cada vez mayor hasta llegar á ser enorme en las últimas clases. No ocurre lo propio con

los números calculados bajo la otra hipótesis, como puede verse comparando las dos últimas columnas. La consecuencia que podemos sacar de esto legítimamente es, que la capa sidereal no solamente parece poseer, sino que realmente posee, mayor densidad en la Vía láctea que en el resto del cielo.

Nuestro Sol no está colocado en medio del estrato que constituye la Vía láctea; su posición es muy excéntrica. No trazando la Vía láctea un círculo máximo en la esfera celeste, resulta que nos hallamos á unos 4 grados próximamente de su plano medio. Además de esto, la proyección del Sol sobre este plano está lejos de ocupar el medio de la Vía láctea; de donde resulta que, en el Sagitario y en el Aguila, la densidad aparente de la capa sidérea es mucho mayor que en el otro extremo del diámetro. En la parte del Sagitario es absolutamente insondable la Vía láctea; el fondo del cielo está formado por un verdadero polvo de estrellas, y en el campo de los más poderosos instrumentos este polvo aparece proyectado sobre un fondo blanco. Este fondo blanco puede estar compuesto en parte de materia nebulosa; pero, como esta materia posee de necesidad un cierto poder absorbente, debe, sin duda alguna, detener muchos rayos luminosos, é impedirnos ver un gran número de estrellas más distantes.

En vista de estas consideraciones, preciso nos será convenir en que la profundidad de los cielos es insondable, y que jamás conoceremos sus límites. Probable es que la reunión de estrellas grandes que rodean á nuestro Sol, no sea más que uno de los grupos que constituyen la Vía láctea, y que visto desde

alguna distancia, no nos pareciese más que una mancha más blanca en la misma Vía láctea.

Al llegar á este limite sentimos confundida nuestra imaginacion. En vano procurariamos acumular comparacion sobre comparacion para dar una idea de esta inmensidad. Podemos aglomerar cifras, multiplicar los ceros y, para abreviar, expresar estas distancias por números afectados de exponentes; no será por eso ménos impenetrable el abismo. ¿Qué hemos de decir de estos inmensos espacios y de los astros que los ocupan? ¿Qué pensar de esas estrellas que sin duda son, como nuestro Sol, centros de luz, de calor y de actividad, destinadas como él á sostener la vida de una multitud de criaturas de todas clases? Por nuestra parte creemos absurdo considerar tan vastas regiones como desiertos inhabitados; deben estar pobladas de seres inteligentes y racionales, capaces de conocer, honrar y amar á su Creador; y quizá los habitantes de esos astros sean más fieles que nosotros á los deberes que el reconocimiento les impone hácia Aquel que los sacó de la nada: tal vez, y así lo creemos, no haya entre ellos de esos infortunados seres que cifran su orgullo en negar la existencia y la inteligencia de Aquel á quien deben la suya propia y la facultad de admirar tantas maravillas.

CONCLUSION.

El largo camino que venimos recorriendo toca á su término. Al estudiar los fenómenos que nos presenta el Sol, hemos reconocido la constitucion física

de este astro luminoso y la naturaleza química de las sustancias que lo componen; hemos también hallado señales de su modo de formación, y hemos podido entrever hasta cierto punto el lugar que ocupa en el universo.

Este globo inflamado, origen de la vida y causa del movimiento de los planetas, ha sido en otro tiempo una masa nebulosa, semejante á las que hoy vemos en las profundidades del cielo.

Esta masa, al enfriarse, ha dado origen á los planetas y á sus satélites. Conserva todavía en su seno una parte del calor que debió resultar de su condensación y de la caída de sus diferentes partículas, que viniendo desde los puntos más apartados de sus dominios, han obedecido á la ley de atracción, cayendo hácia su centro.

Esta enorme masa, pasando por las fases de enfriamiento ya recorridas por los planetas que le rodean, podrá algún día verse completamente despojada del esplendoroso brillo que hoy posee; pero pasaran millones y millones de siglos ántes que llegue á ser incapaz de mantener la fuerza y la vida alrededor de sí. ¿Habrá alguna causa cuya acción deba entonces restablecer las cosas en su estado primitivo? No podríamos decirlo. No siempre ha existido el mundo, y nada prueba que deba existir siempre.

Hemos visto que el Sol debe estar constituido en su mayor parte por gases. Esto explica los fenómenos que observamos en la superficie. La parte que por su exterior rradia hácia los espacios planetarios, se renueva constantemente en virtud de una circulación interior muy complicada. En esta capa se realizan

grandes operaciones químicas, físicas y mecánicas. Masas enormes de gases metálicos salen del interior en forma de erupciones y dan origen á las manchas, por ser más oscuras y más absorbentes, interceptando la mayor parte de los rayos luminosos procedentes de la fotosfera gaseosa y completamente disociada.

Sobre la capa luminosa que constituye el límite aparente del astro, se extiende una atmósfera formada de vapores transparentes, que se elevan, según sus pesos específicos, á diferentes alturas. Entre todas estas sustancias, una de las menos densas es el hidrógeno; así se eleva considerablemente formando columnas y nubes, que constituyen las protuberancias rojas observadas alrededor del Sol durante los eclipses. Entre las materias eruptivas que forman las manchas, abundan principalmente el sódio, el magnésio, el hierro y el calcio.

Esta atmósfera del Sol, ordinariamente invisible, salvo en los eclipses, es muy vasta; se extiende á una distancia bastante mayor que el radio solar; es de forma comprimida, teniendo menos elevación en los polos que en el Ecuador. En las regiones ecuatoriales, y sobre todo en aquella en donde se presentan las manchas, se nota más actividad que en los polos, actividad que se manifiesta en el mayor brillo, y también en la mayor altura de la atmósfera.

Al revelarnos el espectróscopo la composición química del Sol, nos ha hecho saber que las sustancias que lo forman son idénticas á las que constituyen los cuerpos terrestres, (1) iguales también á las halladas

(1) Draper, de Nueva York, ha descubierto la exis-

en los otros sistemas siderales. Pero aún nos falta mucho para conocer la naturaleza de todas estas sustancias.

Tales son, en resúmen, los conocimientos que poseemos respecto al luminar del día. Son asaz incompletos, es cierto; sin embargo, si consideramos la rapidez con que se han sucedido los descubrimientos, nos enorgulleceremos de pertenecer á una generacion que ella sola ha avanzado más en esta via que todas las generaciones que le han precedido. La última palabra no ha sido dicha; pero es de esperar que los descubrimientos futuros, léjos de destruir ninguna de las partes del edificio levantado, continuaran el trabajo pendiente, y completaran y resolveran los muchos problemas cuyos enunciados hemos señalado en esta obra. La observacion constante y los experimentos hábilmente dirigidos á la comprobacion de las hipótesis y de las teorías, acabaran por esclarecer cuánto hay aún dudoso ó incierto.

Mucho nos queda aún por conocer, porque las maravillas de la naturaleza no tienen término; cuando se ha creído llegar al fin, nos encontramos en el principio, y la misma historia del Sol ofrece un ejemplo bien patente de esta verdad.

El asunto sería más vasto aún y más inagotable, si

tencia del oxígeno en el Sol, pero manifestándose por una zona luminosa, según indica la fotografía; de donde se infiere que la D_3 del amarillo no es un fenómeno aislado, y que la ley de la absorcion tiene excepciones. Este nuevo descubrimiento quizá dé origen al de algun otro gas.

(N. del T.)

nos decidiésemos á ocuparnos de las maravillosas influencias que este astro benéfico ejerce sobre la Tierra, puesto que sus rayos, dotados del poder de iluminar, de calentar y de actuar sobre las moléculas de los cuerpos, son la causa primera de donde fluye, sobre todos los planetas, la fuerza y la vida. Cuando nos limitamos á considerar el Sol como el centro geométrico de las órbitas descritas por los planetas, nos formamos una idea bien pobre de su accion en el mundo y de su importancia en la creacion. Pero al considerar su influencia física, química y fisiológica, nos hallamos ante una multitud de cuestiones misteriosas y de problemas no resueltos, cuyo estudio bastará sin duda á ocupar la actividad de bastantes generaciones. Las fuerzas que pone en juego son de orden más elevado que la atraccion misma, y su naturaleza íntima nos es tan desconocida como la causa primera de la gravitacion. No hemos podido entrar en el estudio especial de estas relaciones, pero tampoco debiamos prescindir de ellas por completo. La naturaleza de esta obra apenas nos ha permitido consagrarles algunas palabras; quizá algun día podamos tratar estas cuestiones más séria y más profundamente.

FIN DE LA SEGUNDA Y ÚLTIMA PARTE.

Fig. 49. (1^{er} tipo: *Sirio, Vega, etc.*)

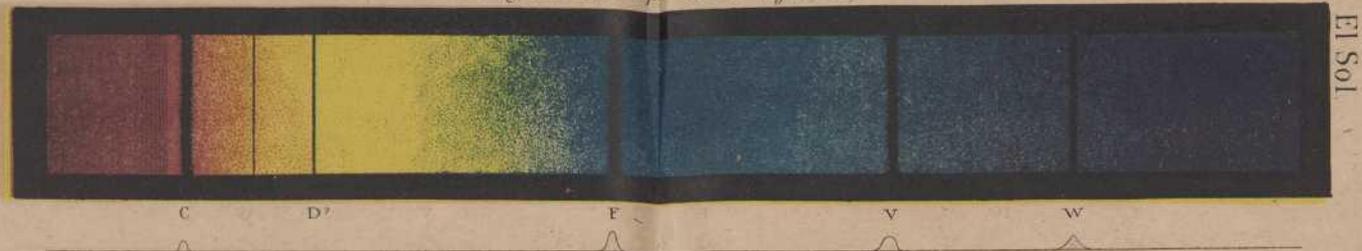


Fig. 50. (2^o tipo: *Sol, Polux, etc.*)

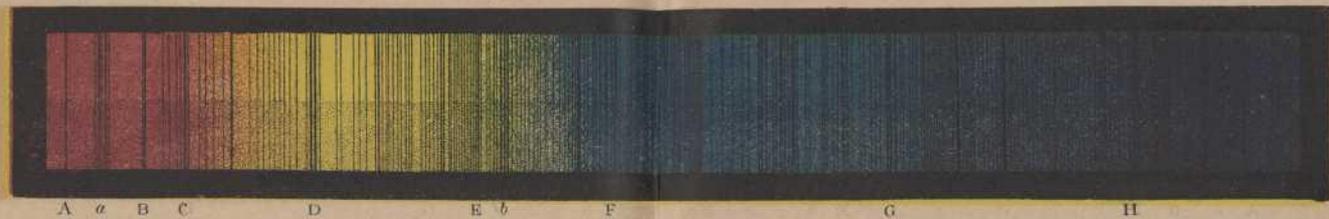


Fig. 51. (3^{er} tipo: *α Hercules, β Pegase, etc.*)

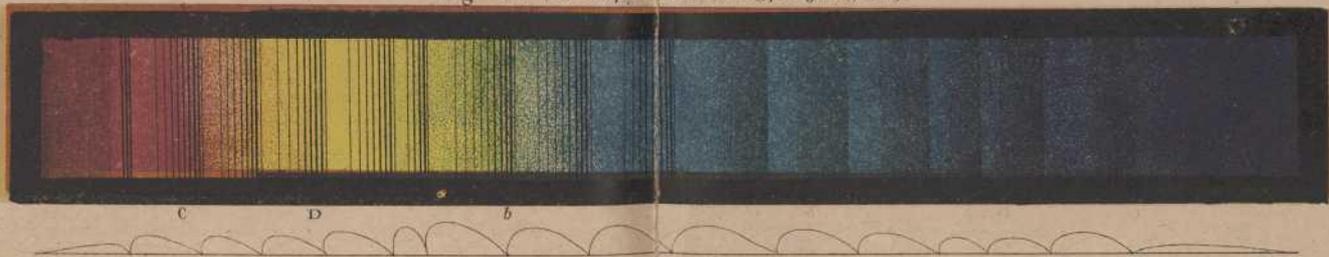
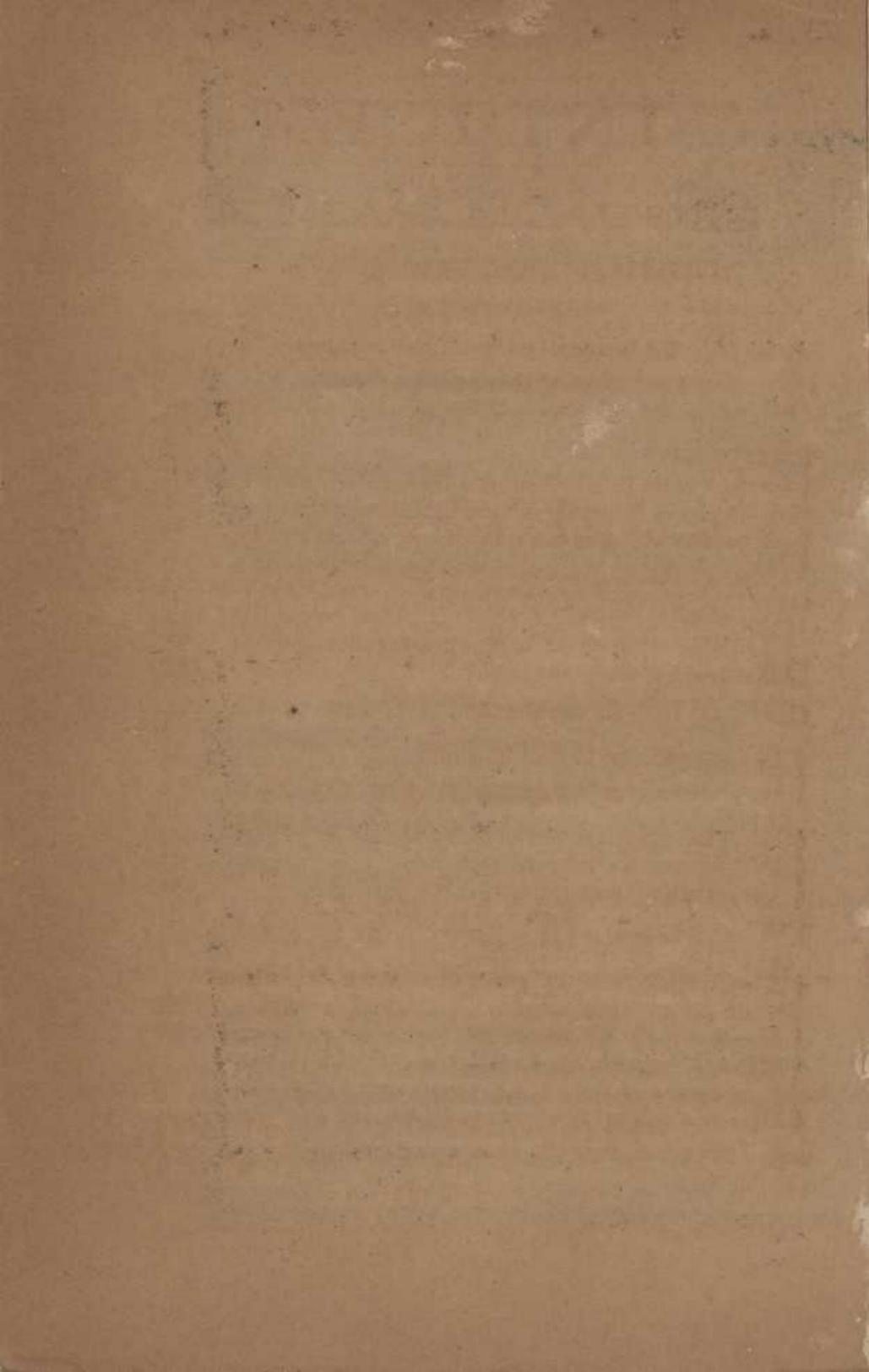


Fig. 52. (4^{to} tipo: *152 de Schjellerup*)





ÍNDICE.

SEGUNDA PARTE.

Estructura del Sol (continuacion)—Actividad exterior.

LIBRO QUINTO.

De las protuberancias solares.

CAPÍTULO I.

Páginas.

INTRODUCCION.	5
§ I.—Observaciones de las protuberancias hechas con poca abertura en la mira.	8
§ II.—Primeros resultados de las observaciones.	13
§ III.—Observaciones hechas con la mira ensanchada	15
§ IV.—Reflexiones teóricas sobre las precedentes instrucciones prácticas.	18
§ I V.—Mensura de las protuberancias	26

CAPÍTULO II.—CLASIFICACION DE LAS PROTUBERANCIAS.

§ I.—Aspecto de la cromoesfera	32
§ II.—Clasificacion de las protuberancias segun sus formas.	39
§ III.—De las formas simples.	43
§ IV.—Figuras compuestas.	49
§ V.—Nubes suspendidas.	51

CAPÍTULO III.—ERUPCIONES SOLARES.

§ I.—Consideraciones generales sobre la forma de las protuberancias.	53
§ II.—De las erupciones solares.	56
§ III.—Conclusiones resultantes de las observaciones anteriores.	65
§ IV.—Velocidad de formacion de las protuberancias	74

§ V.—Comparacion entre las formas de las protuberancias observadas en los eclipses y al espectróscopo	79
CAPÍTULO IV.—ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS PROTUBERANCIAS OBSERVADAS INDEPENDIENTEMENTE DE LOS ECLIPSES.	
§ I.—Rayas observadas en las protuberancias.	83
Catálogo de las rayas invertidas, observadas en el espectro solar	90
§ II.—Pormenores sobre la inversion de las rayas espectrales	93
§ III.—De algunas particularidades de las rayas espectrales	99
§ IV.—Conclusiones que resultan de las particularidades señaladas en el párrafo precedente.	103
§ V.—De los cambios de refrangibilidad observados en las rayas.	113
§ VI.—Explicacion de los fenómenos descritos en el párrafo anterior.	116
CAPÍTULO V.—DISTRIBUCION DE LAS PROTUBERANCIAS.	
§ I.—Historia	125
§ II.—Método de observacion	129
§ III.—Distribucion de las protuberancias.—Resultados obtenidos.—Números relativos.	138
§ IV.—Distribucion de las protuberancias por las latitudes heliográficas.	141
§ V.—Relaciones entre la altura de las protuberancias y sus latitudes.	149
§ VI.—Extension de las protuberancias en latitud y en longitud.	152
§ VII.—Extension general ó superficie de las protuberancias.	154
§ VIII.—Relacion entre las protuberancias y las fáculas.	155
§ IX.—Direccion de las protuberancias.	159
Cuadros resúmen de los resultados de las observaciones.	166
CAPÍTULO VI.—RELACIONES EXISTENTES ENTRE LAS MANCHAS, LAS PROTUBERANCIAS Y EL DIÁMETRO SOLAR.	
§ I.—Exposicion de hechos.	180

§ II.—Teoría de las manchas solares.	190
§ III.—Discusion de algunas otras teorías de las manchas.	213
§ IV.—De las variaciones del diámetro solar.	220
§ V.—Conclusiones generales.	234

LIBRO SEXTO.

Temperatura del Sol.

CAPÍTULO I.—VALUACION DE LA TEMPERATURA DEL SOL.

§ I.—INTRODUCCION.	238
§ II.—Mensura de la radiacion solar.	244
§ III.—Discusion de los resultados obtenidos por otros físicos.	253

CAPÍTULO II.—ORÍGEN Y CONSERVACION DEL CALOR SOLAR.

§ I.—Cantidad absoluta de calor emitida por el Sol.	269
§ II.—De la pérdida de calor que experimenta el Sol.	275
§ III.—Manantiales de calor exteriores al Sol.	282
§ IV.—Orígen del calor solar	289
§ V.—De otras causas de constancia de la temperatura solar.	293

CAPÍTULO III.—DE ALGUNOS FENÓMENOS DEPENDIENTES DE LA CONSTITUCION FÍSICA DEL SOL.

§ I.—Circulacion de la masa flúida que compone el Sol.	302
§ II.—Constitucion de la superficie visible del Sol.	306
§ III.—Variaciones de las envolventes solares.	310
§ IV.—Resúmen.	312

LIBRO SÉTIMO.

Actividad exterior del Sol.

CAPÍTULO I.—DE LAS RADIACIONES	321
§ I.—Influencia de las radiaciones en el universo.	321
§ II.—Distincion de las radiaciones	325
§ III.—Radiacion luminosa.	330

	Página.
§ IV.—Radiaciones térmicas	336
§ V.—Acción química de los rayos solares.	345
§ VI.—Actividad magnética del Sol.	349

CAPÍTULO II.—MAGNITUD DEL SISTEMA SOLAR.

§ I.—Determinación de la distancia de los cuerpos celestes.. . . .	364
§ II.—Mensura de la distancia del Sol á la Tierra.	368
§ III.—Paralaje solar deducida de las observaciones de Venus.	376
§ IV.—Confirmación del nuevo valor de la paralaje solar.	395

CAPÍTULO III.—EL SOL CENTRO DE FUERZA.

GRAVITACION.	398
§ I.—Formación del sistema planetario.. . . .	399
§ II.—De los planetas.	410

CAPÍTULO IV.—COMETAS Y ESTRELLAS FUGACES.

§ I.—De los cometas.	426
§ II.—De las estrellas fugaces.. . . .	436
§ III.—De la luz zodiacal	449

LIBRO OCTAVO.

De los soles ó estrellas.

CAPÍTULO ÚNICO.

§ I.—El Sol y las estrellas.	455
§ II.—Relaciones de composición entre los soles. —Espectros estelares.	460
§ III.—Espectros de las nebulosas.	481
§ IV.—Ojeada sobre la distribución de las estrellas en el espacio.. . . .	485
CONCLUSION.	499

COLOCACION DE LAS FIGURAS.

		Páginas.
Figura	35	Espectróscopo. 19
»	36	Contorno del Sol observado el 23 de Julio de 1871. 41
»	37	Nube observada el 25 de Agosto de 1872. 52
»	38	Erupcion observada el 22 de Octubre de 1872. 61
»	39	Aspecto sinuoso de la raya C. 113
»	40	Cambio de posicion de las rayas en el espectro segun sus velocidades. 120
»	41	Curvas que representan el número de protuberancias observadas sobre el limbo solar. 145
»	42	Representacion del diámetro horizontal y del vertical. 227
»	43	Intensidades de las radiaciones luminosas. 327
»	44	Determinacion de la paralaje solar. 380
»	45	Aberracion de las estrellas. 396
»	46	Magnitud-relativa de los cuerpos de nuestro sistema solar. 410
»	47	Surtidor luminoso observado en 1862. 430
»	48	Superposicion de espectros. »
»	49	Espectro del primer tipo de estrellas. 504
»	50	Espectro del segundo tipo de estrellas. »
»	51	Espectro del tercer tipo de estrellas. »
»	52	Espectro del cuarto tipo de estrellas. »

ERRATAS.

Página.	Línea	Dice	Debe decir
121		La primera linea de esta página debe ocupar el primer lugar de la página 120.	
152	1	Estudio	Extension
420	16	aspecto	espectro
428	25	decimétrica	disimétrica
435	18	continuo; para	desconocido; parece

BIBLIOTECA CIENTÍFICO-LITERARIA

CONDICIONES DE SUSCRICION

1.^a Esta Biblioteca publica, cada mes, un tomo en cuarto menor de 300 á 600 páginas, alternando sus dos secciones; pero sin que se interrumpa nunca la obra comenzada.

2.^a El precio de suscripcion es de 30 reales en toda España por trimestres adelantados; en Ultramar de 240 por un año.

3.^a Las suscripciones se admiten en la Administracion de esta Biblioteca, Lerena, 8.

OBRAS PUBLICADAS

Flores de Invierno.—Cuentos, Leyendas y Costumbres populares, Artículos, por Federico de Castro, Ex-Rector y Catedrático de la Universidad de Sevilla.—Un tomo, 14 rs.

El Arte Cristiano en España, por J. D. Passavant, Director del Museo de Francfort, traducido del alemán y anotado por Cláudio Boutelou, Ex-Director y Catedrático de la Escuela de Bellas Artes de Sevilla.—Un tomo, 14 rs.

Filosofía de la Muerte.—Estudio hecho sobre manuscritos de D. Julian Sanz del Rio, por Manuel Sales y Ferré.—Un tomo, 14 rs.

La pintura en el Siglo XIX, por Cláudio Boutelou, —Un tomo, 14 rs.

Historia de los Musulmanes españoles hasta la conquista de Andalucía por los Almoravides (711-1110), por R. Dozy, traducida y anotada por Federico de Castro, Ex-Catedrático de Historia de España en la Universidad de Sevilla.—Cuatro tomos, 64 rs.

Historia de la Geografía y de los descubrimientos geográficos, por Vivien de Saint-Martin, traducida y

anotada por Manuel Sales y Ferré, Catedrático de Geografía Histórica en la Universidad de Sevilla.—Con mapas intercalados en el texto.—Dos tomos, 40 rs.

Estudios políticos y sociales, por Herbert Spencer, traducidos del inglés por Cláudio Boutelou.—Un tomo, 14 rs.

Libro de Agricultura, por el árabe Abu-Zacaría, seguido del Catecismo de Agricultura por Victor Vanden-Broeck, y de las Conferencias agrícolas sobre los Abonos químicos, por Mr. Georges Ville; dos tomos, 32 reales.

Investigaciones acerca de la Historia y Literatura de España durante la Edad Media, por R. Dozy, traducidas de la segunda edición y anotadas por Antonio Machado y Alvarez.—Dos tomos 36 rs.

El Gobierno Representativo, por Jhon Stuart Mill, traducido del inglés con notas y observaciones, por Siro García del Mazo, Jefe de Trabajos Estadísticos de la provincia de Sevilla.—Un tomo, 18 rs.

El Cristianismo y la Revolucion Francesa, por Edgar Quinet, traducido por Siro García del Mazo.—Un tomo, 12 rs.

El Darwinismo.—Lo verdadero y lo falso de esta teoría, por Eduardo de Hartmann, traducido por M. Sales y Ferré.—Un tomo, 12 rs.

Estudio de los pueblos en la Exposicion de Paris de 1878, por Cláudio Boutelou.—Un tomo, 16 rs.

OBRAS QUE SE HALLAN DE VENTA EN ESTA ADMINISTRACION.

Compendio razonado de Historia general, por don Fernando de Castro, continuado por Manuel Sales y Ferré.—4 tomos, 80 reales.

Resumen de Historia general, por D. Fernando de Castro. Duodécima edición, aumentada por Manuel Sales y Ferré.—1 tomo, 20 rs.

Resúmen de Historia de España, por D. Fernando de Castro. Duodécima edición: aumentada con la edad antigua por Manuel Sales y Ferré.—1 tomo, 12 reales.

Discurso acerca de los caracteres históricos de la Iglesia española, por D. Fernando de Castro.—4 rs.

Comentarios á la «Historia natural del Hombre» de Quatrefages, por Manuel Sales y Ferré.—Primer cuaderno, 4 rs.

El Quijote para todos, abreviado y anotado por un entusiasta de su autor. Libro de lectura para las Escuelas Normales de Maestros.—10 reales en rústica y 12 en holandesa.

El Quijote de los niños, abreviado por un entusiasta de su autor. Libro de lectura para las escuelas.—Tercera edición, 8 rs. en holandesa.

Coleccion de Adivinanzas, por D. Antonio Machado y Alvarez.—Un tomo, 8 rs.

Catecismo de Agricultura, por Víctor-Van-Den-Broeck.—Un tomo, 4 rs.

Apologia de los Asnos, por un asnólogo Aprendiz de poeta.—Un tomo, 4 rs.

OBRAS DE VENTA EN LA LIBRERIA
DE
VICTORIANO SUAREZ,
JACOMETREZO, 72.-MADRID.

Los precios indicados en primer término son para Madrid,
y los en segundo para provincias, francas de porte.

A muertos y á idos, no hay parientes ni amigos, ó la Marquesa de Oveda.—Un tomo, 8.º, 6 rs.

Arte de agradar á las mujeres por el conocimiento de su carácter, cualidades, gusto y pasiones, recopilado de los mejores autores antiguos y modernos por el Dr. D. José Nuñez de Velasco; 6 y 7 rs.

Agrimensura y Arquitectura legal, (tratado teórico-práctico), por Marcial de la Cámara, profesor de arquitectura, director de caminos, canales de riego, etc. Obra de texto y de consulta.—Un tomo, 4.º, 40 y 44 rs.

Aniversario CCLX de la muerte de Miguel de Cervantes Saavedra: álbum literario dedicado á la memoria del Rey de los ingenios Españoles, publicado por la redaccion de la Revista Literaria.—Un tomo, 8.º, 8 y 10 rs.

Anuario oficial de Correos de España, publicado por

la direccion general de Correos y Telègrafos.—10 y 12 rs.

Apología de los Asnos, en verso y buen rato de notas, por un Asnólogo, aprendiz de poeta. Un tomo 8.º, 4 rs.

Batalla de Bailen (La), canto épico por Juan Federico Muntadas.—4 rs.

Biblioteca Clásica. Homero.—La Iliada, traducida del griego al castellano por D. José Gomez Hermosilla, tres tomos, 8.º, 36 y 40 rs.

—*Cervantes*. Novelas ejemplares, dos tomos, 24 y 28 rs.

—*Herodoto*. Los nueve libros de la historia, traduccion directa del griego por el P. Bartolomé Pou. Dos tomos, 24 y 28 rs.

—*Alcalá Galiano*. Recuerdos de un anciano, un tomo, 12 y 14 rs.

—*Virgilio*. La Eneida, traduccion directa del latin, en verso castellano por D. Miguel Antonio Caro, dos tomos, 24 y 28 rs.

—*Lord Macaulay*. Estudios literarios.—Milton, Maquiavelo, Byron, dramáticos de la restauracion; Dante, Petrarca, Goldsmith, oradores atenienses, traduccion directa del inglés por D. Mariano Juderías Bender, 1 tomo, 8.º, 12 y 14.

—*Quintana*. Vida de los españoles célebres, 2 tomos, 24 y 28.

Catecismo de Agricultura. Nociones elementales de las ciencias naturales, consideradas en sus relaciones con la agricultura, por Victor Van Den-Broek: traducida por M. Sales y Ferré. Un tomo 8.º, 4 rs.

- Comentarios á la «Historia natural del Hombre»** de Quatrefages, por Manuel Sales y Ferré. Primer cuaderno, 4 rs.
- Cachibaches de antaño (Los)**, por Roberto Robert, un tomo, 8.º mayor, 12 rs.
- Cartas provinciales**, por Pascal, traduccion y prólogo de D. Francisco Cañamagne, un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.
- Comentarios á la Ley de Enjuiciamiento civil**, por D. Vicente Hernandez de la Rúa, cinco tomos, 4.º, 60 y 70 rs.
- Compendio de Historia del Derecho Romano**, por Enrique Ahrens, traducido directamente del alemán con notas por los profesores de la Institucion libre de enseñanza, Sres. D. Francisco Giner, don Gumersindo Azcárate y D. A. G. Linares. Madrid 1878; un tomo, 8.º mayor, 10 rs.
- En este compendio encontrará el jurisconsulto y el estudiante la historia interna y externa del Derecho romano, con los adelantos hasta el dia, por las numerosas notas con que vá ilustrado.
- Cruz (La) y la Golondrina**, novela original por D. Manuel Ibo Alfaro. Un tomo, 8.º, 4 rs.
- Catolicismo práctico**, demostrado por la Fé, Esperanza, Caridad, Modestia, Abnegacion, Constancia, Resignacion, Riqueza y Humildad, por Rafael Juan Cristóbal, un tomo, 4.º, 12 y 14 rs.
- Cocina (Nuevo arte de)**, por Altimiras; deberes del cocinero y arreglo de la cocina, modernos manjares, á la española, francesa é italiana; guisos

especiales de la cocina catalana; conservas y licores; ilustrado con grabados: un tomo, dozavo, 6 y 7 rs.

Caza de la Perdiz (La), con escopeta, al vuelo y con perro de muestra, por Manuel Sauri, 4 y 6 rs.

Caza de la Perdiz (Consideraciones sobre la), con reclamo, por D. Andrés Guerra, 4 y 6 rs.

Cantoral, manual de *Semana Santa*, para celebrar uniformemente los Oficios Divinos en todas las iglesias, colegiadas, parroquias y conventos; arreglado al castellano de la Santa Iglesia de Toledo. Corregido y adicionado por D. Plácido Grande y Frutos, *segunda edicion*, un tomo, 4.º, 18 y 20 rs.

Del Suizo á la Suiza, viaje de placer..... hasta cierto punto, por Eusebio Blasco, un tomo, 8.º, 4 rs.

Del amor y otros escesos, por Eusebio Blasco, un tomo, 8.º, 4 rs.

De la caza y su legislacion, tratado de la caza, pesca y uso de armas segun las leyes vigentes, tanto generales como especiales, con formularios para solicitar licencias y datos más interesantes sobre la materia, por D. Joaquin Badia, Doctor en derecho civil y canónico, etc. etc. Un tomo, 4.º, 10 y 12 reales.

Dios y la Libertad, demostracion por la paz y la moralidad, por Rafael Juan Cristóbal. Un tomo, 4.º, 12 y 14 rs.

El Ateneo de Madrid, sus orígenes, desenvolvimiento representacion y porvenir: por D. Rafael M. de Labra, un tomo, 8.º mayor, 12 y 14 rs.

- Electricidad (Lecciones sobre)**, dadas en la institucion real en 1875-76, por Tyndall, profesor de fisica en la Institucion Real de la Gran Bretaña, traducida del inglés, con autorizacion del autor por A. Gonzalez Garrido, un tomo, 8.º y atlas, 12 y 14 rs.
- Episodio de una Historia**, original de Heliodoro Maria Jalon, un tomo, 8.º, 4 y 5 rs.
- Esencia del Cristiano**, ó medio para convencerse de la excelencia del Cristianismo y de su origen divino, por Rafael Juan Cristóbal. Un tomo, 4.º, 12 y 14 reales.
- Exposicion Universal de 1878 (La)**.—Descripcion razonada para los que no la han visto, recuerdo para los que la hayan visto: por A. Fernandez de los Rios, con dos planos cromolitografiados, un tomo, 8.º, 14 y 16 rs.
- Experiencias hechas con el aparato de medir bases**, perteneciente á la Comision del Mapa de España, un tomo, 4.º mayor, con ocho grandes láminas, 40 y 46 rs.
- Estudios poéticos**, por M. Menendez Pelayo, Un tomo, 8.º, 12 y 14 rs.
- Estudios críticos sobre biografia, historia, literatura y arte**, por Fermin Herran. (Tomo II de la Biblioteca escogida). Un tomo, 8.º, 8 y 10 rs.
- Estudios sobre el régimen Constitucional y su aplicacion en España**, por D. Leon José Serrano. Un tomo, 4.º, 8 y 10 rs.
- Expropiacion forzosa**, por utilidad pública, leyes españolas recopiladas, comparadas y comentadas,

por D. José Argullol, abogado, 1 tomo, 8.º mayor, 16 y 18 rs.

Flores y espinas, coleccion de poesias de D. José Selgas, un tomo, 8.º, 12 y 14 rs.

Filocalia (La) ó arte de distinguir á los cursis de los que no lo son, seguido de un proyecto de bases para la formacion de una hermandad ó club con que se remedie dicha plaga: 2 y 3 rs.

Fuero Juzgo ó El libro de los jueces, segun el texto del Dr. Alonso de Villadiego, que desde su publicacion se ha seguido en los Juzgados del Reino; enmendadas muchas erratas, y cotejado con el de la edicion moderna de la Academia española, que ha servido para aclarar varios lugares oscuros de las leyes. Precédele un discurso sobre los Godos, sus costumbres y su legislacion en España. Madrid, 1841. Un tomo, 4.º, pasta, 24 y 28 rs.

Fantasías, por A. Sanchez Ramon, precedidas de una carta de D. Enrique Perez Escrich. Un tomo, 8.º, 4 rs.

Guia ilustrada del viajero por los santos lugares de Palestina, por un P. carmelita descalzo español, conventual que fué de la comunidad religiosa del Monte Carmelo: dedicada á la inmaculada virgen del Cármen. Un tomo, 8.º, con láminas, 46 rs.

Guia de Roma y de las principales ciudades de Italia, por un Romero. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.

Héroes de la civilizacion (Los). Ensayo histórico-crítico por D. José A. Rebolledo, ingeniero gefe y profesor de la Escuela de Ingenieros de caminos,

canales y puertos, etc., etc., 1 tomo, 4.º, 20 y 24 rs.

Historia de la América del Sur, desde su descubrimiento hasta nuestros días, por un Americano, en vista de los escritos más reputados hasta el día. Un tomo, 4.º, 20 y 24 rs.

Historiadores de la Isla de Cuba (Los tres primeros), reproduccion de las historias de D. José Martín Félix de Arrate y D. Antonio José Valdés y publicacion de la inédita del Dr. D. Ignacio Urrutia y Montoya, adicionadas con multitud de notas y aumentadas con descripciones históricas de la mayor parte de las ciudades, villas y pueblos de esta Isla, que en ella se mencionan. Tres tomos, folio, 500 rs.

Habitacion (La), cartas á una señorita, por F. Miguel y Badia. Un tomo, 8.º, ilustrado con cuarenta y dos grabados, 8 y 10 rs.

Idiomas (Los) de la América Latina, por Félix C. y Sobron. 8 rs.

Imaginacion (La), por Meliton Martin. Un tomo, 4.º, 8 y 10 rs.

Insurrecciones en Cuba (Las), apuntes para la historia politica de esta Isla en el presente siglo, por Justo Zaragoza. Madrid, 1872 y 73. Dos tomos, 4.º, reales.

Ingerto, poda y formacion de los árboles y vides con las nociones indispensables de *Botánica* y fisiología vegetal para comprender el fundamento de las operaciones: por D. Diego Navarro Soler. Un tomo, 8.º, con ciento setenta grabados, 10 y 12 rs.

- Libro verde (El)**, coleccion de poesias satiricas y de discursos festivos (parte de ellos inéditos), de don Francisco de Quevedo, poeta de cuatro ojos hijo de sus obras, padrastro de las ajenas, señor que fué de este valle de lágrimas y cofrade de la carcajada y de la risa. *Tercera* edicion corregida y aumentada por el colector de la primera D. Eduardo Lustonó, é ilustrada con ocho láminas por Pereda. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.
- Legislacion antigua de los Reyes Godos de España.** (Véase Fuero Juzgo, página 5.)
- Leyénda del Trabajo (La)**, por Meliton Martin. Un tomo, 4.º, 12 y 14 rs.
- Miscelánea Taurina y Reglamento para las corridas de Toros**, suerte de torear á caballo levantado y sin perder tierra, artículos, poesias y caricaturas, etc., por Pilatos: con treinta grabados; 4 y 5 rs.
- Manual popular de gimnasia de sala, médica é higiénica**, por Scheber, traducido por D. Estéban Sanchez de Ocaña. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.
- Miscelánea histórica, política y literaria**, por Cañamaque, con un prólogo de D. Antonio Luis Carrion. Un tomo, 4.º, 10 y 12 rs.
- Observaciones sobre la historia natural, geografia, agricultura, poblacion y frutos del reino de Valencia**, por D. Antonio J. Cavanilles. Dos tomos, fólío, 60 y 74 rs. (Faltan las láminas).
- Obras dramáticas**, por Nuñez de Arce: *Deudas de la honra.—Quien debe, paga.—Justicia providencial. El haz de leña.* Un tomo, 4.º, 30 y 34 rs.

Obras del Ilustrísimo Sr. D. Isidro Giol y Soldevilla y D. José Goyanes y Soldevilla.—*Curso elemental de Topografía*, obra declarada de texto en primer lugar en todas las ternas, por el Real Consejo de Instrucción pública y adoptada en casi todas las Escuelas especiales facultativas, civiles y militares. *Segunda edición*. Un tomo, 4.º, con láminas, 34 y 38 rs.

—*Tratado de Topografía*, obra de consulta declarada de texto en primer lugar en todas las ternas, por el Real Consejo de Instrucción pública, adoptada en casi todas las Escuelas especiales facultativas, civiles y militares. *Segunda edición*. Dos tomos, 4.º, con dos atlas, 130 y 140 rs.

—*Tratado de las acotaciones*; segunda edición. Un tomo, 4.º, con láminas, 14 y 16 rs.

—*Tratado de Agrimensura*. Un tomo, 4.º, con láminas, 40 y 44 rs.

Obras de Tiberghien.—*Estudios sobre filosofía*: misión de la filosofía en nuestra época. Doctrina de Krause, El positivismo y el método de Observación, La Teología y el origen del lenguaje, traducidos por García Moreno. Un tomo, 8.º, 8 y 10 rs.

—*Generación de los conocimientos humanos* (ensayo teórico é histórico sobre la). Traducción de García Moreno, con un prólogo, notas y comentarios de Nicolás Salmerón y V. González Serrano. Cuatro tomos, 8.º, 56 y 64 rs.

—*Introducción á la filosofía y preparación á la metafísica*: estudios analíticos sobre los objetos funda-

mentales de la ciencia crítica del positivismo; traducción de D. V. Piñó y Vilanova, precedido de un prólogo por D. F. de los Ríos y Portilla. Un tomo, 4.º, 28 y 32 rs.

—*Mandamientos de la humanidad (Los)*, ó la vida moral en forma de Catecismo, según Krause, traducidos por García Moreno. Un tomo, 8.º, 10 y 12 reales.

—*Teoría de lo infinito*: disertación sostenida públicamente en la facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Bruselas, para obtener el grado de Doctor: traducida por Gavino Lizárraga. Un tomo, 8.º, 8 y 10 rs.

Obras de J. Michelet.—*Amor (El)*, traducción de Jacinto Labaila. Un tomo, 12 y 14 rs.

—*Biblia de la humanidad*, traducida por Gerardo Blanco. Un tomo, 8.º, 12 y 14 rs.

—*Insecto (El)*; traducción de Mariano Blanch. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.

—*Mar (El)*; traducción de Mariano Blanch. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.

—*Montaña (La)*; Traducción por Mariano Blanch. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.

—*Pueblo (El)*, traducción de Mariano Blanch. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.

—*Mujeres de la revolución (Las)*; traducción y prólogo de Francisco Cañamaque. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.

—*Sacerdote (El), la mujer y la familia*: traducción de A. Abella. Un tomo, 8.º, 12 y 14 rs.

Obras de Kant. *Critica de la razon práctica*, precedida de los fundamentos de la metafísica de las costumbres. Traducción de Garcia Moreno. Un tomo, 8.º, 10 y 12 rs.

—*Critica del juicio*, según las observaciones sobre el sentimiento de lo bello y lo sublime; traducción de Garcia Moreno. Dos tomos, 8.º, 20 y 24 rs.

—*Metafísica*; lecciones publicadas en alemán por M. Poelitz, traducidas al francés por Tissot, y al español por Juan Uña. Un tomo, 8.º, 12 y 14 rs.

—*Lógica de Kant*; por Tissot, traducción de Garcia Moreno y J. Ruvira. Un tomo, 8.º, 8 y 10 rs.

—*Principios metafísicos del derecho*; traducido por Gavino Lizárraga.—Un tomo, 8.º, 8 y 10 rs.

Obras de D. Fernando de Castro.—*Compendio razonado de Historia general*, continuado por M. Sales y Ferré. Libro de texto en las Universidades. Cuatro tomos en 4.º, 80 rs. en rústica.

—*Resúmen de Historia general*. Obra de texto para uso de los Institutos. Duodécima edición, aumentada por M. Sales y Ferré, con mapas y grabados intercalados en el texto. Un tomo en 4.º 20 rs. en holandesa.

—*Resúmen de Historia de España*. Obra de texto para uso de los Institutos. Duodécima edición, aumentada con la edad antigua por M. Sales y Ferré, con mapas y grabados intercalados en el texto. Un tomo en 4.º, 12 rs. en holandesa.

—*Caracteres históricos de la Iglesia española*. Discurso leído ante la Academia de la Historia.—4 rs.

—*Dos Sermones*, 4 rs.

Prueba de indicios (La), por D. Santiago Lopez Moreno, abogado del Ilustre Colegio de Madrid. Un tomo, 8.º, 12 y 14 rs.

Prontuario alfabético-geográfico-estadístico y administrativo de los Ayuntamientos de España, por D. Aristipo Guillen, jefe que ha sido de seccion de Estadística. Un tomo, 4.º, 24 y 26 rs.

¡Para usted! Picadura literaria, cuadro de costumbres, por Constantino Gil, Un tomo, 8.º, 6 rs.

Pequeños poemas (Los), (segunda parte), por D. Ramon de Campoamor (de la Academia Española). contiene: *Historia de muchas cartas*, poema en dos Cantos.—*El quinto no matar*, poema en un canto. *La calumnia*, poema en dos cantos.—*Don Juan*, poema en dos cantos. Estos cuatro poemas forman un tomo 8.º, que se vende á 8 rs.

Pelayo, restaurador de la monarquía española, novela histórica, por Madame de Rome, traducida al español por D.ª Petra Pedregal de Hervas. Dos tomos, 8.º, 12 rs.

Penas personales (Las). Su aplicacion práctica segun el Código penal y lar sentencias del Tribunal Supremo por D. José B. Rodriguez y Domingo, expromotor fiscal y juez de primera instancia. (Madrid, 1878). Un tomo, 8.º, 14 rs.

Quijote para todos (El), abreviado y anotado por un entusiasta de su autor, Miguel de Cervantes Saavedra. Libro de lectura para las Escuelas Normales de Maestros.—Un tomo en 4.º 10 rs. en rústica y 12 en holandesa.

Quijote de los Niños (El), abreviado y anotado por un entusiasta de su autor, Miguel de Cervantes Saavedra. Libro de lectura para las escuelas.—Tercera edición, 8 rs. en holandesa.

Ramillote de chistes, chascarrillos, cuentos, epigramas, cantares, pesadillas, etc., recopilado de las mejores obras y de los más celebres escritores, por un aburrido. Con caricaturas, 4 rs.

Sistema del Derecho romano actual, por Savigny, vertido al castellano por Jacinto Mesia y Manuel Poley, profesores de Derecho romano en la Institución libre de enseñanza, y precedido de un prólogo de D. Manuel Durán y Bas, catedrático de Derecho en la Universidad de Barcelona. Cuatro tomos, 4.º, 28 y 32 rs. uno.

Soldados de la Revolución (Los). Traducción y prólogo de D. Francisco Cañamaque. Un tomo, 10 y 12 rs.

¡¡Suicida!! Novela fisiológico-filosófica-original, por Gerardo Blanco. Un tomo, 4.º, 12 y 14 rs.

Tratado de las obligaciones, de Pothier, traducido y precedido de un extenso proemio que contiene toda la legislación española sobre contratos, (Barcelona, 1878). Dos tomos, 8.º, 30 y 34 rs.

Tresillo (El), tratado que resuelve todas las dudas, dirime las controversias y abarca la infinidad de lances que comunmente se presentan en este juego,

sistema simplificado, con sus reglas fijas y leyes penales. Un cuaderno, 4.º, 4 y 5 rs.

Viaje hecho por Felipe II en 1585. (Relacion del) á Zaragoza, Barcelona y Valencia, escrita por Henrique Cock, notario apostólico y archivero de la Guardia del Cuerpo Real, y publicada de real órden por Alfredo Morel-Fátio y Antonio Rodriguez Villa. (Madrid, 1876.) Un tomo, 4.º, edicion de lujo.

Legislacion notarial y del papel sellado. En tres partes se halla dividida esta obra. Consta la parte primera: de la legislacion notarial ó sea de la Ley del Notario: del reglamento general para la organizacion y régimen del mismo; de la Instruccion sobre la manera de redactar los instrumentos sujetos á Registro, y de los Aranceles notariales de 11 de Junio de 1870.—La parte segunda: de la legislacion del papel sellado, y en su virtud del Decreto de 12 de Setiembre de 1864, refundido por cuantas Leyes, Reales Decretos y Reales Ordenes han producido tal efecto en él; la Instruccion para llevar á efecto el Decreto antedicho, y un Diccionario de la Legislacion del papel sellado, de utilidad suma para la práctica.—La parte tercera: de unos Apéndices, comprensivos de varias Leyes novísimas de suma importancia, y de los Aranceles notariales de Ultramar, así como todos los judiciales y los de los Registradores de la propiedad, todo concordado con Leyes, Decretos y Reales Ordenes, y comentado con las sentencias del Tribunal Supremo y

Consejo de Estado, Reales Decretos, etc., compilado y ordenado por J. Serrano y Oteiza, Secretario de la Redaccion de esta GACETA.

Un tomo de más de 400 páginas, 44 y 16.

Legislacion hipotecaria. Tratado completo sobre esta materia, que contiene los textos oficiales de la Ley y su Reglamento, con las últimas reformas, anotados y concordados con todos los Reales Decretos, Reales Ordenes, Circulares, observaciones prácticas y Resoluciones de la Direccion general del Registro de la propiedad, dictadas desde la promulgacion de aquella Ley hasta el dia, con los modelos, Instruccion sobre la manera de redactar los documentos sujetos á Registro, Reglamento y tarifa del impuesto sobre derechos reales y transmision de bienes, clasificacion de los Registros, sus fianzas, nombres de los Registradores, etc.

Tercera edicion de esta utilisima obra publicada por la *Biblioteca Jurídica* de los Sres. Moragas y Pardo. Forma un volumen de 736 páginas, esmeradamente impreso y corregido. 24 y 27 rs.

Novisima Ley de enjuiciamiento civil y mercantil, segun las últimas reformas, anotada y concordada con numerosas disposiciones prácticas y Sentencias del Tribunal Supremo, seguida de la Ley orgánica del Poder judicial, con cuantas aclaraciones á ellas se han hecho, y además todo lo concerniente á jurisdiccion de Hacienda, procedimientos contencioso-administrativos, delitos electorales, Leyde Imprenta,

Aranceles judiciales y otras muchas materias de aplicacion frecuente.

Novena edicion publicada por la *Biblioteca Juridica* de los Sres. D. Rómulo Moragas y D. Julian Maria Pardo. Un volúmen de 952 páginas; 24 y 27 reales.

EL LIBRE-CAMBIO Y LA PROTECCION,

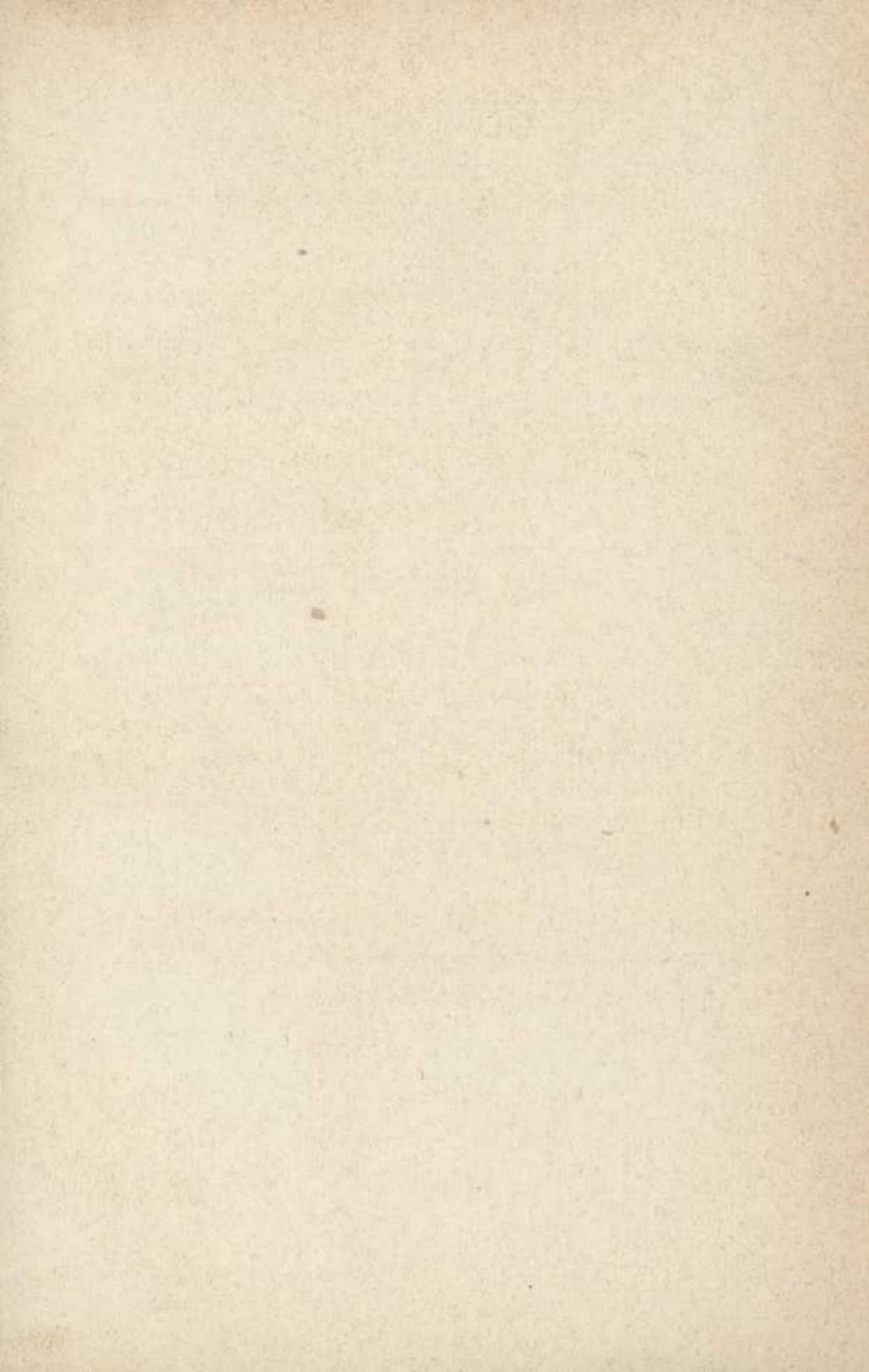
POR EL PROFESOR JAWEELT,

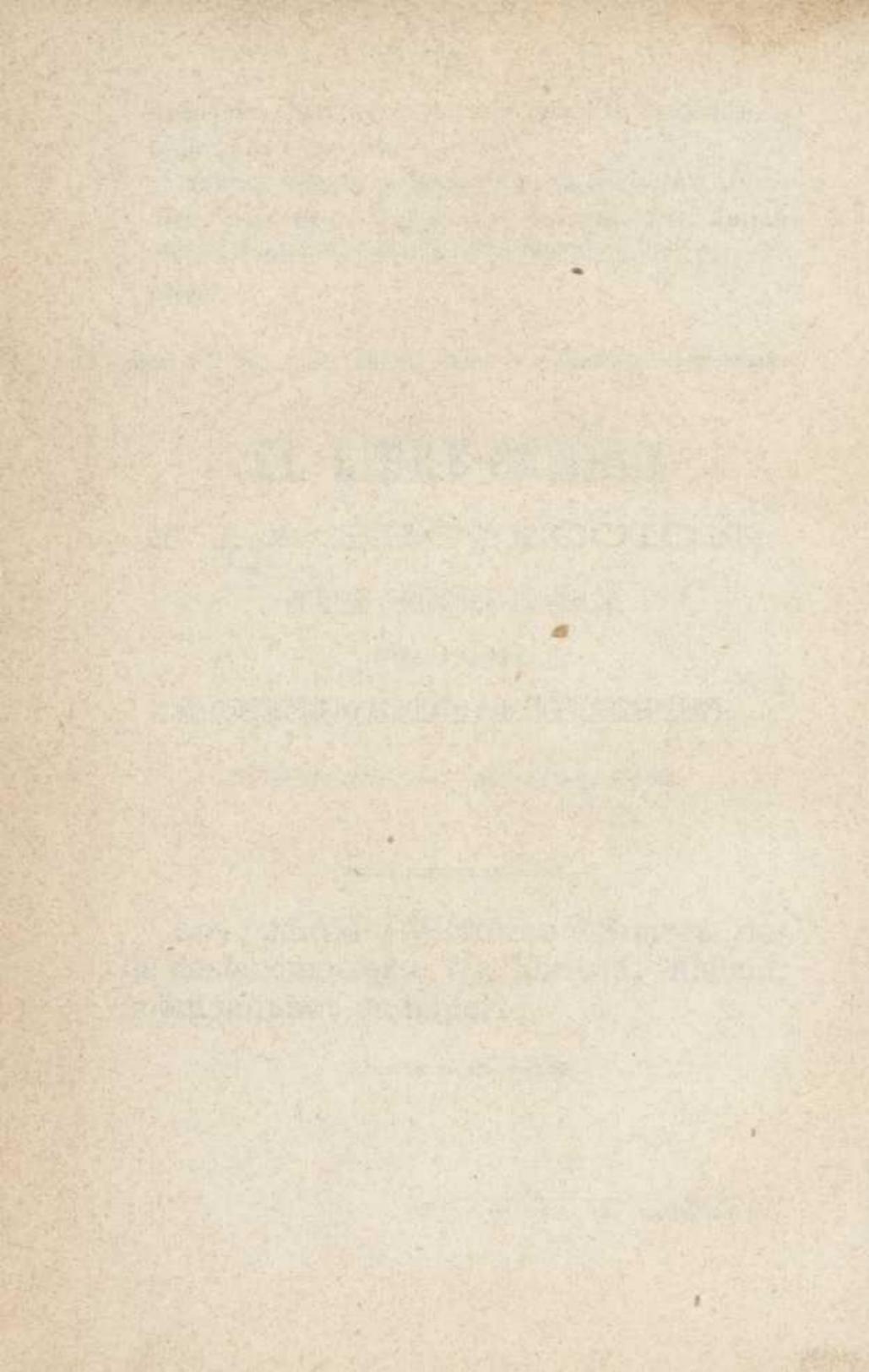
TRADUCIDO DEL INGLÉS

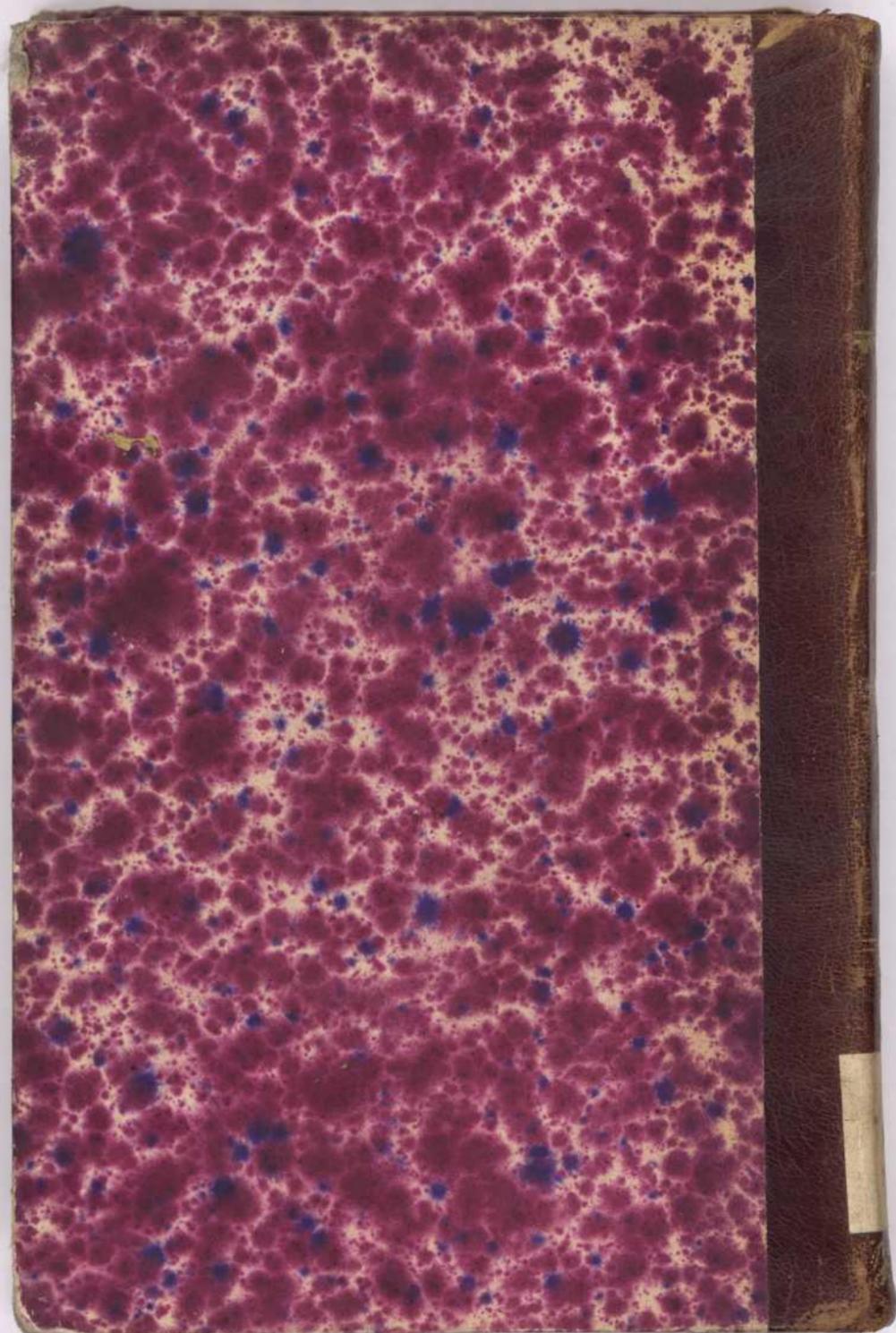
por D. GUMERSINDO AZCARATE y D. VICENTE INNERÁRITY.

Un tomo en 8.^o—Precio, 10 y 12 rs.

Los pedidos á Victoriano Suarez, calle de Jacometrezo, 72, librería, Madrid; acompañando su importe.







SECCHI.

EL SOL

2

2218