

Q. 13-23

**2217**





EL SOL.

---

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET



SECRET

# 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.



SEVILLA  
Administracion  
de la Biblioteca Científico-Literaria  
LERENA 8.

MADRID  
Libreria de Victoriano  
Suarez.  
JACOMETREZO 72



---

## PRÓLOGO DEL TRADUCTOR.

---

El presente libro, obra de uno de los observadores más distinguidos del siglo actual, es la recopilación más completa y concienzuda de cuantos descubrimientos se han hecho sobre la constitución del Sol, y verdaderamente pudiera llamársele tratado de física solar.

Adornado su autor de dotes especiales para la observación; disponiendo de medios suficientes para el trabajo; libre de las trabas que ligan la iniciativa de otros astrónomos, ha podido dedicar toda su actividad al estudio de los asuntos que ha considerado más dignos. Así vemos en el relato de todos los descubrimientos consignados en su libro aparecer el nombre del P. Secchi, si no entre los de aquellos que hicieron el descubrimiento, al menos entre los de aquellos que lo comprobaron y describieron.

Crítico sensato y sagaz, experimentador

habilísimo, el testimonio de su comprobación presta casi el carácter de certeza al hecho que consigna como examinado por sí mismo; y la mayoría de los que cita en la presente obra, han pasado por el crisol de su propia experiencia.

En trabajos de esta índole, en que pocos, muy pocos, y en España menos desgraciadamente, pueden adquirir por sí mismos la certidumbre necesaria para juzgar rectamente las hipótesis y los sistemas que cada pensador propone, la cualidad que resalta en el trabajo del padre Secchi es de inestimable valor.

No es esto decir que cuanto el libro encierra sea completamente cierto, ni declarar al ilustre astrónomo autoridad infalible en materia de física solar. Ni tenemos poder para tanto, ni llega nuestro entusiasmo por el autor de la «Unidad de las fuerzas físicas» al punto de creerlo exento de errores y libre de ignorancia, no; pero sí creemos que durante su larga carrera siguió la senda que conduce al esclarecimiento de la verdad; y basta para convencerse de ello, leer el proceso de uno de sus experimentos, de cualquiera de ellos, ó fijar la atención en el sistema que sigue al dar á conocer algún fenómeno importante.

El verdadero estudio físico del Sol es de ayer, el instrumento con que ha podido co-

menzarse el análisis químico de los astros se ha inventado en nuestros dias; y no podia ser de otra manera, porque el nombre de Franhofér tampoco recuerda una fecha remota. En tan vasto campo, vírgen de toda huella, han podido recoger nuestros contemporáneos abundante cosecha; pero la misma novedad del trabajo, la misma libertad en la eleccion de la vía, la falta de señales que indiquen los escollos, la carencia de trabajos anteriores, ha hecho más fáciles los extravíos, ha exaltado la fantasía, ha contribuido á precipitar la formacion de las hipótesis, y ha dificultado su exámen experimental.

En esta época de actividad febril, en que para reivindicar la prioridad de un invento se ha hecho uso del telégrafo, el natural estímulo lleva á los descubridores á publicar sus triunfos, si no son susceptibles de privilegio, valiéndose de las mil trompas de la fama que en forma de revistas, actas, diarios, anales, etc., llevan á todas partes el relato, las más veces incompleto, de cuanto el cultivo de las ciencias naturales alcanza diariamente. Pero como no todos tienen medios de conocer cuanto sobre un punto se escribe en todas las lenguas de Europa, la publicacion de un libro en que se recopile razonadamente cuanto haya de verdadera importancia sobre un asunto de-

terminado, presta á la ciencia un valioso servicio. Y si el libro reviste los caracteres de *El Sol* del P. Secchi, único en su género, sin duda alguna es aun de más valor.

Dirigida esta obra á difundir los conocimientos relativos á la constitucion del Sol y á su modo de obrar, descartada por el autor toda la parte puramente técnica no indispensable para la mejor comprension del asunto, ha podido emplear un lenguaje cuya inteligencia no exige grandes conocimientos, y aun para hacerlo más inteligible á todos, se ha entendido con frecuencia á explicar algunos hechos y á describir ciertos instrumentos, sobradamente conocidos de las personas que tienen algunas nociones de astronomía, pero que facilitan en gran manera la inteligencia de muchas cuestiones á los que carezcan de tales conocimientos. Penetrados nosotros de la utilidad de estas digresiones, que pueden dejar de leer las personas peritas, nos hemos permitido aclarar por medio de notas algunos pasajes en que el autor cita algun principio ó instrumento sin entrar en pormenores, cosa que en verdad ocurre pocas veces, y estas pocas, á no dudarlo, sin que tal fuese su intencion; pues nunca olvida, como es frecuente entre personas dedicadas asiduamente á un estudio, que ciertas verdades tan familiares para ellos que

entran en el número de las de sentido común, son para los no iniciados problemas insolubles ó mágicas revelaciones.

Afortunadamente, como ya hemos dicho, poquísimas veces incurre el autor en tan sensible distraccion; antes bien, quizá encuentre alguno demasiada minuciosidad en ciertos asuntos. Pero el que tal crea, si es persona docta, entienda que aquella parte no ha sido escrita para él, y si no lo fuese, suspenda su juicio hasta tener ocasion de juzgar si ciertos pormenores son dignos ó no de tomarse en cuenta.

Una de las cosas que, á nuestro modo de ver, da más valor á este libro, especialmente para los aficionados al estudio de las ciencias físicas, es precisamente la escrupulosidad con que se relatan las dificultades de la observacion y los medios de superarlas. En esta parte constituye casi un verdadero manual del observador, y su lectura puede indirectamente prestar un gran servicio, despertando la atencion de la juventud hácia la verdadera vía que conduce al adelantamiento de las ciencias naturales; vía poco frecuentada entre nosotros por causas sobradamente conocidas.

Ciertamente no encontrará el lector tanta amenidad en esta obra como en otras de carácter científico recreativo; pero si pone de su par-

te un ligero trabajo mental, el arte del autor y la naturaleza del asunto prestan á la presente un interés tan vivo cuanto puede desearse para que su lectura no se haga molesta ni en un solo punto. Y quizá uno de los mayores esfuerzos del autor ha consistido en despojar su trabajo del carácter maravilloso á que tanto se presta, refrenando su fantasía y su anhelo de sintetizar para encerrarse dentro de los límites de la probabilidad científica, basada en la observacion y en la esperiencia, prescindiendo de fascinadoras semejanzas que le hubieran conducido á teorías problemáticas ó al ménos prematuras.

Esto no obstante, es tan ámplio y tan vário el cuadro que abarca el trabajo del P. Secchi, de tal modo pone á contribucion todas las ciencias que pueden esclarecer el objeto de su estudio, y tanto cuida de conservar siempre la exposicion dentro del círculo de los conocimientos más elementales, que la persona ménos versada en esta clase de estudios, al terminar la lectura de *El Sol*, seguramente puede haber adquirido tantas y tan rectas ideas acerca del estado de la ciencia moderna y del verdadero carácter de los agentes naturales que, sin haberse apercebido del cambio que en él se ha ido verificando, vea ante sí un mundo completamente nuevo, regido por leyes comprensibles, armónicas, emanadas de una sola verdad.

Y si bien se considera, nada es más natural que así ocurra; porque las verdades con que la ciencia se enriquece no pasan al saber comun tan pronto como fuera de desear, ni aún en la época presente.

Muchos, muchos son en verdad, los descubrimientos que han aumentado el saber de la generacion actual, y no figurarán en la historia como los menores aquellos que se refieren al Sol. En nuestra época, puede decirse, se ha hecho la luz sobre el astro del dia: ya no volverá á esconder tras el fulgor de sus esplendentes rayos los secretos que por tantos siglos ocultó á los hombres; ya la fuente de donde mana la luz, el calor y la vida de este mundo terrestre, habiendo entreabierto por fin su seno, nos permitirá en adelante sondear sus misterios.

Difícil y arriesgada es la tarea de verter á otra lengua las ideas de un sábio, porque la incompetencia del traductor puede malograr los esfuerzos de aquel: este temor nos ha acompañado durante todo nuestro trabajo, y tan penetrados estamos de nuestra insuficiencia y del mérito de la obra original, que si el lector encuentra lunares que desdigan del alto concepto que como observador merece el P. Secchi, debe culparnos por no haber logrado interpretar la palabra del autor.

Abrigamos, sin embargo, la esperanza de que, sean muchas ó pocas las faltas cometidas por nosotros, la publicacion de este libro llena un vacío que se dejaba sentir, y facilitará un estudio por demás interesante y desatendido.

---

## INTRODUCCION.

---

La favorable acogida que ha obtenido esta obra, entre las personas dedicadas al estudio de las ciencias naturales, me ha animado á perfeccionarla aumentándola en algunos puntos; no es, por lo tanto, una nueva edicion lo que ofrecemos al público, sino una obra completamente refundida y casi enteramente nueva.

En el momento de aparecer la primera edicion, enriquecida la ciencia con un descubrimiento reciente y fecundo, lo explotaba enérgicamente haciendo numerosos y rápidos progresos. Así, en poco tiempo nuestra obra vino á ser un trabajo anticuado é incompleto. En la edicion alemana de Scheller procuré llenar algunos vacíos, pero los descubrimientos se sucedian con tal rapidez que fué preciso relegar á un apéndice los verificados durante la impresion de la obra. En este tiempo se habia des-

cubierto un gran número de hechos interesantes, pero que, desligados los unos de los otros, no constituían un cuerpo de doctrina. Los años transcurridos desde entónces han llenado muchos vacíos; por ejemplo, la teoría de las erupciones solares apenas estaba iniciada, y aunque no abrigamos la pretension de que hoy esté completa, ciertamente ha hecho grandes progresos. Ya se columbran las aelaciones que existen entre los movimientos eruptivos y los demás fenómenos de la física solar. Estos asuntos, que apenas se indicaban en la primera edicion, en la presente se tratan con todo el desarrollo que exigen.

Tambien hemos dado más estension á la historia de algunos descubrimientos, satisfaciendo así, en nuestro juicio, las reclamaciones de aquellos que nos acusan de no haber apreciado sus trabajos en todo lo que valen. En obras de esta índole es en extremo difícil hacer justicia á todo el mundo; y si alguna vez atribuimos á ciertos trabajos ménos importancia de la que merecen, esperamos que no se achaque el hecho á nuestra intencion, sino á la dificultad de la empresa. Por lo demás, aunque el comercio literario sea tan activo en la actualidad, no vacilamos en afirmar que los italianos podrian dirigir á los extranjeros buen número de reclamaciones de esta espe-

cie. Dos causas concurren á que así suceda: la primera es el gran número, cada vez mayor, de investigadores, lo que dificulta en extremo el conocimiento de tan múltiples observaciones; la segunda es la variedad de lenguas en que se publican los trabajos modernos, añadiendo así dificultad á su estudio.

Hallándose representada Inglaterra por un grupo en extremo numeroso de hombres que estudian cuidadosamente la física solar, y siendo su lengua de las más difundidas, es fácil estar al corriente de los resultados que obtienen; así hemos tomado muchas noticias en sus publicaciones, á fin de hacer justicia á cada cual. No ha sido nuestra intencion hacer una simple compilacion análoga á algunas obras inglesas, no; en la ciencia hay dos ramas, ámbas vitales y esenciales: el estudio de los hechos, y el de sus relaciones. Los hechos deben coordinarse para evitar las repeticiones, los anacronismos y la exposicion de ese cúmulo de detalles que, aunque de importancia en una memoria original, en un tratado no conducen más que á producir la confusion en el espíritu del lector, por la repeticion constante de una multitud de pormenores iguales, próximamente, en todas las observaciones. Fácil es ofrecer al público un grueso volúmen compilando memorias; pero no se encontrará en él

unidad científica, y el curso de las ideas se verá á cada paso interrumpido. Grandes servicios ha prestado esta clase de libros; pero no por eso será inútil el nuestro, porque su objeto es diferente, puesto que nuestro ánimo es coordinar de una manera lógica los numerosos hechos observados en estos últimos años.

Y no nos hemos contentado con reunir estas observaciones y coordinarlas; tambien hemos procurado comprobarlas y adquirir de ellas un conocimiento directo y profundo, estudiándolas cuidadosamente. Hemos, pues, tratado de hacer justicia á cada cual, conservándole su derecho de propiedad; pero al propio tiempo hemos expuesto los hechos tal como se han ofrecido á nuestra experimentacion personal. Esta es la causa del carácter original y particular de esta obra. Hay quien, por esto, nos acusa de haber intentado persuadir á nuestros lectores que todo es de nuestra cosecha. Jamás hemos tenido tal pretension, bien lo saben nuestros lectores; lo que sí hemos hecho, ha sido, al citar los descubrimientos de otros, describir los fenómenos con esa exactitud que solo la observacion personal puede prestar al escritor. Demasiado nos enseña la experiencia cuantas discusiones nacen y se complican por no haber observado bastante los hechos en que se fundan los teorías.

Por lo demás, despues de haber dado á cada uno lo suyo, no nos debíamos olvidar de nosotros mismos. Así, pues, no cause sorpresa si, por ejemplo, nos atribuimos el haber completado, con asídúo trabajo, algunos descubrimientos apenas indicados por sus autores, que los han abandonado para ocuparse de otros trabajos, quizá más brillantes, pero no más fértiles. Y en verdad hay en nuestra época tantos y tantos investigadores, todos provistos de poderosos instrumentos, que bien pueden encontrarse varios siguiendo las mismas ideas y descubriendo idénticos hechos. Dos siglos y medio hace que la física solar dió de esto un ejemplo notorio, y bien pudiera repetirse en nuestro tiempo.

**A. Secchi.**

---

## INTRODUCCION Á LA PRIMERA EDICION.

---

Qué es el Sol? Qué es ese astro radiante y poderoso que disipa las tinieblas de la noche, difunde sobre la tierra la luz del día, nos inunda de calor, de luz y de vida, y retiene á su alrededor el sistema planetario, contribuyendo así de una manera activa á conservar el orden en la creacion? Tal pregunta se hace el hombre que gusta de pensar en los grandes fenómenos de la naturaleza, en vez de imitar á los seres desprovistos de razon que se alimentan de los frutos que encuentran en el suelo, sin elevar jamás la vista hasta el árbol que los produce.

Varios pueblos de la antigüedad adoraron al Sol, extravió ménos grosero que otros muchos, porque al fin este astro es la imagen más perfecta de la divinidad y el instrumento de que el Creador se sirve para comunicarnos casi todos sus beneficios en el orden físico.

Aunque no sea á nuestros ojos más que una criatura, su estudio es, sin embargo, uno de los más elevados á que puede dedicarse un observador, y la historia de las conquistas hechas en este campo inagotable será siempre uno de los objetos más dignos de nuestra atención y de los más propios para edificarnos.

Por desgracia la ciencia está léjos de hallarse á la altura de su objeto, y no por falta de especulaciones ó investigaciones; sino porque la naturaleza del estudio paraliza nuestros esfuerzos, y á pesar de la actividad que desplegamos, *Vincit natura latendi*: la naturaleza permanece oculta. Pero nuestra generación, que descubriendo las fuentes del Nilo ha desmentido estas palabras, quizás consiga un dia robar al Sol los secretos que tan hábilmente oculta, no cubriéndolos de tinieblas sino iluminándolos con su luz deslumbradora.

La historia nos enseña que cada descubrimiento de la ciencia, cada mejora en los métodos de observacion, se ha aplicado inmediatamente al estudio del Sol. Siempre que la física general ha hecho una conquista, la física solar ha dado un paso. El descubrimiento del antejo dió á conocer la rotacion solar, la estructura y variacion de las manchas y la distribucion de la luz. Consignemos que la apli-

cacion de los vidrios coloreados que siguió al descubrimiento del telescopio, permitió al P. Scheiner dedicarse con tanto éxito al estudio que privó de la vista al infortunado Galileo.

Pronto estos primeros medios de observacion dieron de sí cuanto podian dar, y sobrevino un período estéril para el progreso de estos conocimientos y una profunda indiferencia hácia este género de investigaciones. Casi nada se esperaba de esta rama de la astronomía cuando W. Herschel comenzó sus trabajos, haciendo uso de los instrumentos que habia construido por sí mismo. El estudio del Sol, por su impulso, avanzó rápidamente; pero sus descubrimientos, métodos é instrumentos no se aprovecharon; no tuvo imitadores, y despues de él empezó un segundo período de esterilidad.

Entretanto la óptica progresaba; los grandes instrumentos crecian en número y preparaban nuevos descubrimientos. Pero no hacian más que prepararlos, porque aquellos instrumentos tan perfeccionados fueron inútiles por largo tiempo; solo en nuestros dias se han encontrado los métodos que permiten aplicar al estudio del Sol las ampliaciones enormes á que se prestan los mayores anteojos. Lo que sobre todo hizo avanzar á la

física solar fué el perfeccionamiento de la teoría matemática de los movimientos celestes. Cuando en el cálculo de un eclipse se pudo determinar de un modo exacto los lugares por donde había de pasar la línea central de la totalidad, entónces solamente pudieron reunirse los astrónomos en gran número en los lugares privilegiados, provistos de instrumentos de todas clases y tamaños, y hacer los descubrimientos más imprevistos.

No era posible que la fotografía dejase de coadyuvar al estudio del Sol. Ella nos ha dado imágenes que representan con precisión absoluta las manchas con todos sus detalles, y las distintas fases de los eclipses; ha prestado inmensos servicios en esos cortos instantes de los eclipses totales en que los ojos sorprendidos vacilan, y nos ha dado medios para resolver en breves instantes problemas que se habían discutido durante años.

La perseverancia en la observacion de las manchas solares ha permitido comprobar la periodicidad de este fenómeno; y en su estudio se ha sacado gran partido de ciertas obras desacreditadas, puestas en ridículo en otro tiempo y que, no obstante, contenian documentos preciosos. Comparando los períodos de las vicisitudes solares con otros fenómenos, con los que no guardan relacion alguna aparente,

se ha podido establecer que el Sol, no sólo actúa como centro de atracción y foco de luz, sino que ejerce una acción incontestable sobre los fenómenos magnéticos.

En fin, el análisis espectral ha abierto una inmensa vía que habríamos debido creer cerrada para siempre; nos ha mostrado la naturaleza química de las sustancias que componen la atmósfera solar, y aún, aproximadamente, su temperatura. Así se ha podido hacer el análisis cualitativo del astro del día, y recientemente hemos alcanzado el medio de estudiar en cualquier ocasión ciertos fenómenos, que no podíamos observar antes más que en los eclipses totales. Así la química, á su vez, ha venido en auxilio de la astronomía. El precioso descubrimiento de la disociación y la teoría mecánica del calor, nos han mostrado, al cabo, en qué consiste la potencia calorífica del Sol, y cómo puede permanecer constante durante tantos siglos á pesar de su continua radiación, que al parecer debiera agotarlo en breve plazo.

Habiendo llegado la ciencia á este punto, he creído que era tiempo de condensar en algunas páginas el conjunto de estos maravillosos descubrimientos, que tanto honran á los sábios de nuestro época, y que tienen la ventaja de unir lo agradable á lo útil.

A fin de seguir el órden de las ideas, expondré primero los trabajos de los antiguos, pero brevemente, sin ocuparme de cuestiones inútiles, ni de resultados hipotéticos. A más, con objeto de hacer esta obra accesible al mayor número, entraré algunas veces en ciertos pormenores que no son necesarios para todos, y espero que se me dispense esto en consideracion al fin que me propongo.

La contemplacion de las obras de Dios es una de las más nobles ocupaciones del espíritu y el fin principal del estudio de la naturaleza; pero este estudio nos conduce á veces á resultados utilizables que no debemos despreciar. El estudio del Sol parece, por el momento al ménos, que no puede proporcionarnos esta clase de ventajas; porque sea cual fuere el conocimiento que de él adquiramos, jamás podremos regular su influencia. Sin embargo, la accion de este astro está muy ligada con los fenómenos de la vida, del calor y de la luz para que sea inútil conocer su naturaleza; y además, ¿quién sabe si existen relaciones íntimas entre ciertos fenómenos solares y otros terrestres, cuya prevision, aun aproximada, pudiera sernos de suma importancia?

Pero considerar el asunto de este modo seria apartarnos de nuestro objeto; las maravi-

llas de la creacion no deben estudiarse exclusivamente bajo el mezquino punto de vista de la utilidad del momento. La experiencia nos enseña que lo que hoy parece una especulacion ociosa, mañana puede ser una fuente de riqueza; y despues de todo, el hombre no vive solamente de pan, necesita tambien para sostener la vida del alma asimilarse las verdades abstractas ó sensibles, cuyo conjunto constituye para nuestra inteligencia la palabra del Creador.

Vamos, pues, á tratar este importante asunto, á que durante tantos años hemos consagrado todos nuestros desvelos y todas nuestras investigaciones. No nos limitaremos á exponer el trabajo propio, tomaremos lo verdadero y lo bello donde quiera que lo hallemos; pero no emitiremos ninguna opinion sin haber comprobado, personalmente, los hechos en que se apoya, ni expondremos ninguna teoria sin haberla examinado de igual manera con la extension que el asunto requiera.

Ojalá este trabajo sea útil al lector, instruyéndole é invitándole á prestar homenaje á Aquel que ha colocado su tienda en el Sol, *in Sole posuit tabernaculum suum Altissimus*.

A Secchi.

---

# EL SOL.

---

## PRIMERA PARTE.

### ESTRUCTURA DEL SOL.

#### LIBRO PRIMERO.

##### **Nociones generales sobre los fenómenos solares.**

---

#### CAPÍTULO PRIMERO.

##### Aspecto general del Cielo.

##### § I. DIMENSIONES DEL SOL.

Á simple vista, se nos presenta el Sol como un disco que subtiende un ángulo de 32 minutos y 3 segundos, ó sea de medio grado próximamente; (1) y teniendo en cuenta la distancia á que se halla de nosotros, este pequeño diámetro aparente supone una magnitud tan enorme, que no nos es posible formar

---

(1) Ya nos ocuparemos de la exactitud de estos números; por ahora no hacemos más que consignarlos para dar una idea de la magnitud aparente del Sol.

de ella una idea siquiera aproximada. La distancia media del Sol á la Tierra es de 23,150 rádios terrestres, ó sea 148 millones de kilómetros. El diámetro del Sol es 108 veces el de nuestro planeta, cosa de 1.377,452 kilómetros, poco ménos del doble de la distancia de la Tierra a la Luna; y por lo tanto, su volumen es poco menor que el de otra esfera cuyo diámetro fuese igual á la distancia de la Tierra á su sateelite, es 1.259,712 veces mayor que la Tierra. Un arco de un segundo, observado desde nuestro planeta, en el centro del disco solar equivale á 715 kilómetros, lo que da 429,000 para un arco de un minuto; y sin embargo, se observan con frecuencia manchas cuyo diámetro es de un minuto, y llamas cuya altura llega á tres, ó sea 128,700 kilómetros. Los hilos de araña que se emplean en los micrómetros, en un antejo de 4<sup>m</sup>,30, cubren en el Sol un espacio de 238 kilómetros. Estos ejemplos bastan para hacer comprender qué enormes dimensiones tienen unos objetos que apenas podemos percibir. Vista desde el Sol, tendria la Tierra un diámetro aparente de 47",82; y por lo tanto, su rádio, que es de 6,377 kilómetros, 8",91: este es el valor de la paralaje ecuatorial del Sol, actualmente adoptado, base fundamental de todos nuestros cálculos. Pronto nos serviran los números expresados, ya para apreciar las dimensiones de los objetos que se ven sobre el disco solar, ya para valuar sus movimientos.

## § II. MANCHAS SOLARES.

Nada conocieron los antiguos respecto á la constitucion fisica del Sol. Cierta es que en algunos casos

señalaron la existencia de unas manchas negras, que se distinguían á simple vista cuando el Sol estaba cerca del horizonte; pero se las tomó por planetas en conjuncien ó por fenómenos de causa desconocida. Tales son las observaciones de manchas hechas en los años de 807, 840, 1096 y 1588. El mismo Kepler creyó observar el paso de Mercurio sobre el Sol, y era una mancha lo que tenía ante sus ojos.

Los chinos nos han precedido en este descubrimiento. En la obra enciclopédica de Ma-Twan-Lin existe una tabla digna de atención, que contiene 45 observaciones hechas desde el año 304 al 1205 de la era vulgar. Para dar idea de la magnitud relativa de las manchas, las compararon á un huevo, un dátil ó una ciruela. Las observaciones se sostuvieron frecuentemente por varios días, y llegaron á hacerse por diez consecutivos en algunos casos. No es posible dudar de la realidad de estas observaciones, y sin embargo, de nada han podido servir á los europeos, puesto que no se han publicado hasta estos últimos tiempos. (1)

Los astrónomos chinos no nos han dado á conocer el método que empleaban para sus observaciones; pero es sabido que con ayuda de un vidrio ennegrecido se puede, á simple vista, observar las manchas mayores. Antes que se conociesen los anteojos, se recibían los rayos solares en la cámara oscura, por un agujerito circular practicado en el ventanillo. Procediendo

---

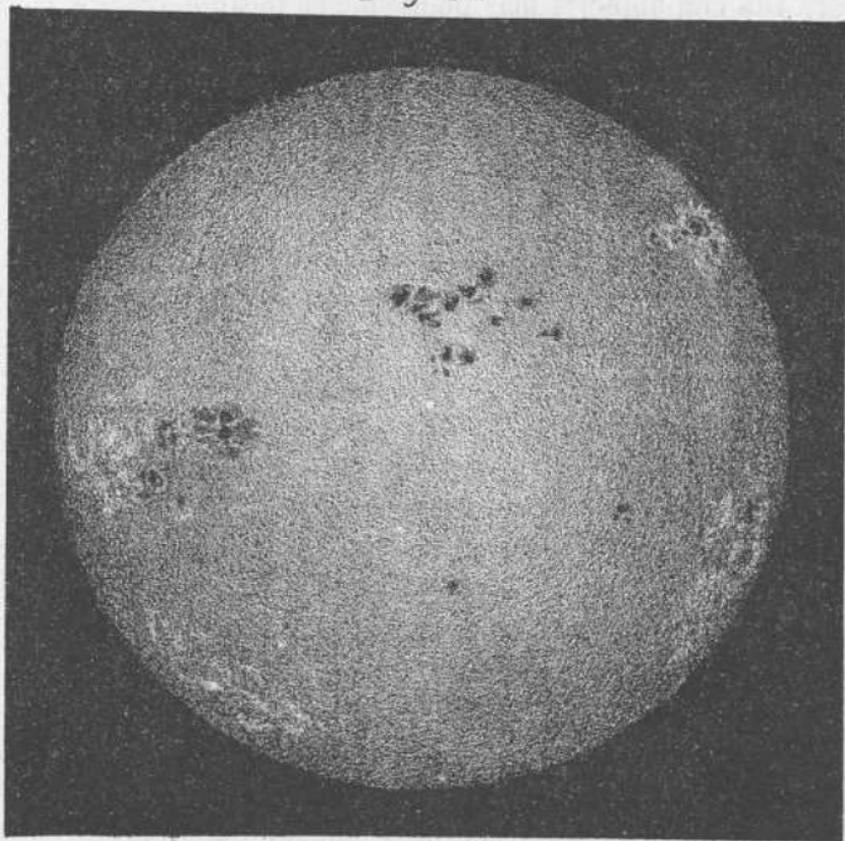
(1) V. Williams, Month. nat. Astr. soc. vol. XXXIII p. 370, Abril.

así, consiguió Juan Fabricio, en Diciembre de 1610, ver una mancha considerable y observar su movimiento de un modo bastante perfecto para inducir de él la rotacion solar. Bien es cierto que estas observaciones no se publicaron hasta bastante despues, cuando ya otros observadores sirviéndose de anteojos habian obtenido mejores resultados.

Aun con anteojos más pequeños es posible observar las manchas del Sol, siempre que sobre el ocular se coloque un vidrio de color subido. De ordinario se presentan como puntos negros y redondos, pero á menudo tambien se agrupan y dan origen, por su conjunto, á figuras muy singulares. La parte central es negra y se la designa con los nombres de núcleo ó sombra; el exterior, formado por una media tinta, se llama penumbra. Los contornos de la sombra y penumbra se destacan con limpieza, al ménos en el mayor número de casos.

Son en extremo variadas las dimensiones de las manchas: hay unas que parecen puntos negros y se llaman poros; con frecuencia se observan otras que subtienden ángulos de 30 á 40 segundos; pero las grandes son raras y de ordinario resultan de la reunion de varias manchas menores. Así se han visto grupos de esta clase que alcanzaban un diámetro de algunos minutos, y cuya superficie era mayor que la de la Tierra y aun mayor que la de Júpiter. Para dar al lector una idea de la estructura y tamaño de las manchas, reproducimos aquí (fig. 4.<sup>a</sup>) una fotografia del Sol, obtenida por Rutherford el 22 de Setiembre de 1870 á las 9<sup>h</sup> 26<sup>m</sup> 10<sup>''</sup>, tiempo sidereo de New-York.

*Fig 1<sup>a</sup>*





Sobre los bordes del disco se distinguen unas manchitas blancas, llamadas *fáculas* por los astrónomos, que pronto estudiaremos. Todas estas manchas cambian de forma y lugar, según leyes que ya daremos á conocer. Los bordes de la imagen son ménos luminosos que el centro, como puede reconocerse empleando una gran ampliación y pasando rápidamente del limbo al centro del disco solar. Esta experiencia da muy buenos resultados usando el método de las proyecciones, que á su tiempo explicaremos.

### § III. DESCUBRIMIENTO DE LAS MANCHAS SOLARES.

El descubrimiento de las manchas es uno de aquellos de que puede decirse que ha sido hecho no por un hombre, sino por una época. Los observadores que tenían anteojos á su disposición, tarde ó temprano habian de dirigirlos hácia el Sol. La dificultad solo estribaba en encontrar el medio de resguardar los ojos. Así, en el jardín Bandini, mostraba Galileo á los literatos de Roma las manchas del Sol, próximo al horizonte: en la misma época (Marzo de 1618) Scheiner también las observaba en Ingolstadt, valiéndose de un vidrio de color que colocaba delante del ocular (1); y Fabricius preparaba en secreto la edición de su célebre Memoria, que no fué conocida hasta más tarde, no obstante haberse adelantado en el des-

---

(1) Véase la primera carta de Scheiner á Velser. Es la primera publicación sobre este asunto. Se titula: *Apellis post tabulam latentis tres epistolæ de maculis solaribus ad Marcum Velserum.*

cubrimiento á todos sus contemporáneos. Aunque Galileo precediese á Scheiner en el estudio de las manchas, ni lo prosiguió ni conoció su importancia hasta despues de publicadas las tres cartas, que bajo pseudónimo dirigió el jesuita alemán, con fecha 12 de Diciembre de 1611, á Marc Velsler, burgomaestre de Ausburgo. En ellas trataba Scheiner del número de las manchas, de la variación de sus formas y de su movimiento aparente sobre el disco solar; tambien hablaba de las penumbras, de las fáculas y de los medios de observarlas; pero propuso una desacertada explicacion del fenómeno, atribuyéndolo al paso de planetas muy próximos al Sol.

Sus cartas excitaron vivamente la curiosidad de Galileo, que pronto conoció la importancia y las dificultades del asunto. Se puso á trabajar, y al cabo de algunos meses de observacion se halló en estado de dar la verdadera teoría. Habia reconocido que las manchas están adheridas al Sol, y que su movimiento aparente es resultado del movimiento de rotacion de este astro. Conclusion en extremo difícil de establecer entónces, porque el anteojo de Galileo, único conocido en aquella época, no permite el empleo del micrómetro, y por lo tanto era imposible tomar las posiciones de una manera exacta: solo cuando Scheiner, primero, y Castelli despues, comenzaron á estudiar las imágenes proyectadas por el anteojo sobre un plano, fué cuando la medicion comenzó á adquirir exactitud.

El hecho material del descubrimiento de las manchas no dependia más que del tiempo y del acaso; pero corresponde al génio el descubrimiento de la ver-

dadera teoría, y á la paciencia atenta y perseverante el estudio del fenómeno. Respecto al génio, Galileo no tiene rival; respecto á la observacion, Scheiner ha merecido bien de la ciencia. Despues, en el ardor de la controversia, se le ha acusado de plágio; pero el testimonio de Galileo basta y sobra para responder á esta acusacion (1). A la paciencia verdaderamente ger-

---

(1) La admiracion y las vacilaciones de Galileo se manifiestan desde la primera contestacion que dirigió á Marc Velsler, aunque escribia tres meses despues de haber recibido el opúsculo de Scheiner. Debemos hacerle justicia y consignar que tuvo mucha más moderacion que todos sus amigos que, arrastrados por una apasionada admiracion, llegaron á olvidar todo miramiento y prudencia, llegando á declarar, era imposible que nadie hiciese tales descubrimientos, puesto que los cielos están reservados á Galileo! Cómo admitir que haya guardado un silencio tan absoluto y tan prolongado sobre un asunto de tanta importancia? El, que desplegaba un celo tal en la revindicacion de todos los que le pertenecian, y que recurrió á los anágramas y á los logogrifos para conservar la prioridad. Sin embargo, le creemos bajo su palabra y nos contentamos con dejar á un lado las calumniosas exageraciones de sus amigos.

Scheiner descubrió las manchas procurando medir el diámetro solar, (*Rosa Ursina* p. 17). Habia construido un antejo con lentes de vidrio fuertemente coloreado, al que renunció despues, cuando imaginó adaptar un vidrio de color al ocular de un antejo ordinario. Sus numerosas observaciones están consignadas en la copilacion titulada *Rosa Ursina*, dedicada, segun el uso de la época, al príncipe Ursini que sufragaba los gastos

mánica de Scheiner debemos una larga série de observaciones llena de interesantes pormenores, que en estos últimos tiempos ha sido apreciada en su justo valor. Fué el primero que usó los vidrios de color y el sistema de proyeccion por el antejo; tambien perfeccionó este procedimiento, siguiendo los consejos del P. Greinberger, y construyó de esta manera un aparato que es la primera forma de la ecuatorial moderna.

#### § IV. MEDIOS PARA OBSERVAR LAS MANCHAS.

La observacion de las manchas por proyeccion, sirviéndose de un antejo, es lo bastante cómoda y lo bastante exacta para que nos ocupemos en

---

de la edicion. Esta obra, tan desacreditada por los contemporáneos, contiene, sin duda, muchas cosas inútiles revueltas con preciosas investigaciones; pero ¿qué no se perdona á Scheiner? Fueron males de la época y del país. Por lo demás la posteridad le ha sido justa. Le Lande ha escrito estas memorables palabras: «Sea quien fuere aquel á quien la casualidad haya hecho ver las manchas por vez primera, es cierto que nadie las observó mejor ni dió una teoría astronómica tan completa como Scheiner.» (Astr. t. III, núm. 3227) Hévélius le cita con el mayor elogio. «*Incomparabilis et omnigenæ eruditionis virum.... ut in hac materia omnibus palmam quasi præripuisse dici possit.*» (Selenographia p. 82).

Es de sentir que no hayamos podido encontrar sus manuscritos, que hemos buscado á peticion de Wolf de Enrich.

describirla. En el ventanillo de una cámara oscura se hace un agujero un poco mayor que el objetivo del anteojo, y se coloca éste en la dirección de los rayos solares; se mueve el ocular, separándolo del objetivo, hasta que la imágen, proyectada sobre un plano blanco, destaque sus bordes con limpieza, y las manchas, si las hay, pronto aparecen claras y definidas.

Las imágenes proyectadas por los anteojos están invertidas, con relación á la que se vería observando directamente con el mismo instrumento. Si se observa, pues, con uno astronómico, en el cual las imágenes están siempre invertidas, la proyección será directa, esto es, el Norte, Sur, Este y Oeste, corresponderán á los del cielo: por lo tanto, se verán aparecer las manchas por el limbo oriental y desaparecer por el occidental. Cuando se haga uso de un anteojo, ya terrestre, ya de Galileo, se observará lo contrario; porque viéndose con estos instrumentos las imágenes directas, en la proyección aparecerán invertidas, y las manchas, en la imágen, describirán su trayectoria en sentido contrario al movimiento verdadero. Actualmente se emplean en los observatorios instrumentos de gran tamaño, que sirven también para fotografiar el Sol.

La disposición general de estos aparatos viene á ser la siguiente. Sobre un basamento sólido, independiente del piso, á fin de evitar el efecto de los movimientos de los observadores, hay un bastidor de hierro, en forma de escuadra próximamente, sobre el que gira un fuerte eje del mismo metal, situado en el plano del meridiano é inclinado segun la latitud

del lugar; este eje termina por su parte superior, extremo polar, en dos brazos en escuadra, que sostienen los muñones del anteojo giratorio; á este anteojo se une una plancha de madera que sostiene á su vez el plano de proyeccion, situado perpendicularmente al eje del anteojo y á distancia conveniente del ocular. Tanto el anteojo como el eje de hierro tienen sus círculos, en que puede medirse el movimiento que se les imprima, siendo respectivamente los correspondientes á declinacion y ascension recta. Además, para mantener el anteojo en posición hay una ó más barras auxiliares.

Unido este aparato á un poderoso movimiento de relojería, dispuesto de modo que comunique al círculo horario un movimiento de rotacion completa en veinte y cuatro horas, puede el anteojo seguir al Sol constantemente, y todos y cada uno de los puntos de la imagen proyectada permanecen inmóviles en el plano de proyeccion; de este modo pueden hacerse los dibujos con más rapidez, facilidad y exactitud. Como estos instrumentos con cortas diferencias se encuentran en todos los observatorios, nos abstendremos de especificarlos más. La sucinta relacion anterior corresponde al existente en el observatorio del Colegio Romano.

Bien asegurado este aparato, permite se le adapten todos los instrumentos necesarios para el estudio del Sol, como son: cámaras fotográficas, espectróscopos, etc. Colocado el instrumento bajo un *domo* móvil, cuyas aberturas estén provistas de cortinas negras, se puede fácilmente conseguir que no penetre hasta el instrumento más luz que la que atraviere el an-

tejo. Esta disposicion me parece buena, y la he usado con buen éxito.

Cuando se hacen proyecciones de gran tamaño y se trata de investigaciones de precision, es necesario hacer en las medidas que se obtengan, una correccion que puede tener importancia. Los rayos emergentes del ocular forman una imágen cuyos puntos se encuentran realmente sobre una superficie esférica, y la proyeccion se verifica sobre un plano tangente, ó más bien sobre el secante si está á foco el limbo solar. La diferencia entre la cuerda y la tangente no es despreciable, y ya Scheiner se hizo cargo de esta causa de error. Por lo demás este método solo puede servir para investigaciones generales; cuando se quiera obtener pormenores exactos, es preciso acudir á mediciones micrométricas. Esta clase de observaciones no es fácil de hacer, y más adelante explicaremos la disposicion y uso de los instrumentos que para ellò se emplean.

## CAPÍTULO II.

### Leyes fundamentales del movimiento de las manchas.

#### § I. REVOLUCION DE LAS MANCHAS.

1.º Las manchas, generalmente, se presentan en el limbo oriental, atraviesan el disco describiendo una trayectoria oblicua con relacion al plano de la eclíptica y al movimiento diurno, y desaparecen á los

catorce días por el borde occidental; y no es raro ver que una mancha, después de haber estado oculta durante igual periodo, reaparece en el borde oriental para comenzar una nueva revolución, y aun en algunos casos llega á verificar una tercera, y aun una cuarta; pero de ordinario la mancha se deforma y disuelve, bien antes de salir del disco, bien durante el tiempo en que permanece oculta.

2.º Cuando aparecen simultáneamente varias manchas sobre el disco solar, se observa que describen trayectorias sensiblemente paralelas, aunque estén situadas en latitudes muy diferentes. De aquí se infiere que no son independientes las unas de las otras, como ocurriría si fuesen satélites, y que se encuentran situadas en la superficie del Sol, que las arrastra en su movimiento de rotación. Además, si se admitiese que las manchas son astros, habría necesidad de considerar del mismo modo á las fáculas, que están dotadas de igual movimiento: hipótesis absurda, porque como decía Galileo, no es posible suponer que existan alrededor del Sol astros más brillantes que el Sol mismo.

3.º Si se señala diariamente sobre el mismo diseño la posición de las manchas, á una hora determinada, se observa que el movimiento aparente crece en velocidad cuando están cerca del centro, y se retarda notablemente hácia el limbo.

Pero este último hecho es solo una apariencia, y depende de que creemos observar un movimiento en un disco, cuando realmente se verifica sobre una esfera, siguiendo un círculo paralelo al ecuador solar; porque al observar, proyectamos el paralelo y

con él las posiciones sucesivas de la mancha sobre un plano perpendicular á la visual. Para representar en cierto modo el fenómeno, tracemos una semi-circunferencia, dividámosla en partes iguales, y por cada uno de los puntos de division bajemos perpendiculares sobre el diámetro, que quedará dividido en partes más pequeñas hácia los extremos y mayores hácia el centro, siendo sin embargo proyecciones de arcos iguales. Sirviéndose de una construcción semejante mostró Galileo que las manchas no podian ser cuerpos independientes del Sol y separados de su superficie, porque solo el radio del paralelo solar satisfacía al cálculo de la traslación diurna.

## § II. CAMBIO DE FORMA DE LAS MANCHAS.

1.º Cuando una mancha se aproxima al limbo pierde poco á poco su forma redondeada, va haciéndose oval y termina por ser casi lineal. Estos cambios son tambien aparentes, y se explican del mismo modo que la variacion de velocidad en la traslación. Pero este fenómeno prueba tambien, que las manchas están adheridas á la superficie del Sol; porque la hipótesis contraria obligaria á suponer que eran astros extraordinariamente aplastados, lo que es contrario á cuanto conocemos referente á la forma de los cuerpos celestes. Galileo las comparaba á nubes, y más tarde Scheiner las consideró como cavidades. Pronto veremos á qué hemos de atenernos.

2.º A más de estas deformaciones aparentes se verifican otras reales. Con frecuencia cambia la for-

ma de las manchas de un modo notable, no sólo de un día para otro, sino en el intervalo de algunas horas. Hé aquí un ejemplo tomado de las observaciones hechas por Rutherford desde el 19 al 26 de Setiembre de 1870. Se vió primero aparecer una mancha en el borde del disco; veinticuatro horas más tarde, el 20 de Setiembre, parecia más ancha, pero esto no era más que un efecto de perspectiva; el 21 el núcleo se dividió en dos círculos incompletos reunidos entre sí, y la forma general se asemejaba á la de una lemniscata; á la mañana siguiente los dos círculos casi estaban completos, y uno de ellos atravesado por una banda luminosa; en los días siguientes las dos partes se separaron más y más; el 24 se subdividieron á su vez, y el 26 se observaron cuatro núcleos principales rodeados de otros más pequeños y ménos definidos.

Otras veces, por el contrario, varias manchas se reúnen en una sola; en lo sucesivo tendremos ocasion de citar observaciones que ofrecen ejemplos numerosos y evidentes. Estos cambios de forma influyen mucho sobre los movimientos, y alteran profundamente la regularidad geométrica de que antes hablamos: por estas perturbaciones fué imposible á los primeros observadores determinar con exactitud la duracion de la rotacion solar.

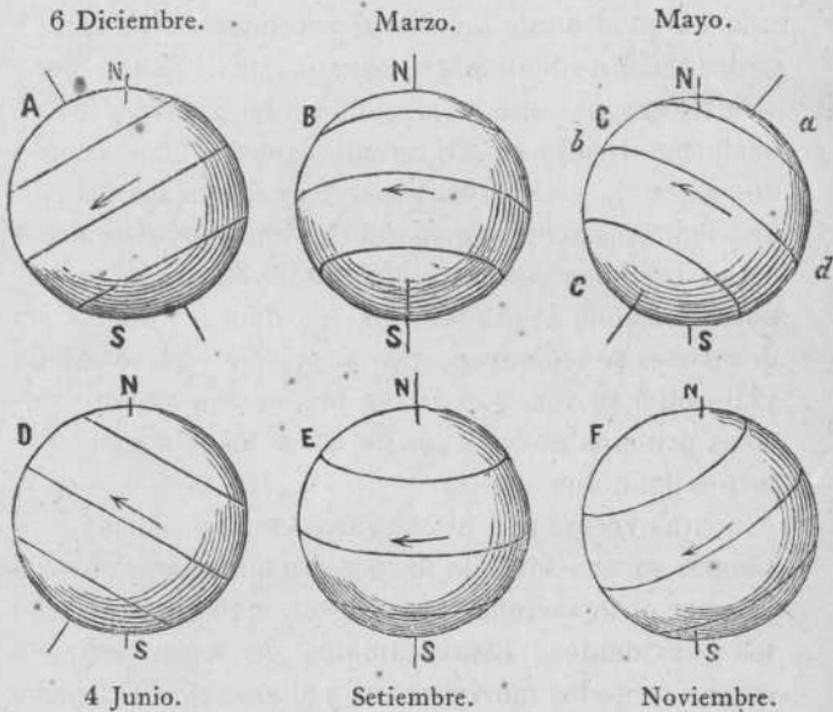
### § III. VARIACIONES ANUALES

#### EN EL MOVIMIENTO APARENTE DE LAS MANCHAS.

3.º Las trayectorias descritas por las manchas varían con las estaciones. En el mes de Marzo son

elipses muy alargadas, que vuelven su convexidad hácia el Norte y tienen su eje mayor casi paralelo á la eclíptica (fig. 2,) B. Desde este tiempo, la curvatura

Fig. 2.



de la elipse va disminuyendo constantemente é inclinándose el eje mayor sobre la eclíptica, tal como se vé en C, (fig. 2) hasta que en Junio, trasformada casi en línea recta, toma la posición marcada en D; de Junio á Setiembre reaparece la curva elíptica, pero en posición inversa á la precedente, E; despues continúa recorriendo las mismas faces, inversas á las descritas, y vuelve á afectar la forma elíptica alargada de la figura F, llegando á constituir en Diciembre la línea

recta A, y al cabo del año vuelve á la forma y disposicion señalada en B. En este dibujo se han exagerado un poco la curvatura y la inclinacion para poner más de manifiesto las variaciones.

Todas estas formas de trayectorias aparentes, no son más que juegos de perspectiva. En realidad las manchas siguen los paralelos al ecuador solar, cuyos paralelos constantemente proyectamos, en las observaciones, sobre un plano perpendicular al rayo visual que parte del ojo del observador pasando por el centro del Sol. Naturalmente estas proyecciones cambian de forma á medida que el observador varia de lugar; así tienen diferente aspecto segun ocupa la Tierra posiciones distintas respecto al ecuador solar. Cuando esta se encuentra en uno de los nodos, ó sea, uno de los puntos en que la eclíptica corta al ecuador solar, todos los paralelos se proyectan segun líneas rectas, y las trayectorias de las manchas aparecen por lo tanto rectilíneas. Esto ocurre siempre que la longitud del Sol es de  $74^{\circ} 30'$ , ó  $254^{\circ} 30'$ , ó sea el 4 de Junio y el 6 de Diciembre. Por el contrario, cuando la tierra está por encima ó por debajo del ecuador solar, las proyecciones de los paralelos, y por lo tanto las trayectorias, son elípticas, y la curvatura es tanto más grande cuanto mayor es la distancia á que nos encontramos del dicho plano. El máximo de curvatura ocurrirá, pues, cuando la longitud solar se diferencie en  $90^{\circ}$  de los números que hemos indicado al situar los nodos.

Acabamos de examinar la posicion de las manchas con relacion á la eclíptica; tambien podríamos examinarla con relacion al ecuador celeste. Como los

planos de estos dos círculos máximos forman ángulos entre sí y con el del ecuador solar, resulta que la línea que representa este último círculo cambia diariamente de dirección de una manera notable. Como siempre se determina la posición de los puntos observados con relación al paralelo del movimiento diurno de la esfera celeste, es conveniente poder determinar en cualquier caso el ángulo formado por este paralelo con el eje mayor de la proyección del ecuador solar. Para facilitar esta averiguación insertamos una tabla en que consta, con la aproximación necesaria, el valor de este ángulo en cada día del año. El ángulo se cuenta á partir del punto más boreal del disco solar en dirección al Este; si la imagen fuese invertida, es decir, si se observase directamente con un anteojo astronómico, ó se estudiase una proyección obtenida con un anteojo terrestre ó de Galileo, se deberá contar el ángulo desde el punto que parece corresponder al Sur, en dirección al Oeste. (1)

---

(1) Esta tabla ha sido calculada para el año de 1873; puede, sin embargo, servir para los demás siempre que no se necesite una gran aproximación; el error debido á los años bisiestos no pasa nunca de una fracción de grado bastante pequeña. Esta tabla es suficiente siempre que se trate de construcciones gráficas.

TABLA de los ángulos de posición del  
cuenta del Norte hacia el Este.

ENERO.		FEBRERO.		MARZO.		ABRIL.		MAYO.		JUNIO.	
1	91.36	1	77.26	1	68.15	1	63.42	1	65.51	1	74.40
2	91.07	2	77.01	2	68.01	2	63.41	2	66.02	2	75.03
3	90.38	3	76.37	3	67.48	3	63.40	3	66.14	3	75.27
4	90.09	4	76.13	4	67.35	4	63.39	4	66.25	4	75.51
5	89.40	5	75.51	5	67.20	5	63.39	5	66.37	5	76.15
6	89.09	6	75.29	6	67.07	6	63.40	6	66.49	6	76.39
7	88.40	7	75.07	7	66.54	7	63.40	7	67.02	7	77.03
8	88.11	8	74.45	8	66.42	8	63.41	8	67.15	8	77.27
9	87.43	9	74.23	9	66.30	9	63.42	9	67.29	9	77.51
10	87.15	10	74.00	10	66.18	10	63.43	10	67.44	10	78.16
11	86.47	11	73.39	11	66.07	11	63.44	11	67.59	11	78.42
12	86.18	12	73.18	12	65.56	12	63.46	12	68.15	12	79.08
13	85.50	13	72.58	13	65.46	13	63.49	13	68.31	13	79.34
14	85.22	14	72.38	14	65.37	14	63.52	14	68.47	14	80.00
15	84.54	15	72.19	15	65.28	15	63.55	15	69.04	15	80.26
16	84.26	16	72.00	16	65.19	16	63.59	16	69.21	16	80.52
17	83.58	17	71.40	17	65.10	17	64.04	17	69.38	17	81.18
18	83.31	18	71.21	18	65.01	18	64.08	18	69.56	18	81.45
19	83.04	19	71.02	19	64.52	19	64.13	19	70.14	19	82.11
20	82.37	20	70.43	20	64.44	20	64.18	20	70.33	20	82.37
21	82.10	21	70.24	21	64.36	21	64.24	21	70.52	21	83.02
22	81.43	22	70.07	22	64.28	22	64.31	22	71.11	22	83.28
23	81.17	23	69.50	23	64.21	23	64.39	23	71.30	23	83.54
24	80.51	24	69.35	24	64.14	24	64.47	24	71.50	24	84.21
25	80.25	25	69.16	25	64.08	25	64.56	25	72.10	25	84.49
26	79.59	26	69.00	26	64.03	26	65.04	26	72.30	26	85.17
27	79.33	27	68.44	27	63.59	27	65.13	27	72.51	27	85.44
28	79.07	28	68.29	28	63.54	28	65.21	28	73.12	28	86.11
29	78.42			29	63.50	29	65.30	29	73.33	29	86.38
30	78.17			30	63.47	30	65.40	30	73.55	30	87.06
31	77.52			31	63.44			31	74.17		

Ecuador celeste para el año de 1873. Se

JULIO.		AGOSTO.		SEPTIEMBRE.		OCTUBRE.		NOVIEMBRE.		DICIEMBRE.	
1	87.35	1	101.06	1	111.14	1	116.02	1	114.29	1	105.56
2	88.04	2	101.29	2	111.29	2	116.06	2	114.18	2	105.31
3	88.32	3	101.52	3	111.43	3	116.09	3	114.07	3	105.07
4	88.58	4	102.15	4	111.56	4	116.12	4	113.55	4	104.43
5	89.26	5	102.38	5	112.11	5	116.14	5	113.43	5	104.18
6	89.54	6	103.02	6	112.24	6	116.16	6	113.31	6	103.54
7	90.22	7	103.26	7	112.37	7	116.17	7	113.18	7	103.29
8	90.50	8	103.49	8	112.50	8	116.19	8	113.05	8	103.04
9	91.17	9	104.10	9	113.03	9	116.20	9	112.52	9	102.38
10	91.44	10	104.31	10	113.16	10	116.21	10	112.36	10	102.11
11	92.10	11	104.52	11	113.29	11	116.20	11	112.22	11	101.44
12	92.37	12	105.13	12	113.40	12	116.20	12	112.08	12	101.17
13	93.04	13	105.34	13	113.50	13	116.19	13	111.53	13	100.50
14	93.30	14	105.54	14	114.00	14	116.17	14	111.37	14	100.22
15	93.57	15	106.14	15	114.10	15	116.15	15	111.20	15	99.55
16	94.24	16	106.35	16	114.20	16	116.12	16	111.02	16	99.27
17	94.50	17	106.55	17	114.29	17	116.09	17	110.44	17	98.59
18	95.16	18	107.16	18	114.38	18	116.06	18	110.25	18	98.30
19	95.42	19	107.34	19	114.47	19	116.02	19	110.07	19	98.01
20	96.08	20	107.52	20	114.56	20	115.57	20	109.49	20	98.32
21	96.34	21	108.10	21	115.05	21	115.52	21	109.31	21	97.04
22	97.00	22	108.28	22	115.13	22	115.47	22	109.11	22	96.36
23	97.26	23	108.46	23	115.21	23	115.42	23	108.50	23	96.08
24	97.51	24	109.03	24	115.28	24	115.36	24	108.30	24	95.40
25	98.17	25	109.20	25	115.34	25	115.29	25	108.10	25	95.10
26	98.42	26	109.37	26	115.40	26	115.22	26	107.49	26	94.40
27	99.07	27	109.54	27	115.45	27	115.14	27	107.28	27	94.11
28	99.32	28	110.10	28	115.50	28	115.06	28	107.05	28	93.41
29	99.57	29	110.26	29	115.54	29	114.57	29	106.42	29	93.10
30	100.22	30	110.43	30	115.58	30	114.48	30	106.20	30	92.39
31	100.48	31	110.59			31	114.39			31	92.08

#### § IV. DE OTRAS PROPIEDADES DE LAS MANCHAS.

1.º No se presentan las manchas indiferentemente en cualquier punto del disco solar; en las inmediaciones del ecuador y en latitudes superiores á 35 ó 40 grados son muy raras; en las dos zonas comprendidas entre los 10 y 30 grados de latitud heliocéntrica se manifiestan en gran cantidad.

2.º El número de manchas es muy variable; á veces son tan numerosas que basta una sola observacion para reconocer las zonas de producción habitual; en otras, por el contrario, son tan escasas que puede trascurrir un año sin que se observe una sola. Hay notable regularidad en la alternativa de estos dos estados, que estudiaremos en el curso de nuestros trabajos.

Conviene, al estudiar las manchas, valuar su número y magnitud; operacion bastante arbitraria, porque, no obstante dividir las manchas y puntos, con frecuencia un observador señala un grupo de manchas donde otro lo indica como formado de puntos. Para formarse idea exacta de la superficie que en un instante dado ocupa cada mancha, es necesario medirla, tal como lo há hecho W. de la Rue en las observaciones hechas en Kew y como lo ha hecho Carrington; pero este trabajo es muy largo, y sólo puede ejecutarse sobre fotografías ó dibujos perfectamente hechos. Para ejecutar esta medicion se usa un cristal plano en que se traza un reticulo (1), cuyas li-

(1) Cuadrícula, en este caso.

(N del T.)

neas sean muy finas y estén muy próximas; se cuenta el número de cuadrados que ocupa la mancha, distinguiendo los que correspondan al núcleo, sombra, y penumbra, y se halla la relación entre un cuadrado y la superficie total del disco. Con estos elementos se determina por una sencilla operación aritmética la superficie de la mancha con una exactitud bastante para el estado actual de la ciencia, siempre que se trate de dibujos ordinarios y la observación se haya hecho cuando la mancha esté suficientemente apartada del limbo; en otro caso, es preciso tener en cuenta la curvatura de la superficie solar y corregir los valores obtenidos en la medición, lo que exige pesados cálculos. En la práctica, ofrece ventajas el emplear en las descripciones ciertos términos convencionales que abrevian el discurso. Se llaman *nucleares* las manchas redondas que tienen núcleo; se designan con la letra *N* aquellas cuyo diámetro excede a 30", y con la *n* cuando el diámetro no alcanza esta magnitud; una reunión de puntos se expresa por *p* ó *pp*, según el caso, pero si fuesen muchos los puntos se expresará así, *mp*. Ejemplo: una mancha nuclear grande, acompañada de puntos, se expresará *Npp* ó *Nmp*; si la composición del grupo fuese diferente, se expresará por la combinación que corresponda. (1)

Cuando la mancha es circular, puede medirse bien

---

(1) Para más pormenores véase *El Boletín del Observatorio del Colegio Romano*. Estas indicaciones, innecesarias para los astrónomos, se dirigen á los aficionados.

con una regla dividida en milímetros; cuando es irregular y no se aproxima su forma á una figura geométrica, es necesario acudir al cristal cuadrículado. Estas mediciones son, sin duda alguna, inexactas; pero comparando sus resultados con la superficie total de la proyeccion solar, se adquiere una idea bastante exacta de la magnitud que se quiere apreciar. Por ejemplo: si suponemos que la proyeccion solar tiene de radio  $421^{\text{mm}},5$ , la superficie será de  $46377$  milímetros cuadrados, y eligiendo como unidad la millonésima parte de la superficie de la proyeccion, cada milímetro cuadrado valdrá  $215,622$  partes; teniendo á más en cuenta que la superficie de la proyeccion es la cuarta parte de la total superficie solar,\* nada más fácil que calcular la relacion entre esta y la de una mancha, medida según se ha indicado.

3.º Cuando se trata de determinar el tiempo de la rotacion solar por la reaparicion de las manchas, se notan grandes anomalías, cuya causa ha permanecido oculta durante largo tiempo. Por término medio, las manchas vuelven á ocupar, aparentemente, su primera posicion al cabo de veinte y siete dias y un tercio próximamente; pero esta observacion tiene una causa de error que es preciso tener en cuenta, á saber, que mientras la rotacion solar se verifica, la Tierra no permanece inmóvil, y describe en su órbita un arco de unos  $25^\circ$  en el sentido mismo de la rotacion solar. Por lo tanto, cuando termina la rotacion aparente de la mancha, ya hace casi dos dias que terminó su revolucion y comenzó la segunda. Teniendo en cuenta la correccion que exija este fenómeno, se

halla que la revolucion solar se verifica en veinte y cinco dias y medio próximamente. (1).

Este resultado es solo una aproximacion, y los que se ocupan de estudios exactos emplean métodos más rigorosos. Otras varias causas introducen irregularidades en el movimiento aparente; por de contado una de ellas es el no cortar siempre en dos partes iguales el contorno aparente del Sol á la circunferencia que describen las manchas. Tambien resulta de la combinacion de estos movimientos que un punto, cualquiera de la superficie del Sol, observado desde la Tierra, en vez de describir una elipse sencilla, recorre una cuyos ejes varian constantemente de posicion y magnitud. (Véase § III).

#### § V. OJEADA SOBRE LAS HIPÓTESIS EMITIDAS RESPECTO Á LA NATURALEZA DE LAS MANCHAS.

En un principio consideró Scheiner las manchas como satélites que giraban alrededor del Sol, opinion insostenible que pronto abandonó, y que sin embargo se ha tratado de reproducir. Despues de haber guar-

---

(1) Suponiendo la órbita terrestre circular y que la tierra la recorre con movimiento uniforme en  $365\frac{1}{4}$  dias, corresponde á cada dia un movimiento de  $360^\circ:365\frac{1}{4}$  dias, puesto que la circunferencia tiene  $360^\circ$ ; en  $27\frac{1}{3}$  dias habrá recorrido la tierra  $\frac{360}{365\frac{1}{4}} \times 27\frac{1}{3} = 27^\circ$ , y la mancha solar  $360 + 27$ ; el tiempo de la revolucion solar se obtiene por la siguiente proporcion,  $387:27\frac{1}{3}::360:x$ ;  $x=25$  dias 9 horas. (N del T.)

dado largo tiempo un prudente silencio, supuso Galileo que eran nubes ó humos flotantes en la atmósfera solar. Esta era, sin duda, la opinion más acertada que podia fundarse sobre las poco exactas observaciones que se habian podido hacer. Tal fué durante largo tiempo la creencia general, y aun en el nuestro ha sido sostenida por respetables hombres de ciencia, no obstante las graves objeciones que pueden oponérsele. Scheiner, en los últimos años de su vida, anunció que las manchas se encontraban situadas más abajo del nivel general de la superficie solar; pero no dió á conocer con bastantes pormenores los hechos en que descansaba su afirmacion.

Algunos astrónomos, entre ellos el célebre le Lande, creyeron, por el contrario, que serian verdaderas montañas, cuyas laderas más ó ménos escarpadas producirian el fenómeno de la penumbra; opinion inconciliable con el movimiento propio bien marcado que á veces poseen las manchas. Derham las atribuyó á humos salidos de los cráteres volcánicos del Sol, opinion que tambien en estos últimos tiempos ha sostenido Chacornac. Otros, considerando el Sol como una masa líquida é incandescente, explicaron la existencia de las manchas suponiéndolas escorias flotantes sobre ese oceano de fuego.

Apenas habia trascurrido un siglo desde que por primera vez se observaron las manchas cuando un astrónomo inglés, Wilson, hizo un descubrimiento memorable: mostró con evidencia que las manchas son cavidades, y dió la primera idea de la verdadera constitucion del Sol, comparando á una nu-

be poderosamente iluminada la envoltente luminosa que llamamos *fotoesfera*.

Todas las opiniones emitidas sobre la naturaleza de las manchas dependen de la idea preconcebida respecto al Sol, á su naturaleza y al estado de su masa interior. Si se le considera como lava líquida é incandescente, es lógico admitir que las manchas son escorias sólidas y oscuras flotando en la superficie: suponiendo gaseosa y constituida próximamente como las nubes de nuestra atmósfera la capa exterior solar, no es posible usar la palabra escoria, que representa sustancia sólida, y naturalmente se pueden concebir las manchas como gases lanzados del interior del Sol y que, enfriados por expansion, se acumulan en la superficie exterior, formando regiones ménos brillantes que aparecen oscuras por contraste.

No es aun tiempo de decidirnos por ninguna hipótesis; seria una eleccion prematura, y antes de hacerla nos es preciso un estudio atento y minucioso de los hechos que la observacion nos revela. Continuemos, pues, el análisis, y veremos como nos conduce naturalmente á ideas exactas sobre la constitucion física del Sol y la naturaleza de sus manchas.

#### § VI. TRABAJOS DE HERSCHEL.

El descubrimiento de Wilson fué el punto de partida de los grandes trabajos de Herschel. Pocas palabras diremos de ellos, porque la época en que vivió este astrónomo, está ya muy cerca de aquella en que

es imposible seguir el orden cronológico en la exposicion de los descubrimientos. W. Herschel fué un hombre de génio, pero en primer término fué un observador excepcional. Tantos fenómenos habia visto con el auxilio de aquellos poderosos instrumentos contruidos por sus propias manos, que en el campo de la observacion telescópica poco dejó que hacer á sus sucesores. Pero como sus instrumentos fueron solo suyos, el lenguaje que tuvo precision de crear para expresarse, tambien le fué peculiar y no siempre llegó á ser entendido de los demás. Solamente hoy dia, con ayuda de instrumentos análogos á los que usó, podemos juzgar de la extension de sus descubrimientos.

La idea capital de Herschel descansaba en el descubrimiento de Wilson. Como este astrónomo, pensaba con razon que si las manchas eran cavidades, la materia luminosa no podia ser ni un líquido ni un gas; porque de serlo se precipitaria con espantosa rapidez y llenaria los vacíos, haciendo asi imposible la persistencia de las manchas, que podemos observar á veces durante varias revoluciones. Los movimientos propios de las manchas prueban, por otra parte, que no es sólida la fotoesfera. No es posible, pues, compararla más que con las nieblas ó las nubes de nuestra atmósfera y, como ellas, debe estar flotando en otra análoga. Tal es, segun Herschel, la única hipótesis que puede explicar las rápidas variaciones de que somos testigos. Veremos, sin embargo, que aun puede darse otra explicacion de estos fenómenos.

Con perspicacia digna de su génio continuó Hers-

chel estos estudios en su segunda memoria. Desgraciadamente se dejó seducir por la idea de la *habitabilidad* del Sol, y le fué preciso un núcleo sólido que sostuviese á los habitantes y un medio cualquiera que los protegiese contra la radiacion de la fotosfera. Para esto supuso la existencia de una capa de nubes sobre el núcleo, siempre unida á la fotosfera, á manera de forro, desgarrándose al mismo tiempo que ella y dejándonos así ver la parte sólida. Conjunto de hipótesis arbitrarias, sin base alguna en la observacion y opuestas á los principios de la fisica moderna.

A pesar de esto, en los trabajos de Herschel se encuentran tantas cosas positivas y tantas ideas exactas, que han hecho progresar en gran manera nuestros conocimientos sobre la verdadera constitucion del Sol, y con frecuencia los tomaremos como guia en la exposicion que vamos á hacer.

#### §. VII. DE OTROS TRABAJOS SOBRE LA NATURALEZA DE LAS MANCHAS.

Nada diremos de los trabajos de los astrónomos antiguos, Hévélius, Cassini, Huyghens, Messier, de la Lande, etc.; por laboriosas que hayan sido sus observaciones, poco servicio prestaron á la ciencia de la fisica solar por la imperfeccion de los instrumentos de que se sirvieron. Sin embargo, nos han dejado detalles importantes y, sobre todo, reunieron documentos preciosos relativos á la rotacion del Sol, al número y posicion de las manchas, á las dimensiones y distribucion de las mismas sobre la superficie del globo solar, etc. Al celo de Wolf, actual direc-

tor del observatorio de Zurich, debemos una recopilacion, lo más completa posible, de todos los trabajos sobre el Sol publicados hasta el dia. Con el titulo de *Literatura solar*, forma parte esta coleccion de sus *Mittheilungen über der Sonnenflecken*; para todos los datos bibliográficos ó históricos relativos al asunto remitimos al lector á la citada obra.

Expuestas ya brevemente las investigaciones hechas por nuestros predecesores, llegamos á los trabajos de nuestros contemporáneos, y en este punto tenemos que renunciar á seguir el órden histórico para sugetar la exposicion, en cuanto nos sea posible, al órden lógico de las ideas que nacen del estudio de los hechos. Con frecuencia tendremos ocasion de citar los nombres de Herschel, Carrington, Warren de la Rue, Faye, Spörer, Zöllner, Wolf, Schwabe, Tacchini, Donati, Toung, Respighi, Lockyer, Huggins, y de esa pléyade de observadores celosos y perseverantes que armados del espectróscopo han realizado descubrimientos tan inesperados. Nos basta en este sitio citar solamente sus nombres; en las páginas siguientes irán unidos á sus descubrimientos. Tambien nos permitiremos usar ámpliamente de nuestros trabajos propios, sobre todo cuando se trate de asuntos dados á conocer por ellos, y cuando nuestras investigaciones personales sean más á propósito para ilustrar al lector y nos permitan describir más exactamente los fenómenos.

## CAPÍTULO III.

## Nuevos métodos de observacion.

## § I. OCULARES HELIOSCÓPICOS.

La principal dificultad con que siempre ha habido que luchar en la observacion de los fenómenos de la superficie solar, ha sido la gran intensidad de la luz del Sol. Cuando se usan anteojos ordinarios, pueden emplearse los vidrios de color, pero con la mayor facilidad se rompen ó se funden si se los aplica en los grandes instrumentos. Para remediar este inconveniente se han usado durante mucho tiempo los diafragmas que disminuyen la abertura del objetivo; pero asi se pierde una parte de las ventajas del instrumento, y se disminuye mucho la limpieza de la imagen. Este último accidente depende de la difraccion, tanto más considerable cuanto más pequeña es la abertura del diafragma. En efecto, cuando se observa una estrella con un buen antejo, la imagen se reduce á un punto; pero si el objetivo está provisto de diafragma, ya no sucede asi, en vez del punto se percibe un círculo, tanto mayor cuanto menor es la abertura del diafragma. Cuando es el Sol el astro observado, cada uno de sus puntos da lugar á un círculo de cierto tamaño, y sobreponiéndose los unos á los otros producen una imagen empastada y confusa, en que es imposible distinguir ningun detalle.

Con este inconveniente tropézó Herschel, y para

evitarlo conservaba toda la abertura á su telescopio y empleaba vidrios de color subido. Tambien ensayó otros varios medios, en particular el uso de líquidos coloreados, tales como el agua mezclada con tinta; pero el calor producía en ellos movimientos tumultuosos y resultaba gran confusión en las imágenes. Sir Jhon, su hijo, propuso el empleo de un espejo cóncavo de cristal no azogado; sin duda alguna se hubiera obtenido por este medio, en virtud del pequeño poder reflector del vidrio y de la gran abertura del instrumento, una imagen demasiado brillante para poder examinarla directamente con los ojos, pero susceptible de admitir la aplicación de cristales de color. Recientemente ha hecho uso de este procedimiento Chacornac, sirviéndose de un telescopio no plateado. Foucault proponía, por el contrario, se platease la superficie exterior de los objetivos de los anteojos para observar el Sol á través de una delgada capa de metal. Aseguran que por este medio se obtienen imágenes muy bellas y muy agradables á la vista; esto no viene á ser más que la idea de Scheiner, que proponía el uso de lentes coloreadas: pero estos procedimientos exigen un instrumento dedicado exclusivamente al Sol, y pocos astrónomos habrá que se decidan á sacrificarle su mejor objetivo. Tiene tambien el inconveniente de transmitir siempre la misma cantidad de luz al ojo del observador, y en la práctica conviene poder variarla á fin de estudiar mejor los detalles.

Era, pues, importante hallar un medio fácilmente adaptable á todos los instrumentos, y Dawes, astrónomo inglés, propuso aplicar el diafragma, no al objeti-

vo, sino al ocular; para esto recibia la imágen sobre una placa de marfil cubierta de metal y miraba por un agujero muy pequeño. Con frecuencia he usado este procedimiento, sirviéndome de una tarjeta cubierta de albayalde y agujereada con un alfiler, y apesar de la gran cantidad de calor que se encuentra en el foco de un objetivo grande, no solo no se quemaba, pero ni aun siquiera se ennegrecia. El único inconveniente que se encuentra es que el campo de vision se reduce extraordinariamente, pero en compensacion se pueden estudiar los detalles con mucha más facilidad, porque el ojo está libre de la accion de la mayor parte del disco.

Sin embargo, aun con el menor diafragma es preciso usar el vidrio de color. Sin duda, entre todos estos, son los mejores los llamados *graduados*, que se construyen con dos piezas en forma de cuña, una blanca y otra azul, superpuestas simplemente, porque el calor destruye cualquier sustancia que se emplee para unirlas. Colocando este vidrio en una guarnicion que se mueva delante del ocular, puede obtenerse la gran ventaja de regularizar la luz á voluntad.

Sir Jhon Herschel propuso un excelente medio, que consiste en usar la luz reflejada. Se ensayó primero reflejar la luz en un cristal de color para evitar la reflexion sobre la segunda superficie y eliminar una causa de perturbacion en la imágen; pero como los rayos que no se reflejaban eran absorbidos, se calentaba el vidrio y acababa por deformarse y romperse. Herschel evitó estos males adoptando la disposicion siguiente: se coloca un prisma rectangular de

cristal, de manera que el rayo incidente se refleje sobre la hipotenusa; los rayos que penetran en el cristal salen perpendicularmente á la segunda cara, evitándose así los inconvenientes de las reflexiones interiores. El prisma se monta al aire, á fin de evitar la elevacion de temperatura. Con esta disposicion se calienta muy poco el aparato, y la luz se debilita de tal modo que basta un vidrio de poco color.

## § II. OCULARES POLARISCÓPICOS.

Con todos los procedimientos anteriores subsiste el cristal de color, que impide ver el Sol con su verdadero matiz. Con el ocular polarizador ideado por el padre Cavalleri de Monza, cesa este inconveniente. De uno de estos helióscopos, construido en Milan por los Sres. Longoni y dell' Aqua, usamos nosotros. El juego del aparato es como sigue: se recibe la luz en un prisma igual al de Herschel bajo un ángulo de incidencia de  $36^\circ$ , que es el de polarizacion del vidrio; el rayo reflejado cae sobre un espejo negro, colocado paralelamente al prisma, y por lo tanto la nueva incidencia tambien es de  $36$  grados; por último, el rayo hiere bajo la misma inclinacion á un segundo espejo y pasa á la lente. El prisma y el primer espejo están fijos de posicion, pero el segundo está montado de manera que puede girar, formando siempre igual ángulo con el rayo incidente; si se hace por el movimiento de este espejo que el ángulo formado por su plano y el del espejo primero sea recto, se debilita de tal modo la luz que, aun estando el Sol en su altura máxima,

puede soportarse sin inconveniente. No llega, sin embargo, á extinguirse del todo, cosa que, por lo demás, no tendria objeto.

Merz nos ha remitido un ocular fundado en el mismo principio, en el que la luz llega á extinguirse completamente, gracias á un cuarto reflector; este prisma, reemplazado en este ocular por un vidrio de color, es de temer que el calor lo rompa. Tiene esta disposicion la ventaja de que los rayos salen paralelos al eje del antejo, cosa imposible de obtener por el otro sistema, y el inconveniente de que es á veces insuficiente la carrera del portaocular, porque toda la longitud del tubo móvil se emplea en producir las tres ó cuatro reflexiones. Para remediar este inconveniente, coloca el P. Cavalleri delante del prisma una lente ligeramente cóncava, que aumenta la distancia focal del objetivo en la misma cantidad que la disminuyen los recodos que recorren los rayos. Estos helioscopos son caros, pero ventajosos, especialmente para moderar á voluntad la intensidad de la luz. Sin embargo, á pesar de todas las precauciones tomadas para garantizar la vista del observador, siempre queda el inconveniente inevitable del calentamiento del objetivo y de la masa de aire encerrada en el tubo, lo que á los pocos minutos de trabajo origina notables irregularidades en la refraccion, y la consiguiente falta de pureza en las imágenes; así es que hay necesidad de interrumpir las observaciones para dar tiempo de enfriarse al instrumento. Nasmyth ha propuesto el uso de anteojos sin tubo, como los de Huyghens. Esta disposicion daria buen resultado con los instrumentos de reflexion; con los de refraccion seria preciso usar

tubos en esqueleto, en los que circulando el aire libremente, sería el caldeo mucho menor.

Recomendamos á los observadores que eviten el empleo de vidrios rojos y negros; porque fatigan la vista y dejan pasar demasiado calor. Los más convenientes son los verdes, amarillos, azules y los llamados neutros.

### § III. FOTOGRAFÍAS SOLARES.

Grandes servicios ha prestado la fotografía, tanto en la observacion diaria del Sol, como en ocasion de los eclipses. Para obtener las pruebas fotográficas se emplean los mismos instrumentos que para las proyecciones, sin más variante que sustituir con la cámara oscura el plano de proyeccion, y colocar en el foco dos hilos de araña cruzados que sirvan para la orientacion de la imágen.

El aparato que nosotros usamos se compone del antejo ya descrito al tratar de las proyecciones, privado de la plancha que sostiene al plano y provisto de una cámara oscura en forma de pirámide truncada cuadrangular, que por medio de una guarnicion cilindrica se une al antejo abrazando el ocular positivo, acromático, destinado á formar la imágen que hemos hecho construir por Dallmeyer de Lóndres, y es análogo al usado en Kew. En la guarnicion cilindrica que une el antejo á la cámara oscura, hay un diafragma móvil, con dos aberturas, una completamente expedita y la otra atravesada por dos hilos de araña cruzados, los mismos que sirven para la orien-

tacion de la prueba fotográfica. El anteojo debe tener un buscador (1) poderoso para poder asegurarse de la buena posicion del instrumento.

La manipulacion fotográfica es en un todo conforme á la que se sigue en los casos ordinarios, sin más diferencia que la propia de la forma del instrumento y la exigida por la brevedad del tiempo de exposicion.

Debiendo ser este tan corto que no es posible medirlo por los procedimientos comunes, se ha ideado poner en la guarnicion ya citada por bajo del ocular, un obturador de corredera que pueda resbalar, cubriendo ó descubriendo la cámara oscura: en este obturador hay practicada una abertura rectilínea, cuya anchura puede variar á voluntad; este obturador es lo bastante grande para poder cubrir completamente el diámetro de la guarnicion, con cualquiera de las dos partes en que lo divide la abertura lineal; además, las guias sobre que resbala, á modo de corredera, tienen la extension suficiente para poder retirarlo por completo del cuerpo cilindrico de la guarnicion. Con estos antecedentes, fácil es comprender el juego del mecanismo. Libre la guarnicion del obturador de corredera, se enfoca la imágen, se intercepta despues el paso de la luz con el obturador, cuidando de que quede fuera la abertura lineal, y sujetándolo con un cordon y uniéndolo á un resorte; despues se coloca en su puesto la placa sensible, se corta el cordon y res-

---

(1) Anteojo más pequeño y de mayor campo, unido á los anteojos astronómicos de modo que los ejes sean paralelos.  
(N. del T.)

bala el obturador, haciendo pasar á través del cono luminoso su abertura é iluminándose por medio de ella la placa sensible. Terminado el paso, queda interceptada la luz por la otra parte del obturador. Hecho esto, se revela y fija la imágen por los procedimientos ordinarios.

Se valúa en un centésimo de segundo á lo sumo, el tiempo necesario para obtener una buena prueba; pero esto depende de varias circunstancias. Con una exposicion larga desaparecen las manchas y queda incierto el limbo. Hasta el diámetro de la imágen depende del tiempo de exposicion. Cuando ha sido corta, salen mal los bordes y se puede reconocer la esfericidad del Sol y el gran poder absorbente de su atmósfera. Véase la fig.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup> de Rutherford.

Para obtener pruebas perfectas, conviene tomar las siguientes precauciones: 1.<sup>a</sup> la superficie del porta-negativos debe estar ennegrecida perfectamente ó recubierta de pana negra, á fin de evitar reflexiones que pudieran arrojar luz sobre la capa sensible; 2.<sup>a</sup> para evitar la reflexion sobre la segunda cara del cristal, se debe colocar la parte recubierta de colodion, no hácia el objetivo, sino hácia el fondo de la cámara; para esto se necesita una disposicion especial que mantenga el cristal en su sitio. Ocioso es decir que tanto éste como la capa sensible deben estar exentos de defectos.

En aquellos observatorios donde se puede consagrar exclusivamente á este trabajo un antejojo, se adoptan disposiciones que lo facilitan: por ejemplo, se pueden colocar el ocular y la placa sensible dentro de una cámara oscura, que forma cuerpo con el an-

tejo; tal es la disposicion adoptada en Kew, Lisboa y otros puntos.

Cuantas particularidades hemos hecho constar al tratar de las proyecciones obtenidas con auxilio de un ocular, son aplicables á las fotografias. Como la superficie focal nunca es completamente plana, jamás es posible poner á foco sobre el cristal todo el objeto, y por lo tanto la imágen aparece deformada; así cuando el centro está bien, los bordes aparecen confusos y vice-versa. Este inconveniente puede remediarse prescindiendo del ocular y usando un objetivo de largo foco. Así ha obtenido Porro imágenes muy grandes, usando su antejo de 40 metros. También los astrónomos americanos, en el eclipse de 1870, obtuvieron imágenes muy grandes y muy limpias con un antejo de 127 milímetros de diámetro y 14 metros de distancia focal; pero no siempre se tiene á mano un instrumento de tales dimensiones.

Como un tubo, cual los citados, es demasiado largo para poderlo mover fácilmente, se coloca fijo, ya horizontal, ya paralelo, al eje del mundo; despues, con ayuda de un heliostato cuyo reflector es completamente plano y no azogado, se dirige la luz solar sobre el objetivo, y como ya está debilitada por la reflexion, produce imágenes admirables. Entónces es posible medir con exactitud el tiempo de exposicion. Para conseguirlo, se hace que el diafragma de la rendija tenga la forma de un sector circular, y se le suspenda por el centro para que pueda oscilar como un péndulo. Dejando caer el sector de modo que verifique una oscilacion, permite el paso á la luz que impresiona el colodion. Ahora conociendo el ancho de

la rendija y el tiempo de una oscilacion, puede saberse el de la exposicion. Es de importancia cubrir con una cortina de tela negra y tupida el lugar en que se trabaja, á fin de evitar la accion de la luz difusa.

Nunca coinciden en los objetivos acromáticos ordinarios el foco óptico y el foco químico, porque se construyen de modo que acromaticen los rayos rojo y verde, por ser los que más impresionan la vista. Así es preciso buscar por tanteos la posicion más adecuada para obtener una imagen tan limpia como sea posible. La diferencia entre ámbos focos puede llegar á 12 milímetros en los anteojos de 2<sup>m</sup>, 50 y á 22<sup>mm</sup> en los de 4<sup>m</sup>, 30, y aun en este plano focal la exactitud nunca es suficiente para poder emplear grandes amplificaciones. Para evitar todos estos inconvenientes hizo construir Rutherford un objetivo cuyas superficies se dispusieron especialmente para los rayos químicos: pero este instrumento sólo servia para la fotografia, y era completamente inútil para las observaciones ópticas. La Rue reemplazó las lentes acromáticas con reflectores parabólicos, que tienen la ventaja de dar el mismo foco para todos los rayos.

Segun un importante descubrimiento que acaba de hacer Cornu, es fácil trasformar un objetivo ordinario en objetivo fotográfico; basta para conseguirlo separar los dos cristales que forman la lente y dejar entre ámbos un intervalo igual á la distancia de los focos químico y óptico. Algo se disminuye la distancia focal, pero las imágenes fotográficas resultan tan perfectas como las ópticas.

Usando la amplificacion necesaria, se pueden obtener imágenes fotográficas de las manchas, pero nun-

ca con la perfeccion que se obtienen por la observacion directa.

A más de las dificultades enumeradas, hay otra, tanto más grave cuanto nos es imposible evitarla, y es la agitacion del aire atmosférico, que produce desviaciones accidentales en los rayos luminosos y quita á las imágenes la perfeccion en los detalles, indispensable en las investigaciones. Por esto, siendo insuficiente la fotografia, es forzoso recurrir al dibujo á mano.

#### § IV. DISEÑOS.

El dibujo de una mancha de forma algo complicada es muy difícil de hacer, y sin embargo no podemos prescindir de él, porque es el único medio de obtener con exactitud ciertos detalles que la fotografia reproduce difícilmente. Estos detalles varían con tal rapidez que es preciso tomarlos al vuelo.

Seria de gran importancia un método que permitiese á los astrónomos retener sus impresiones sin necesidad de poseer la habilidad de artistas consumados, porque hay muy pocos astrónomos de profesion que sean también hábiles dibujantes: podemos citar entre estos al Sr. Tacchini de Palermo, cuyos dibujos son admirables; pero no todos pueden hacer lo mismo, y además casi siempre se emplea mucho tiempo en el dibujo. En general conviene hacer el dibujo en gran tamaño y reducirlo fotográficamente; así desaparecen las imperfecciones del dibujo y la prueba representa bastante bien la imagen observada. El dibujo á lápiz exige mucha habilidad y tiempo; así

nosotros, tanto para operar más rápidamente cuanto para imitar lo mejor posible la estructura del Sol, creemos lo más conveniente pintar sobre papel negro con albayalde; el que usamos circula en el comercio en panes pequeños y lleva el título de *blanco de plata*. Si se hace uso de pinceles suficientemente finos, se logra reproducir hasta los más pequeños pormenores. Para esto se toma con el anteojo una proyección bastante grande de la mancha, cuidando de que se proyecten también dos hilos de araña cuya distancia angular se conoce, á fin de que puedan servir de referencia para las medidas, y seguidamente se termina este bosquejo auxiliándose del anteojo. Siguiendo este procedimiento hemos ejecutado la mayor parte de los dibujos que conservamos en este observatorio.

Una vez terminado el dibujo á mano, se reduce de tamaño por medio de la fotografía. Así se han hecho las figuras de este libro, especialmente las referentes á los pormenores de las penumbras, y hasta los grabados se han ejecutado por reducciones fotográficas.

Si pudiese usarse económicamente la *fotolitografía*, las reproducciones tendrían toda la perfección apetecible; pero desgraciadamente este arte está aún muy poco adelantado para poderlo usar en grande escala económicamente.

---

## LIBRO SEGUNDO.

### Exámen de la superficie del Sol.

---

#### INTRODUCCION.

Las manchas observadas en la superficie del Sol son realmente fenómenos complejos. La atención de los observadores se ha fijado desde luego en la parte negra, que llama principalmente la atención, pero que no es sino una parte del fenómeno. Cada mancha se compone desde luego de un núcleo y una penumbra; pero también hay siempre alrededor de ellas fáculas, que se extienden á veces á largas distancias, y que sin duda forman uno de los elementos constitutivos del fenómeno. No pudiendo discutirlo todo á la vez, comenzaremos por estudiar el aspecto general de la fotosfera, despues nos ocuparemos de lo que pasa en el interior de las manchas, y por último de lo que ocurre en su exterior, ó sea, de las fáculas. Nos limitaremos, por ahora, á lo que ense-

ña la observacion mediante los anteojos, reservando para un capítulo especial los decisivos pormenores que ha suministrado el espectróscopo.

## CAPÍTULO PRIMERO.

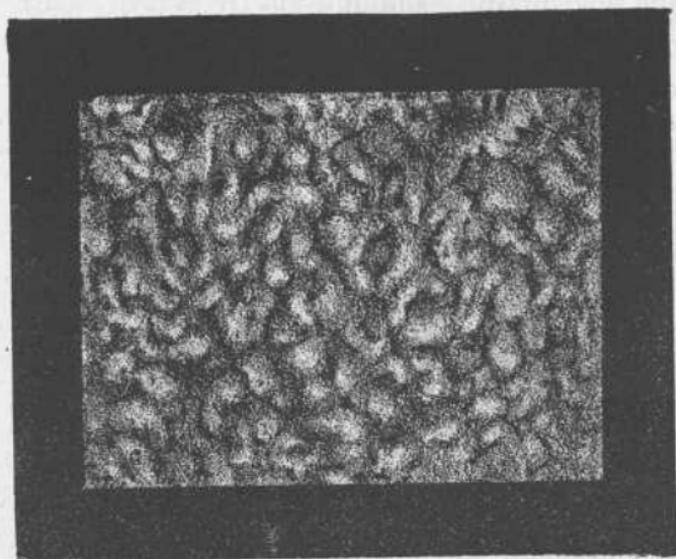
### Aspecto general de la fotosfera.

#### § I. DESIGUALDADES DE LA SUPERFICIE SOLAR.

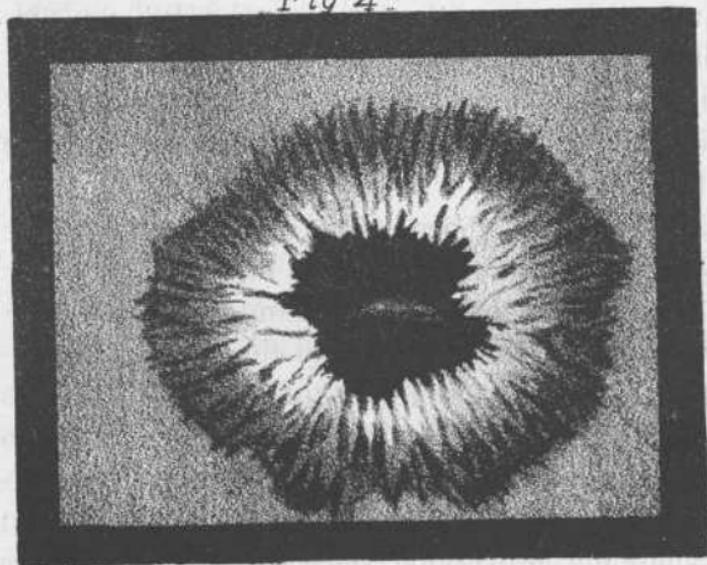
Cuando se examina el Sol con un instrumento de gran diámetro y ampliacion poderosa, se observa que su superficie en vez de ser tersa, como parece, se presenta ondulada, tal como la del mar agitado por la tempestad; y cuando se proyecta sobre un plano blanco usando un ocular poderoso, ofrece el aspecto representado en la fig.<sup>a</sup> 3, caracterizado por multitud de arrugas y anfractuosidades imposibles de detallar.

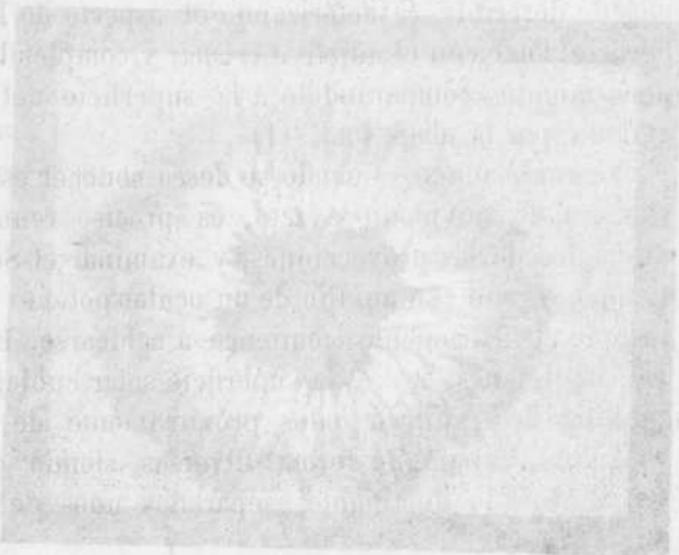
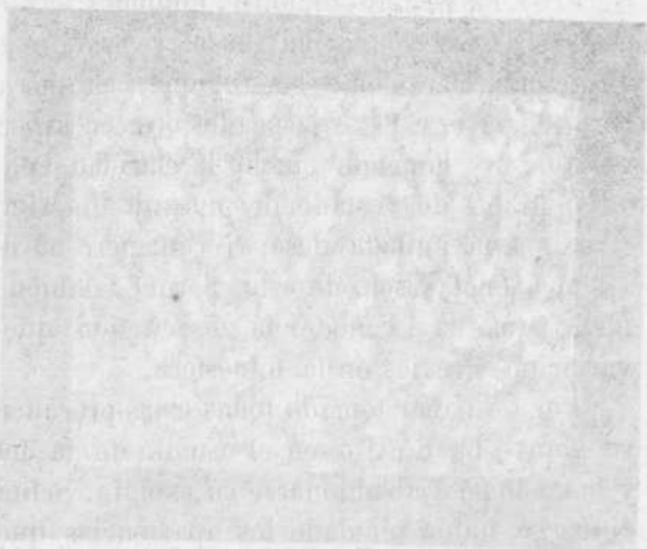
En algunas ocasiones, sobre todo cerca del limbo y en las inmediaciones de las manchas, se distinguen esparcidas unas masas luminosas que constituyen verdaderas fáculas, llegando ciertas veces á ocupar espacios considerables; pero en estos casos es muy poco comun que se presenten aisladas y tengan un brillo considerable. Hay generalmente mucha dificultad en observar este fenómeno con el antejo; operando por proyeccion se consigue mejor, pero es preciso en este caso que el observador esté libre de la accion de toda luz difusa, y para conseguirlo

*Fig 3<sup>a</sup>*



*Fig 4<sup>a</sup>*





es preciso situarse, bien en una cámara oscura, bien bajo un domo, cuyas aberturas se cubran con cortinas negras y muy tupidas. Entónces se distinguen jaspeados en el centro del disco, y hasta pueden determinarse claramente las regiones en que aparecen con más viveza. Estos jaspeados ofrecen aspectos muy variables, y depende mucho la claridad con que se los percibe del estado de nuestra atmósfera, pues cuando está agitada desaparecen; pero no dependen las apariencias solo de esto, porque tambien en completa calma da á conocer la observacion que existen variaciones reales en la fotosfera.

Por no haber tomado todas estas precauciones, no se obtuvo buen éxito en el estudio de la fotosfera, y hasta llegó á abandonarse su estudio. Scheiner, sin embargo, habia señalado las apariencias que acabamos de describir, caracterizando el aspecto de la superficie solar con el adjetivo *crispa*, y completaba su pensamiento comparándolo á la superficie del mar agitado por la tempestad. (1)

*Granulaciones.*—Cuando se desea conocer esta estructura de un modo exacto, es preciso renunciar al empleo de las proyecciones, y examinar el Sol en tiempo sereno con auxilio de un ocular potente y antes que el instrumento comience á caldearse. En estas condiciones se vé la superficie solar cubierta de multitud de granitos, todos próximamente de igual magnitud, aunque de formas diversas, siendo empe-ro el óvalo la dominante, separados unos de otros

---

(1) *Rosa Ursina*, p. 604, col. 1: «*Solis superficies leniter crispa.*»

por un tejido que, sin llegar á ser negro, es oscuro. De ordinario, y usando de poco aumento, se percibe multitud de puntitos blancos, tales como los del fondo de la fig.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup>; pero cuando la amplificacion es mayor, el aspecto cambia, creciendo la magnitud de los granos y apareciendo de un modo que no nos es posible comparar exactamente á ningun objeto conocido: sólo se puede ver una cosa semejante observando con el microscópio la leche medio seca, cuando sus glóbulos han perdido ya la regularidad de su forma. En los primeros momentos de la observacion es muy aparente esta estructura, pero pronto se hace confusa, porque el ojo se fatiga y el objetivo y el aire contenido en el instrumento se calientan.

En ciertas ocasiones se observa un aspecto solar algo diferente; los puntos blancos y brillantes parecen, ya entremezclados con agujeritos negros, ya colocados entre y sobre los hilos de un tejido negro y mezclados con nudos más ó ménos oscuros y grandes. Tambien se observa algunas veces que los granos se reúnen en un punto y dan origen á una masa más brillante.

*Hojas de sáuce de Nasmyth.*—Á veces, sobre todo en las inmediaciones de las manchas, toman los granos una forma alargada, que les ha valido el nombre de *granos de arroz*. Nasmyth los ha comparado á las hojas del sáuce; otros observadores los han visto semejantes al signo de la admiracion (!), y nosotros hemos tenido ocasion de comprobar la exactitud de las comparaciones. Mucho se habló de las hojas de sáuce cuando las describió Nasmyth por primera vez; pero parece que esta apariencia no se presenta ni tan á

menudo, ni tan regularmente como él afirmaba. Quizás en esto haya algo puramente fisiológico, dependiente sólo del órgano de cada observador. Ya veremos que existen realmente estas hojas de sáuce, pero compuestas de masas mucho más considerables y de formas mucho más variadas que las indicadas por el observador inglés.

Apresurémonos á decir que así la estructura granular, como la de hojas, no puede observarse sino con anteojos de gran abertura, porque los objetos muy pequeños se confunden, superponiéndose parcialmente las imágenes, tanto por la difracción cuanto por las amplificaciones. No es fácil determinar las dimensiones reales de estos granos, á causa de la dificultad que ofrece el fijar uno bajo los hilos del micrómetro; sin embargo, comparándolos con el diámetro de los hilos, se los valúa en  $\frac{1}{3}$  ó  $\frac{1}{4}$  de segundo. El astrónomo americano Langley acaba de ocuparse en este estudio usando un objetivo de 18 pulgadas, y sus valuaciones concuerdan con las nuestras respecto á la magnitud límite; solamente añade que, á su parecer, estos granos están compuestos algunas veces de otros más pequeños, lo que es muy probable, según pronto veremos.

Cuando se presentan los granos al lado de los poros ó de manchas pequeñas, es posible medirlos directamente; pero entonces han aumentado de volumen y perdido su forma redonda, afectando la de una hoja cuyo eje mayor se dirige hácia el centro de la abertura. En tal caso estaba una pequeña mancha observada el 10 de Agosto de 1865. Era casi redonda, y tenía un diámetro de 6," 38; su perímetro contenía

24 ó 32 hojas de sáuce; era muy difícil contarlas con más exactitud; correspondia, pues, á cada una de ellas una anchura de 0,"6 á 0,"8, y teniendo en cuenta el espacio que separaba cada dos, próximamente igual al tercio del ancho de una, quedaba reducida esta última dimension á  $\frac{1}{2}$  ó  $\frac{1}{3}$  de segundo.

Sin duda estas dimensiones están exageradas, porque los granos observados en el centro del disco siempre son menores que las hojas situadas en el contorno de las manchas, y el diámetro de los primeros está siempre aumentado por la difraccion. Cada punto luminoso produce aquí un fenómeno análogo al observado con las estrellas; el ángulo subtendido por éstos astros es cero realmente, y por lo tanto debieran aparecer como un punto, y sin embargo los mejores anteojos nos las representan con un diámetro aparente valuado en un  $\frac{1}{3}$  de segundo. Pero puede haber exageracion en este valor, y sin duda por esto Sangley, que trabajó con un anteojo mayor, los estima en ménos.

Nuestra apreciacion estriba en el hecho de ser imposible distinguir las dos componentes de una estrella doble cuando distan entre sí ménos de  $\frac{1}{3}$  de segundo, obteniendo en este caso una sola imagen de forma oval. Ahora bien, los granos que apenas podemos medir deben tener por lo ménos 200 ó 300 kilómetros de diámetro; por otra parte, masas de tal magnitud no pueden tener una luz uniforme, y es de creer sean irregulares y mamelonadas. Si se las observa, pues, con instrumentos más poderosos, se deberá reconocer que están compuestas de puntos distintos, que se confunden cuando se emplean amplificaciones

insuficientes, pero con la necesaria pueden separarse unos de otros.

Hemos observado gran número de poros muy pequeños, y siempre los hemos hallado rodeados de hojitas semejantes á las descritas: debe, pues, acojerse con prevencion lo que dicen los autores que representan los poros como simples agujeros redondos, porque en verdad su estructura es más complicada.

Los granos están animados de ciertos movimientos sensibles, pero imposibles de determinar en medio de la brillante masa de la fotosfera. Por el auxilio que prestan los poros es como pueden comprobarse mejor; pues en los bordes de estas aberturas se les ve alargarse, moverse y cambiar de forma.

## § II. EXPLICACION DE LOS GRANOS.

Para explicar la existencia de los granos, se ha recurrido á las teorías más extraordinarias, llegando hasta suponerlos como elementos *sui generis*. Vamos á dar una explicacion sencilla á nuestro modo de ver, y de acuerdo en parte con la dada por W. Herschel. Habia observado este docto las granulaciones, y las llamaba *corrugaciones* ó *arrugas*, expresion ménos exacta quizás, pero por la que, segun lo muestran claramente sus descripciones, designaba los fenómenos de que nos ocupamos. Tambien habia observado el retículo oscuro que separa los granos, y lo designaba con el nombre de *indentacion*. Pronto formó una teoría para explicar estas apariencias. Segun él, los puntos brillantes eran los vértices de los conos de llamas que el Sol está cubierto; la media tinta del reti-

culo oscuro se explicaba por la existencia de las nubes planetarias, que él suponía bajo la fotosfera, y la parte negra de la mancha era el núcleo solar oscuro.

Es admisible la primera parte de esta explicación, porque está completamente de acuerdo con los hechos, excepto en la regularidad que parece presuponer y que no hemos observado siempre. (1)

Desde luego los granos son verdaderas prominencias que se elevan sobre la superficie general, porque la estructura se presenta mucho más marcada en el centro del disco que en los bordes, á causa de que en esta última region se cubren los unos á los otros, como habia observado Herschel.

La idea de las llamas satisface á las apariencias, pero los que suponen la fotosfera formada análogamente á nuestras nubes, encuentran más natural admitir que los granos sean las cúspides de los mamelones redondeados en que terminan esas masas de vapores flotantes, como los *cumuli*, en la atmósfera solar. Nada más comun en la Tierra que ver desde la cúspide de una montaña las nieblas y las nubes producir fenómenos semejantes; y hasta la enorme dimension de los granos solares que ocupan una extension de algunos centenares de kilómetros, hace más plausible la explicación.

Cuando tratemos en lo sucesivo de otros medios de observación más eficaces que los hasta ahora enu-

---

(1) Á juzgar por estudios siderales muy minuciosos, tiene nuestro refractor una potencia de penetración á lo ménos igual á la del espejo de Herschel, y nuestros oculares son mucho más perfectos que los suyos.

merados, veremos cómo nos muestra el espectróscopo al Sol cubierto habitualmente de multitud de pequeños surtidores inflamados, y como estas observaciones nos conducen á admitir que, segun todas las probabilidades, deben ser los granos las cúspides de las prominencias que cubren la superficie solar.

Antes hemos dicho que los granos se alargaban en las inmediaciones de los poros; ¿ocurre así realmente, ó es sólo una apariencia? Ambas opiniones pueden sostenerse. Quizás comprimidos los granos por los que les rodean, tienden á extenderse para ocupar el espacio vacío, como se observa á veces con las nubes de nuestra atmósfera; ó quizás los conos luminosos se inclinan solamente hácia la abertura próxima sin alargarse realmente. Pronto volveremos sobre este asunto para tratarlo con más extension.

Está en ciertas ocasiones la superficie del Sol tan cubierta de granos y de tal modo se marca el retículo, que se inclina uno á ver por todas partes poros y rudimentos de manchas; pero no es constante este aspecto, y es necesario buscar la causa de estos cambios no sólo en las variaciones de nuestra atmósfera, que tanto perjudican á las observaciones, sino en las que experimenta el Sol. Por lo demás, preciso es reconocer que, de todas las particularidades, son las granulaciones las más difíciles de observar á causa del calentamiento rápido del objetivo y del tubo. Asegura Nasmyth que suprimiendo este último en su anteojo, distinguia muchos pormenores que no alcanzaba sin esta precaucion.

Resulta de la discusion anterior que la fotoesfera no se compone de un fondo brillante salpicado de

puntos negros; ántes por el contrario, de una porcion de puntos brillantes esparcidos sobre una especie de reticulo oscuro, cuyos nudos á veces se ensanchan hasta formar poros, y estos poros á su vez crecen y originan las manchas. Tal es generalmente el orden de estos fenómenos.

## CAPÍTULO II.

### De las Manchas.

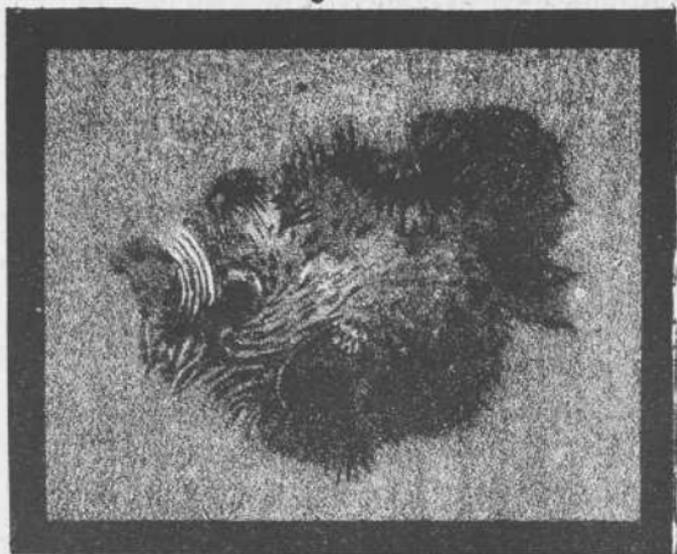
#### § I. CIRCUNSTANCIAS QUE CONCURREN Á SU FORMACION.

El tiempo necesario para la formacion de una mancha es variable por demás, y es imposible formular ley alguna referente á este punto: unas veces se forma muy lentamente y por dilatacion de los poros; otras aparece casi de súbito. Sin embargo, si la observacion del Sol es diaria y esmerada, se reconoce que estas formaciones nunca son instantáneas por rápidas que sean. Siempre se anuncia el fenómeno con algunos dias de anticipacion, observándose en la fotosfera una gran agitacion, manifestada frecuentemente por la formacion de fáculas muy brillantes, que dán origen á uno ó más poros. Otras veces se ven aparecer grupos de puntos negros, como si la capa luminosa adelgazara poco á poco para dejar al descubierto un núcleo oscuro. (1) Estos poros cambian rápidamente

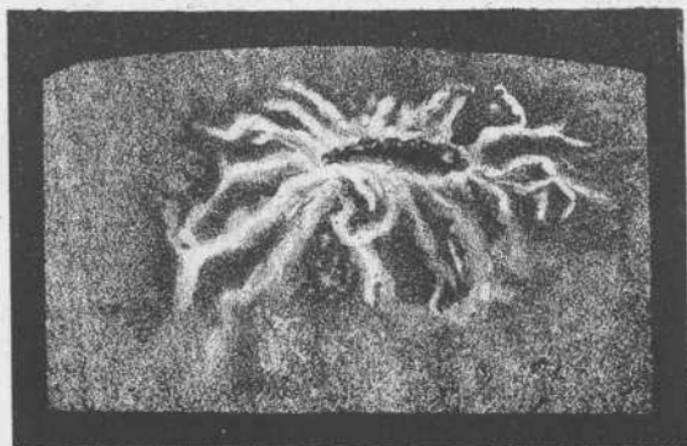
---

(1) Nos vemos obligados á usar el lenguaje más comunmente admitido. Ya veremos como deben explicarse estas apariencias, y cual es la verdadera naturaleza de los fenómenos físicos que manifiestan.

*Fig 5<sup>a</sup>*



*Fig. 7<sup>a</sup>*





de posición, desaparecen y vuelven á aparecer, hasta que uno de ellos predomina y se convierte en una ancha abertura. En los primeros momentos de la formación no se distingue penumbra alguna claramente definida; poco á poco se vá desarrollando y llega á regularizarse conforme la mancha vá redondeándose, como se vé en la fig.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup>

Solo cuando parece reinar la calma en la atmósfera, se realizan estas tranquilas formaciones; en general el desarrollo es más tumultuoso y más complejo. Daremos á conocer solo unos cuantos ejemplos, aunque podríamos multiplicarlos al infinito, porque los observadores que se dediquen á este género de investigaciones pronto encontrarán por sí mismos un gran número, singulares todos y diferentes los unos de los otros.

## § II. EJEMPLOS DE FORMACIONES RÁPIDAS.

Elegiremos como primer ejemplo la mancha aparecida el 30 de Julio de 1865, (fig.<sup>a</sup> 5.<sup>a</sup>)

El día 28 no se notaba nada de particular en el sitio donde más tarde apareció la mancha; el 29 se presentaron tres puntos negros, y el 30, á las 40<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> de la mañana, con gran sorpresa nuestra observamos una mancha enorme correspondiente al centro del disco. La parte alterada tenia unos 76 segundos de diámetro medio, ó sea cuatro veces y media el diámetro de la Tierra. En el centro de la mancha notamos una masa de materia luminosa girando sobre sí misma, al parecer, y alrededor de la cual se habia verificado multitud de desgarrones. En medio de este

caos podían distinguirse cuatro centros principales de movimiento. A la izquierda, en *a*, se presentaba una vasta abertura, á cuyo alrededor lenguas de fuego se agitaban y retorcian en distintas direcciones, y en medio de estas lenguas se distinguían claramente ciertos velos semi-luminosos que envolvían una cavidad más oscura.

Por encima, en *b*, se veía otro centro, más pequeño que el primero, cuyo borde superior se señalaba con limpieza, y en el inferior tenía un gran número de lengüecitas de fuego análogas á las anteriores. En *c*, á la derecha, se veía una ancha hendidura que imitaba groseramente una *S*, y aparecía sembrada de lenguas de fuego y rayas luminosas. En fin, en la parte inferior y al nivel del punto *d*, se veía otra hendidura larga, torcida y tan descompuesta que es imposible describirla. Entre estas cuatro cavidades existía un monton de fúculas y materia luminosa, que simulaba el aspecto de una materia en ebullicion.

Todo este conjunto se encontraba animado de movimientos extraordinariamente rápidos y tumultuosos. Se tomó la vista lo más rápidamente posible, pero no estaba aun terminada cuando la primera parte habia cambiado ya completamente de forma. Por la tarde se volvió á tomar otro segundo dibujo, que ya no se parecía al primero más que en el carácter fundamental; tenía en el centro una masa de materia fotosférica muy agitada, y en el contorno una corona de simas, entre las cuales las cuatro ya descritas ocupaban próximamente su antiguo lugar. Por la mañana el aspecto habia cambiado completamente: todavía se reconocían los cuatro focos principales,

pero se habian alineado de dos en dos, reuniéndose por grietas sinuosas. La cavidad *b* se marcaba bien y estaba separada de la gran grieta por un istmo de materia fotoesférica ordinaria; los pomitos inferiores *a* y *d*, seguian aún reunidos, pero mejor formados; la masa intermedia parecia estirada, tal como una bola de algodón cardado que se alargase tirando de ella por dos lados. En 24 horas cambiaron las dimensiones de un modo notable; casi dobló la longitud, llegando á ser de 147 segundos. En los dias siguientes fué poco á poco convirtiéndose en penumbra la masa que separaba las cuatro aberturas, quedando en ella esparcidos algunos granos luminosos.

Sentimos no poder reproducir aquí la série de esmerados dibujos que hemos ejecutado diariamente, pero ya volveremos sobre algunos pormenores interesantes y muy instructivos. Cuatro palabras más y terminamos la historia de esta mancha. Los centros fueron aislándose y determinándose cada vez más; el intervalo que los separaba siguió cubierto de manchitas aisladas. El 27 de Agosto, ó sea despues de una revolucion completa del Sol, subsistia en el punto *c* la grieta en forma de S; los centros *a* y *b* se dibujaban también claramente en la parte anterior. En este dia pareció ocurrir una recrudescencia en las perturbaciones; entre los centros *a b* y los *c d* llegó á haber una distancia de algunos minutos. El 17 de Setiembre, despues de otra rotacion, sólo se distinguian algunos poros y fáculas. Por último, al cabo de la tercera rotacion, no quedó resto alguno de la inmensa perturbacion que habia conmovido la atmósfera del Sol.

### § III. DISOLUCION DE LA MATERIA LUMINOSA EN LAS MANCHAS.

Acabamos de sentar que la materia luminosa comprendida entre manchas próximas se encuentra destrozada y modificada. La observacion prueba tambien que sufre una completa disolucion cuando se forman vários centros oscuros alrededor de una masa brillante aislada. Citaremos un ejemplo concluyente. El 29 de Mayo de 1865 observamos una mancha cuya magnitud, nada extraordinaria, alcanzaba 50 segundos.

Alrededor de una masa central y separados por hilos luminosos, dispuestos como los rayos de una rueda, se observa un gran número de núcleos, atravesados por velos y sembrados de granos pequeños, dispuestos algunos en espiral. Por la tarde habian desaparecido algunos rayos, y la espiral se dirigia en sentido contrario. El 30 quedaban sólo tres rayos. El 31 no habia ya materia fotoesférica en el centro de la mancha, quedando solamente algunas bandas en forma de asas que no llegaban al centro. En los dias siguientes se dividió la mancha; y el 3 de Junio habia dos completamente aisladas y de formas redondeadas, aunque irregulares.

Estos interesantes fenómenos no dejan de presentarse con frecuencia, y hemos visto desaparecer en veinticuatro horas algunas masas muy brillantes que estaban encerradas en un grupo de manchas. Resulta, pues, de esta disolucion de las masas luminosas, que las manchas tienen tendencia á redondearse y

que su forma normal, cuando han llegado á su completo desarrollo, es la redonda.

#### § IV. DIVISION Y MULTIPLICACION DE LAS MANCHAS.

Se observa con frecuencia que varias manchas contiguas se funden en una sóla mediante la disolucion de la materia luminosa que las separa, y tambien que una mancha formada y redonda se divide en várias. Este último caso puede ocurrir de varios modos. En algunos hay una especie de generacion gemmipara: al lado del núcleo grande y en la penumbra se forma otro pequeño, que poco á poco crece y se separa, constituyendo una nueva mancha. Pero más comunmente resulta el fenómeno de la multiplicacion por fraccionamiento del núcleo primitivo, apareciendo arcos brillantes, conocidos con el nombre de *puentes*, que atraviesan la mancha dividiéndola en partes. Es tan súbita á veces esta invasion, que parece que el núcleo se parte. Halley presencié una tan rápida que creyó ver la rotura de una gruesa escoria, hecha á la manera de la de un vidrio por una piedra. El brillo de los puentes es por lo comun análogo al de las partes más brillantes de la fotosfera; en algunos casos se podria decir que brillan aun más, y parecen suspendidos realmente sobre los abismos que franquean. Estos fenómenos tienen demasiadas complicaciones para que tratemos en este momento de determinar su naturaleza; bástenos por ahora lo indicado, y más tarde volveremos á examinarlos minuciosamente.

Lo estudiado hasta el presente nos enseña que

las manchas no son fenómenos puramente superficiales, sino que tienen su asiento en las profundidades de la masa solar, y dependen de las causas que la agitan y trastornan, en un espacio considerable á veces, y que todavía desconocemos.

Es raro que estén aisladas las manchas; por lo comun se agrupan de un modo asaz complejo. De aquí resulta una inmensa dificultad en la distincion y clasificacion de estos fenómenos. La extension de estos grupos suele ser considerable, y la agitacion de la masa se manifiesta en las fáculas que la rodean, llegando en algunos casos á adquirir el conjunto una anchura igual al cuarto del diámetro solar. Sin duda no todas las perturbaciones tienen tam ámplia esfera de accion, pero lo importante en este punto es la existencia habitual de estos grupos más ó ménos grandes y complicados.

Las manchas, pues, no son más que una consecuencia de grandes agitaciones en la materia que constituye el Sol, agitaciones que se extienden más allá de los límites de la region oscura. Todos estos movimientos presuponen la produccion de violentas crisis en la masa solar, y si deseamos conocer sus causas, preciso será estudiar el fenómeno en sí y las leyes que rigen sus manifestaciones.

## CAPÍTULO III.

## Estudio del interior de las manchas.

## § I. LAS MANCHAS SON CAVIDADES.

Hace próximamente un siglo, en 1774, que Wilson dió á conocer en las *Philosophical Transactions*, t. LXIV, unas observaciones bien conducidas é interpretadas, por las que se vino en conocimiento de que ciertas manchas eran verdaderas cavidades, cuya profundidad pudo medir en algunos casos.

El 22 de Noviembre de 1769 observó el D<sup>r</sup>. Wilson una hermosa mancha redonda, rodeada de una penumbra circular, concéntrica al núcleo. Siguió atentamente la marcha de esta mancha hasta su desaparicion, y observó que la penumbra fué dejando de ser simétrica, disminuyendo poco á poco la parte más cercana al centro del disco hasta desaparecer por completo, mientras que la parte opuesta conservaba sus primitivas dimensiones con corta diferencia. Las fases de una mancha semejante son las siguientes: Redonda y simétrica en el centro del disco, se hace oblonga, perdiendo algo de su simetría, á medida que se aleja del centro y cuando ha recorrido un tercio del radio; más lejos disminuye aún la penumbra en la parte interna, despues desaparece por completo y el núcleo disminuye, sin que la penumbra en la parte externa sufra alteracion notable; por último desaparece el núcleo y comienza á disminuir la penumbra

que queda, hasta convertirse en una línea y desaparecer en el limbo solar. Tal fué el fenómeno observado por Wilson y estudiado despues muchas veces.

En rigor, estos cambios podian no ser más que aparentes, y es tan arbitraria la manera de variar el aspecto de las manchas que un hecho aislado no basta para fundar ninguna teoría. Pero Wilson habia presentado la accion de alguna gran ley de la naturaleza, y aguardó pacientemente, para no incurrir en error, la vuelta de la mancha, que apareció á los catorce dias en el borde oriental. Entónces volvió á observar el mismo fenómeno; se reprodujeron las mismas fases; la penumbra que desapareciera primero, se manifestó ahora ántes, y la mancha fué redondeándose poco á poco apareciendo simétrica al llegar al centro del disco, como en la primera observacion.

Ya no era posible la duda: la mancha habia conservado sensiblemente su forma durante el movimiento, los cambios no eran más que puras apariencias, efectos de óptica, fáciles de explicar. Basta fijarse en una cavidad cónica cualquiera, en una taza, para notar que si la miramos perpendicularmente á su centro, nos parecerá simétrica; pero á medida que nos separemos de esta posicion, irá viéndose más estrecha la parte interna de la pared cercana, y más ancha la opuesta, llegando poco á poco á cubrirse el fondo con el borde próximo y despues la parte opuesta, hasta que la oblicuidad sea tal que cubra un borde al otro.

Cuanto más profunda sea la cavidad, tanto más aparentes serán estas fases; y en el caso de ser muy superficial, no desaparecerá el fondo más que con una gran oblicuidad, ó sea cerca del limbo del Sol,

donde las observaciones son en extremo difíciles y exigen muy buenos instrumentos. Se comprende, sin embargo, que son posibles, y que estando bien hechas, pueden servir para determinar la profundidad, teniendo en cuenta las dimensiones de la penumbra y el momento en que esta toca al núcleo.

La solución numérica del problema consiste en la de un triángulo rectángulo. En efecto, considerando la mancha en la posición de desaparecer la penumbra del lado interior, el rasgo visual dirigido al borde se prolongará en dirección de la penumbra hasta tocar al núcleo; otra línea, dirigida por el observador al centro del Sol, podrá considerarse paralela á la primera visual, con un error de pocos segundos; por otra parte, el ángulo formado en el centro del Sol por la línea últimamente supuesta y el radio que pasa por el punto de desaparición de la penumbra, siempre puede conocerse por medios astronómicos. Conocido este ángulo, lo es el formado por la visual con el mismo radio, igual por razón del paralelismo supuesto, y por lo tanto, conocido también el que forman la superficie de la mancha y la visual en el punto de encuentro de ambas, por complementario del primer ángulo. Conocidos estos valores, y considerando el triángulo que forman la superficie de la mancha, ó más propiamente, la línea que puede representarla en una sección, la longitud de la penumbra y la profundidad de la mancha, triángulo rectángulo cuyos catetos son la altura, incógnita, la proyección de la penumbra sobre la superficie de la mancha, ó sea la anchura hallada para la penumbra en la observación central, y uno de cuyos ángulos, el formado por este cateto con

la hipotenusa, es el determinado por razón de complemento, se vé que el problema se reduce al que ántes dijimos. De este modo halló Wilson que era próximamente el tercio del rádio terrestre.

No se admitió sin oposicion la teoría de Wilson. Vários astrónomos la combatieron, y en particular la Lande, que formuló las dos objeciones siguientes: 1.<sup>a</sup> La ley de Wilson no se da en todas las observaciones: 2.<sup>a</sup> En algunos casos se han comprobado apariencias contrarias. Siendo la Lande partidario de la inmovilidad de las manchas, que consideraba como cúspides de montañas, debia rechazar, naturalmente, las ideas del astrónomo inglés. Por lo demás, que no se presenten siempre las apariencias descritas por Wilson, sobre todo en períodos de gran agitacion, no debe causar sorpresa, y pronto veremos la causa. Pero para apreciar el valor de las objeciones y conocer los hechos en sí, vamos á estudiar desde luego los trabajos de los astrónomos modernos.

## § II. OBSERVACIONES MODERNAS.

Todos los astrónomos posteriores á Wilson han comprobado, con excelentes instrumentos y sobre gran número de manchas, estas observaciones. Herschel trató del asunto con frecuencia, y tanto nosotros como otros muchos astrónomos que áun viven, hemos tenido ocasion de confirmar con nuestros propios trabajos la realidad del descubrimiento. Los resultados numéricos que hemos encontrado (1), así como los

---

(1) Véase *Ast. Nach.* y *Memorias del Observatorio Romano*, p. 9—1859.

hallados por el Sr. Tacchini, apenas difieren de los dados por Wilson.

Discutiendo las observaciones astronómicas hechas en Kew, encontró Warren de la Rue, astrónomo inglés, que de 89 manchas regulares, 72 dan resultados conformes con las ideas de Wilson, y 17 ofrecen distinto aspecto. Nada tiene de extraño esta proporción, si se consideran las importantes variaciones que en su forma real experimentan las manchas. W. de la Rue ha imaginado un medio en extremo sencillo para mostrar que las manchas son cavidades. Se toman dos fotografías de la misma mancha con un día de intervalo, en el que cada punto recorre 15 grados; se las coloca en un estereoscopio, y se vé perfectamente la cavidad interior, cuyos bordes parecen elevarse sobre la fotosfera. Es, por lo tanto, imposible abrigar dudas sobre este punto; las manchas son huecos abiertos en el espesor de la capa resplandeciente que envuelve por todas partes al disco solar.

Si lo anterior es cierto, cuando una de estas cavidades llegue al limbo del disco solar, deberá notarse una mella, tanto más fácil de observar, cuanto el hueco sea más vasto y profundo. Esta observación habia sido hecha mucho tiempo ántes (1). Cassini cuenta que, á fines de Diciembre de 1719, apareció una mancha tan vasta que produjo una mella cuando llegó al borde del disco solar, en vez del resalte que se observa en las manchas pequeñas á causa de las fáculas que las acompañan. W. Herschel y Warren de la

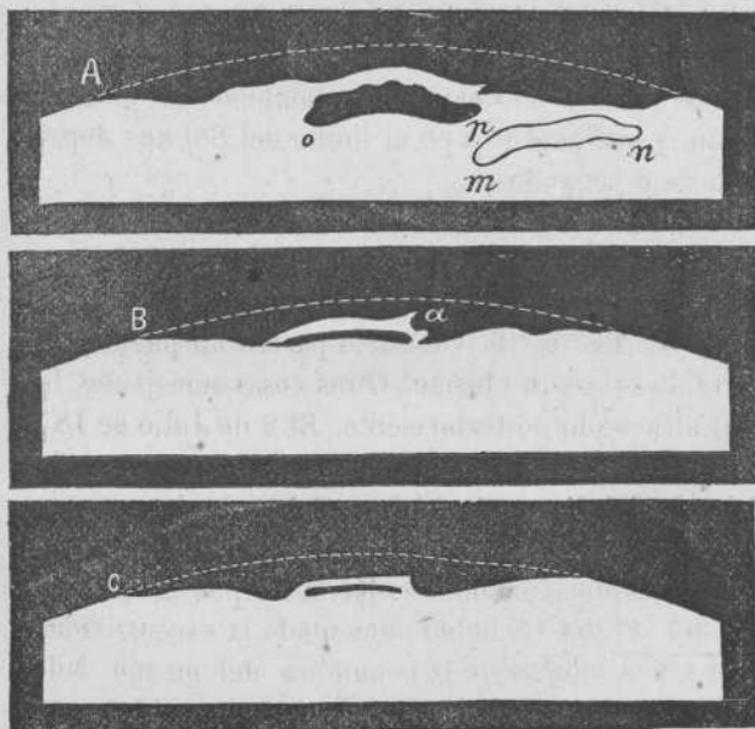
---

(1) Memorias de la Academia de Ciencias, 1720.

Rue han observado con frecuencia el mismo fenómeno.

Cuando la mancha del 30 de Julio, de que ya hemos hablado, llegó cerca del limbo, la observamos cuidadosamente; pero la parte primera desapareció el 5 de Agosto por la tarde, y estaba entónces tan agitado el aire que fué imposible observar nada. A la mañana siguiente habia calma y el cielo estaba despejado; se dibujó la mancha al mismo tiempo por tres observadores. El Sr. Taçchini de Palermo estaba en nuestro observatorio, é hizo el dibujo que reproducimos, (fig.<sup>a</sup> 6.<sup>a</sup> A). A las 9 estaba uno de los

Fig. 6.<sup>a</sup>



cráteres cerca del borde, y se veía claramente su contorno formando una prominencia sobre el disco y una escotadura en cada costado. Hacia uno de ellos se veía una gran fácula, *mn*. Toda esta parte del contorno, donde ántes se habia observado una vasta penumbra, estaba deprimida con relacion á la superficie general del Sol.

A las 10<sup>h</sup> y 20' habian disminuido los cráteres (fig.<sup>a</sup> 6.<sup>a</sup> B.), y presentaban várias puntas muy agudas, entre otras la señalada en *a*, que fué notada por todos los observadores á causa de sus dimensiones y forma.

A las 10<sup>h</sup> y 32' presentaba el interior del cráter el aspecto de una línea negra, que desapareció á las 11, conservando aún el contorno del Sol su estructura.

El 8 de Julio de 1873 hicimos otras observaciones semejantes en una mancha tambien de gran tamaño, y que producía en el limbo del Sol una depression de 8 segundos.

No queremos abandonar este asunto sin llamar la atencion del lector sobre la curiosa forma del arco (fig.<sup>a</sup> 6.<sup>a</sup> A), sobre el que se formó prontamente la punta *a*, (fig.<sup>a</sup> 6.<sup>a</sup> B y C). ¿No parece un puente suspendido sobre un abismo? Otras cosas semejantes hemos observado posteriormente. El 9 de Julio de 1874 se veía una mancha atravesada por un magnífico puente. El 10, ya más próxima al limbo, parecia excéntrico el puente con relacion al núcleo, proyectándose sobre la mancha en el lado opuesto al centro del Sol. El dia 11 habia aumentado la excentricidad, y se proyectaba sobre la penumbra del mismo lado. Podrian haberse verificado todos estos cambios, pero

como se había notado una gran consistencia en la forma del grupo, nos inclinamos á creerlo todo apariencias, hijas de efectos de perspectiva. Este puente debía ser un arco luminoso, más alto que las regiones próximas y que, según la posición del Sol, así se proyectaba en distintos lugares de la cavidad existente bajo él.

### § III. CONTESTACION Á ALGUNAS OBJECIONES.

No es posible observar estas depresiones en todas las manchas porque, á ménos de tener dimensiones extraordinarias, el borde oculta la cavidad, como se observa en los cráteres de la Luna; y á más, las fáculas que las rodean producen resaltos que encubren aún más la cavidad. Para producir una depresión de un segundo, que es imposible observar á causa de su pequeñez y de las oscilaciones de la atmósfera, es preciso que la mancha tenga 3 grados. Partiendo de estos datos, se puede calcular el tamaño que ha de alcanzar una mancha para que la depresión sea sensible y fácil de observar. Para producir una escotadura de 5 segundos, se necesita una mancha que, vista desde el centro del Sol, ocupe de 41 á 42 grados, lo que para nosotros equivale á 3 minutos y 20 segundos. Ahora bien, siempre que un cráter ha alcanzado estas dimensiones, se ha visto que, al llegar cerca del borde, producía una depresión manifiesta. Estas observaciones confirman evidentemente el descubrimiento de Wilson, y nos obligan á considerarlo como un hecho conquistado para la ciencia. Sin duda hay excepciones, como lo han hecho notar la Lande y

otros astrónomos, pero sólo en el caso de manchas irregulares y agitadas, en cuyo caso pueden los movimientos reales encubrir los efectos de perspectiva.

Se ha objetado también que la depresión aparente podría ser una ilusión debida á que, en la región ocupada por la mancha, poseyese la materia ménos poder luminoso. En esta objeción nada hay contrario á la teoría que defendemos. Cuando decimos *cavidad*, no queremos significar un *vacio*; sino que en ella el nivel de la materia luminosa está más bajo que en el resto de la fotosfera, y la mella en el disco no prueba otra cosa; lo cual no se opone á que estén llenas de materias más oscuras que conserven el equilibrio general y detengan á las sustancias flúidas, que pronto se precipitarían en el hueco si estuviese vacío realmente. La teoría de Wilson se comprueba siempre que aparece disminuida considerablemente la intensidad luminosa en el limbo solar al llegar á él una mancha grande, porque es necesario admitir que el nivel de la materia luminosa está allí más bajo que en lo demás; y esto es precisamente lo que resulta de la observación de Wilson.

Cuanto decimos es admisible aún en la hipótesis de ser las manchas nubes más sombrías que el medio en que se encuentran; pero admitiendo entónces que flotan en la fotosfera y rellenan los huecos de la capa brillante, en vez de suponer, como Galileo y Kirchhoff, que existen sobre la fotosfera. Esta manera de ver ha hecho que se dé á las manchas el nombre de cráteres; pero no debe darse gran importancia á esta denominación.

Después de sentar que las manchas son en gene-

ral cavidades, entendiéndose la palabra segun hemos expuesto, suponía Wilson que la penumbra estaba formada por el talud que une el núcleo con la superficie general de la fotoesfera; y tambien que la materia fotoesférica, análoga á la que forma las nubes, pero más dura, debía deslizarse hácia aquellos senos vacíos, formando alrededor del núcleo una especie de embudo, ménos oscuro que éste y ménos brillante que la fotoesfera. En confirmacion de su manera de ver, citaba el hecho siguiente: sin embargo de que los contornos de la penumbra son generalmente paralelos, á veces sobre un mismo radio, el perimetro exterior forma un ángulo entrante en la fotoesfera y el interior otro análogo en el núcleo, como si un derrumbamiento de la ladera hubiese arrojado dentro de la sima una parte de la materia luminosa. Esta forma está representada en algunos de nuestros dibujos, y particularmente en la fig.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup>

• Esta delicada observacion de Wilson es exacta, y con frecuencia se presenta ocasion de comprobarla; pero no basta el hecho de la inclinacion del talud para explicar la penumbra, cuya intensidad de luz es próximamente la mitad de la que se observa en el resto del disco. Si tratándose de un cuerpo iluminado, con dificultad se explicaría la penumbra por la inclinacion sola, mucho ménos podrá explicarse con relacion á un cuerpo luminoso. Pronto veremos que en este punto la teoría de Wilson es deficiente, y entonces la completaremos: él no pudo hacerlo, porque sus instrumentos no le permitieron estudiar ciertos pormenores de la estructura de la penumbra, en los que estriba la solucion del problema.

## CAPÍTULO IV.

## Estructura de las manchas.

## § I. DE LA PENUMBA.

Hemos visto ya que las manchas presentan formas muy variadas, y que concluyen por hacerse redondas; pero esta es, puede decirse, la forma limite, que tardan mucho en adquirir y poco en perder. Llegadas á este punto comienzan á empequeñecer, afectan la forma de poros y desaparecen. En otros casos, en vez de seguir este proceso, se deforman y dividen antes de desaparecer, observándose entonces, por lo común, un recrudescimiento en la acción generadora que, bien ensancha la abertura, bien produce otras nuevas inmediatas. Entremos, pues, en el estudio minucioso de estos fenómenos, y para comprender su mecanismo, estudiemos desde luego la estructura interior.

Comencemos por el período de tranquilidad, en el que presentan las manchas la forma redonda ú oval que ya hemos indicado: sirva de ejemplo la representada en la fig.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup>, que corresponde á un tipo frecuente y fué observada el 20 de Abril de 1866.

Hagamos aquí varias observaciones. 1.<sup>a</sup> El ancho de la penumbra es próximamente la tercera parte del diámetro de toda la mancha; pero en vez de ser de estructura uniforme y tener su contorno exterior paralelo al del núcleo, como suelen representar los libros,

no guarda tal paralelismo y es de estructura rayada irregular, formada, al parecer, por corrientes sinuosas, que van estrechándose á medida que se alejan del borde exterior, y creciendo en brillo segun se estrechan. Estas corrientes parecen formadas de cuerpos oblongos en contacto por sus extremos, simulando así una corriente casi continua. No es difícil comprobar la estructura rayada en las penumbras; Capocci, Pastorff, J. Herschel y otros, la han notado.

2.<sup>a</sup> Las corrientes son ménos luminosas, ménos compactas y distintas hácia el exterior de la penumbra, mientras que hácia el núcleo se oprimen, se condensan y adquieren mayor brillo; y á veces ocurre que el borde contiguo al núcleo alcanza una luz casi igual á la de la fotosfera: entonces parece formada la mancha por dos anillos luminosos concéntricos. No es esto una ilusion óptica efecto de contraste, es un acrecentamiento real de luz, debido á la condensacion de la materia luminosa en la proximidad del núcleo. Este hecho importantísimo no se ha estudiado bastante, aunque los observadores lo han consignado cuidadosamente en sus dibujos.

En estos últimos tiempos, Taye ha puesto en duda el hecho que acabamos de describir; pero nuestras propias observaciones nos obligan á asegurar que el hecho es con frecuencia incontestable, y el ilustre astrónomo no dudaria de él si hubiese podido observarlo como nosotros, con instrumentos suficientemente perfectos.

3.<sup>a</sup> En algunos casos se ven las extremidades interiores de las corrientes terminar en granos brillantes proyectados sobre el fondo negro del nú-

cleo; en otros, toda la penumbra parece formada por un inmenso velo de luz uniforme, sobre el cual se proyectan estos granos brillantes.

En las manchas grandes é irregulares se ven estos granos alargados, unos tras otros, en hilera á modo de rosario, asemejándose el conjunto al de un hilo en que se hubiese formado una centena de nudos. Estas cadenas atraviesan á veces la mancha de parte á parte como verdaderos puentes, constituyendo corrientes continuas llenas de ensanchamientos y desigualdades. En cierta ocasion hemos visto las hojas como implantadas las unas sobre las otras, presentando en conjunto el aspecto de la planta llamada *Cactus*. A primera vista se hubiera tomado por una cristalización análoga á la del cloridrato amónico visto al microscópio, y quizás esto haya sugerido á Chacornac la idea de las cristalizaciones solares; pero el aspecto redondeado de los granos y sus contornos vagos y confusos, mostraban perfectamente que teníamos á la vista copos de cierta materia suspendidos en un medio fluido, próximamente como los cúmulos en la atmósfera terrestre. Langley, con su poderoso instrumento, ha comprobado últimamente nuestra observacion.

En ciertas ocasiones parecen las hojas triángulos alargados, así como un conjunto de signos de admiracion: recientemente hemos observado esta estructura en una mancha, en el mes de Junio de 1874. Las corrientes, segun podemos juzgar, no parecen siempre formadas por partes discontinuas; diríase que un fluido viscoso corre al través de un medio de naturaleza diferente, aunque más bien se asemeja el aspecto al que ofrece el humo de la pavesa de una vela de

sebo, esparciéndose por el aire en filetes perfectamente limpios.

4.<sup>a</sup> Estas corrientes compuestas de hojas y granos que invaden el núcleo, no tardan muchas horas en disolverse, y á veces se disuelven en minutos; mas no obstante este flujo de materia luminosa, el núcleo persiste durante largo tiempo. En la fig.<sup>a</sup> 4.<sup>a</sup> se puede ver una hoja desprendida y medio disuelta, y podríamos presentar numerosos ejemplos, porque el fenómeno es bastante frecuente: Lockyer tambien lo ha consignado. Por lo demás, no es peculiar á los granos y hojas este fenómeno, que á veces se produce en masas considerables de la fotosféra. Ya vimos que en la mancha del 29 de Mayo de 1865, toda la masa encerrada en el núcleo habia terminado por disolverse. En los diseños de Chacornac se observan ejemplos semejantes á los que nosotros ofrecemos sacados de nuestras propias observaciones: en ellos se ven corrientes y masas de materia luminosa, análogas á las corrientes y masas desprendidas de que hemos tratado.

Es, pues, cierto que hay en el centro de las manchas una fuerza aspirante que atrae la materia de alrededor y produce ese derrame con direccion al centro del núcleo, fuerza bien comprobada por la absorcion de las manchas pequeñas por las grandes. El hecho se verifica del modo siguiente: las manchas pequeñas se aproximan poco á poco á la grande, y al fin desaparecen en ella. Ya hablaremos de este fenómeno, que se relaciona con el movimiento propio de las manchas.

5.<sup>a</sup> Algunas veces se observa un movimiento de rotacion muy sensible en el centro de los cráteres. En

la fig.<sup>a</sup> 5.<sup>a</sup>, mancha del 30 de Julio de 1865, se ve un ejemplo. En ciertos casos la formacion espiral es mucho más perfecta.

Realmente no se observan estos torbellinos más que en la época de formacion, en las recrudescencias, ó cuando la mancha va á desaparecer. Algunas veces se ha creído ver torbellinos dondê no habia más que cambios de formâ sin rotacion alguna.

Partiendo de estas observaciones, algunos astrónomos, y particularmente Faye, han formado una teoría, á nuestro parecer inadmisibile, segun la cual las manchas son ciclones. Si cada mancha fuese un torbellino, los rayos que constituyen la penumbra serian siempre trozos de espiral, lo que no sucede sino muy raras veces; porque de trescientas manchas que pueden observarse en un año, sólo siete ú ocho ofrecen la estructura espiral característica de los torbellinos. No se presenta, pues, siempre, ni mucho ménos, esta estructura, como debiera suceder segun la hipótesis de Faye. Y aun podemos añadir que el movimiento en espiral es un caso bastante raro, cuya explicacion procuraremos dar, y que no puede servir para explicar un hecho mucho más general. Como última observacion añadiremos que no sólo no tienen todas las manchas la forma espiral, sino que, cuando esta se presenta, no dura más de uno ó dos dias, mientras la mancha puede durar largo tiempo despues de haber perdido el aspecto de torbellino; y que á veces, despues de haberse extinguido el movimiento rotatorio, se reproduce en sentido contrario. Concluyamos, pues, que esta estructura, aunque interesantísima, es sólo accidental. Reservándonos estudiarla despues, debemos repetir ahora

que es incapaz de servir de base á una teoríá en que se pretenda dar á conocer de un modo general la naturaleza de las manchas solares.

6.<sup>a</sup> Algunas manchas ofrecen la estructura que el astrónomo Dawes caracteriza con las palabras *thatched straws*, *cubierta de paja*, á causa de los haces de corrientes paralelas, que representan con bastante propiedad el techo de una cabaña. No es muy afortunada esta comparacion, pues aunque corresponde bien á la disposicion general, segun hemos dicho, no es posible comparar los hileros un poco torcidos y ensanchados por su extremidad con una arista de paja. Cuando se examinan con atencion estos hileros, se observa falta de paralelismo y rectitud en sus contornos, y que las extremidades se ensanchan á manera de maza, ó más bien, como si fueran corrientes de lava retardadas en su movimiento por la resistencia del medio en que se movieran. Hemos procurado medir su anchura, y hemos encontrado de  $\frac{1}{4}$  á  $\frac{1}{3}$  de segundo para la extremidad ensanchada, ó sea de 200 á 300 kilómetros, y para el resto de 100 á 200 kilómetros.

7.<sup>a</sup> Poseen algunas manchas una especie de cola formada por otras menores, situada de ordinario en lo que podríamos llamar parte posterior, esto es, en el lado opuesto á aquél hácia que se dirigen todos los puntos del Sol en su movimiento de rotacion. Como esta rotacion se verifica, en la parte visible para nosotros, de Este á Oeste, veremos situada la cola en la parte oriental de la mancha, y en la occidental si se observa con un antejo astronómico que dá invertidas las imágenes.

No siempre está formada la cola principalmente

por manchas pequeñas, también suele estarlo por la prolongación del núcleo, que le presta alguna semejanza con el pez llamado raya; pero esta forma es menos frecuente.

8.<sup>a</sup> Cuando la mancha es redonda, en el período de tranquilidad, casi siempre se dirigen las corrientes luminosas de la penumbra al centro, y en algunos casos sus puntas interiores parecen como rechazadas por el núcleo ó dobladas hácia arriba; pero cuando la figura de la mancha es irregular, los hileros de la penumbra se agrupan en haces perpendiculares al contorno exterior, haces que no se encuentran comúnmente en el mismo plano, puesto que se los ve cubrirse parcialmente unos á otros.

9.<sup>a</sup> Al ocuparnos de esos trazos luminosos que hemos llamado puentes, notamos ya también las diferencias de nivel existentes sin duda en estos casos; y no nos engaña la vista al indicárnoslo así, porque si se examinan las vistas sucesivas de una mancha, se observarán las diversas proyecciones de esos arcos que parecen flotar sobre un abismo, y estos cambios no siempre corresponden á movimientos propios. Además, el exámen de las fig.<sup>s</sup> 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup>, correspondientes á la mancha del 30 de Julio del 65, muestra la existencia de arcos dirigidos oblicuamente respecto á la dirección de los demás hileros, y este hecho no tiene fácil explicación á no admitir que están en planos distintos.

Esta superposición de corrientes sin confundirse y ocultándose unas á otras, prueba también que la materia fotoesférica no es trasparente.

10.<sup>a</sup> No debe suponerse que todas las manchas,

redondas al parecer cuando se las examina con poco aumento, tienen tan sencilla estructura como las descritas. La complicación que pueden adquirir es extraordinaria. Debemos añadir, sin embargo, que estos aspectos corresponden al período de desaparición de la mancha, en que, como es sabido, no presentan ya los fenómenos la misma regularidad que en el anterior.

Nuestra larga experiencia nos ha hecho conocer que en la existencia de toda mancha es necesario distinguir tres períodos, á saber: de formación, de calma y de disolución. Cuando está la mancha á punto de desaparecer, no se dirige ya hácia el centro del núcleo la materia luminosa que al parecer atrae; ántes bien, como si ya no encontrase resistencia, se precipita confusamente para llenar el hueco. Es imposible describir circunstanciadamente las fases de las manchas irregulares, pero siempre pueden notarse dos cosas: 1.<sup>a</sup> la existencia de hileros caracterizando su estructura; 2.<sup>a</sup> la convergencia de los mismos hácia uno ó varios centros.

En los grupos compuestos de varias manchas se distinguen perfectamente los núcleos unos de otros, y al cabo de uno ó dos días se aproximan y confunden en uno solo. Las masas fotoesféricas se disuelven, reaparecen y vuelven á disolverse, á veces en un tiempo muy corto. Estos fenómenos, en extremo complejos, no están sujetos á ninguna ley conocida; sólo puede afirmarse como general, que en las regiones de las manchas se verifican movimientos en los cuales la materia recorre millares de kilómetros en pocos segundos.

Terminaremos enunciando algunas conclusiones á

que nos lleva lo expuesto. 1.<sup>a</sup> Los fenómenos observados no pueden presentarse en un cuerpo sólido, sino que necesitan para manifestarse de una masa fluida, análoga á los gases, y que puede ser comparada á las llamas ó á las nubes. 2.<sup>a</sup> Los pormenores conocidos respecto á la constitucion de la penumbra y á los fenómenos que en ella tienen lugar, nos muestran con evidencia que la masa oscura no invade la luminosa; ántes al contrario, ésta se precipita en la region oscura, y tambien á veces la materia brillante parece flotar sobre la masa sombría que constituye el núcleo. 3.<sup>a</sup> Las apariencias de la penumbra pueden producirse por dos medios, ó bien por corrientes limitadas, ó por velos ténues y continuos; mas de ordinario concurren juntos ámbos elementos. En los fenómenos, cuyo exámen vamos á emprender, se encontrará la confirmacion de estas conclusiones.

## § II. FENÓMENOS OBSERVADOS EN LOS NÚCLEOS.

1.<sup>o</sup> Los núcleos no son completamente negros como parece á primera vista, y presentan gran variedad en el color más ó ménos oscuro que los caracteriza. Comparando un núcleo con el planeta Mercurio, por ejemplo, en el momento de su paso por el Sol, se nota gran diferencia entre ámbos. No siendo absolutamente oscuro el núcleo, debe emitir cierta cantidad de luz, no perceptible á causa del contraste producido con el brillo de la fotosfera. Esto es lo que pasa con los satélites de Júpiter cuando, proyectados sobre el planeta, nos parecen puntos negros; pues por más

que estén iluminados por el Sol, su resplandor es muy débil comparado con el de su astro central.

Los que consideran las manchas como escorias sólidas sin brillo propio, encuentran en este punto grave dificultad, que tratan de vencer ingeniosamente suponiendo que en nuestras vistas y proyecciones percibimos sobre el fondo negro del núcleo el ligero matiz de la atmósfera solar, y que estando Mercurio fuera de esta atmósfera, debe parecer, sin serlo, más oscuro que los núcleos. Por más que á primera vista parece aguda la salida, puede objetarse que los helióscopos que usamos anulan completamente la luz de la atmósfera solar. Por otra parte, sin esperar el paso de un planeta, puede hacerse esta fácil y concluyente observacion: Examínese el fondo del cielo, tan cerca del Sol como sea preciso para encontrar ciertamente la atmósfera solar y con ella su luz, y se verá sin dificultad que en este caso es el fondo del cielo más negro que los núcleos. Razon tenia Galileo cuando afirmaba que si pudiera verse entre las tinieblas el núcleo de una mancha, nos alumbraría él solo más que los otros astros, y su brillo nos parecería igual al de la fotosfera. Ya veremos más adelante una concluyente é inesperada confirmacion de la idea del sábio astrónomo.

2.º El tinte del núcleo no es siempre uniforme, con frecuencia se observan en él puntos más oscuros que parecen agujeros. Á Dawes, astrónomo inglés, que estudió cuidadosamente este fenómeno, se debe este descubrimiento. Debemos inferir de esto que estas superficies están cubiertas de velos y nubes de diversa densidad.

3.º Tampoco son los núcleos más invariables que las penumbras, cosa harto difícil de conciliar con la idea de cuerpo sólido. Las observaciones hechas con instrumentos poderosos han probado que cuantas variaciones sufren, son debidas á la materia fotoesférica que los invade de diversos modos, y á las corrientes de la penumbra que los modifica constantemente. Las manchas circulares tienen alguna más estabilidad; pero durante su existencia sufren modificaciones que, no por ser más lentas, dejan de ser evidentes y sensibles.

4.º Los primeros observadores notaron que las manchas de formación rápida desaparecen pronto. Probable es que algunas tengan su origen en acciones superficiales, mientras las otras provengan de movimientos producidos en las profundidades del Sol. Estas últimas duran mucho más; pero están sujetas á grandes variaciones, y pueden notarse en ellas ciertos momentos de reirudescencia en la acción generatriz. En 1866 observamos algunas manchas que duraron tres ó cuatro revoluciones, y en varios casos vimos, estando alguna á punto de desaparecer, reanimarse evidentemente la causa productora. Casi siempre va acompañado este fenómeno de un cambio de posición en sentido del movimiento del Sol. Hay alguna analogía entre esto y la posición de las manchas con respecto á la cola. (1) Cassini cita algunas manchas que duraron cuatro y hasta cinco revoluciones, pero los observadores no consignaron si habían conservado ó no sus dimensiones y posición.

---

(1) Véase § I. 7.º

De las medidas que hemos tomado, y que más adelante consignaremos, resulta que en estos largos periodos sufren las manchas grandes trasformaciones. También hemos visto, como otros astrónomos, formarse una mancha en el lugar donde habia desaparecido otra poco ántes. La Lande cita gran número de ejemplos, también Cassini, y Carrington ha confirmado estos hechos, como nosotros, agregando buen número de observaciones á las de La Lande y Cassini.

3.º Muchas veces las manchas parece que se fraccionan. Esta division puede ser aparente y producida por la formacion de un nuevo núcleo en la proximidad del primero, y del que se separa en virtud de estar animado de movimiento rápido hácia la parte anterior; pero la mayor parte de las veces es real la division, y se ejecuta por un mecanismo bien sencillo: la materia luminosa, precipitada desde los bordes, invade el núcleo en forma de puentes, y lo divide en dos ó más partes. Estos puentes poseen un gran brillo, comparable al de la fotosfera, lo cual prueba que en vez de sumergirse en las profundidades de la parte oscura, se mantiene en las altas regiones dominando los abismos ó masas sombrías que forman el núcleo.

Alguna vez hemos observado cómo uno de estos puentes luminosos dividia en dos una mancha compleja; cómo cada una de las dos partes se iba regularizando, y cómo al cabo de cierto tiempo se separaban las dos manchas, ó el puente se disolvía y se reunían las dos en una sola. De igual manera hemos visto dividirse una mancha por medio de lenguas de fuego que la invadían por todas partes.

Los antiguos atribuían este fenómeno á la ruptura de las cortezas sólidas que, segun su opinion, forman las manchas. Esta teoría es inconciliable con la verdadera estructura de la fotoesfera y con la de las partes interiores de las manchas.

En éstos últimos tiempos se ha querido explicar el fenómeno de que hablamos, comparándolo con los ocurridos en nuestra atmósfera cuando un gran torbellino se fracciona en varios; pero no vemos justificada por los hechos la comparacion. Las lenguas de fuego que invaden las manchas y acaban por dividir las, no presentan en su desarrollo nada semejante á las fases que se observan en la ruptura de un torbellino. Ya hemos dicho que en ciertos casos la division es aparente, y la ilusion se debe á la produccion de otra mancha contigua á la primera, de la que se separa á veces más y más, y otras se le acerca y concluye por unirsele, después de haber estado separada de ella varios dias.

Precede de ordinario á la disolucion del núcleo su division; otras veces va disminuyendo en todos sentidos hasta convertirse en punto y desaparecer. Ocorre tambien que los torbellinos formados en un fluido se subdividen ó se confunden; pero las subdivisiones no se hacen por líneas rectas, sino por segmentos circulares.

Acabamos de decir que las manchas se extinguen algunas veces por disminucion gradual, precisamente lo contrario de lo que ocurre á los ciclones que, aumentando de diámetro, disminuyen de velocidad hasta desaparecer, confundidos en la masa de aire tranquilo que los rodea. Es, pues, imposible establecer

comparacion entre estos dos órdenes de fenómenos.

### § III. VELOS ROSADOS EN EL INTERIOR DE LAS MANCHAS.

A más de la division debida á los puentes, cuya materia posee un brillo comparable al de la fotoesfera, se presenta otro fenómeno que ya hemos consignado, y que pide especial estudio. Hablamos de ciertos velos muy delgados, color de rosa, que se ven en el interior de las manchas: Ya Herschel los observó, y creyó que constituian la penumbra; en efecto, es probable que estén siempre mezclados con las hojas y las corrientes. Dawes consiguió verlos despues con mucha más exactitud, colocando en el ocular de su antejo un diafragma con un agujero en extremo pequeño. Así distinguió en los núcleos de las manchas grandes unas partes negras, otras ménos oscuras, y ciertas otras cubiertas por velos ténues. Nosotros hemos podido más de una vez comprobar la exactitud de las observaciones de Dawes, y sobre todo sentar que estos velos, aunque no siempre, presentan con mucha frecuencia el color rojo. Por lo demás, el fenómeno es bastante comun, y si no lo notaron los observadores que nos han precedido, consiste en que los vidrios de color, necesarios en su tiempo, alteraban el tinte de los objetos; pero con el helioscopio polarizador nos ha sido posible casi siempre reconocer su existencia en las manchas grandes, sobre todo en la época de su formacion. Se ha objetado á este descubrimiento que la coloracion podria ser resultado de falta de acromatismo. Este error, posible quizás para

los astrónomos antiguos, es hoy imposible por completo. Las nubes rojas que observamos tienen sus formas tan bien definidas, son tan diferentes de las vagas coloraciones debidas á la aberracion de refrangibilidad, que basta haberlas visto para tener certeza en este punto, y á más, el fondo negro sobre que se proyectan, contribuye singularmente á hacer imposible toda confusion.

El origen de estos vélos y su manera de desarrollarse muestran claramente su existencia, y que no somos juguete de una ilusion óptica. En el mes de Febrero de 1866 apareció una mancha enorme que observamos con la más viva solicitud. Una gran conmocion se manifestó en una vasta region, ocupando en longitud  $\frac{5}{22}$ , es decir poco ménos de un cuarto del diámetro solar, por lo que era visible el fenómeno á simple vista. Podia tomarse por una grieta inmensa afectando las más extrañas formas, entre las que parecia dominar una curva en forma de S. En medio de este caos notamos una region en que aparecian grandes masas de velos rojos.

Un puente en forma de arco de herradura formado de una materia en extremo brillante, y en el interior un promontorio luminoso semejante á una fábula, eran lo más digno de atencion.

El 17 por la mañana hallamos roto el arco; la parte subsistente terminaba en una punta fina y afilada; lo que habia desaparecido estaba reemplazado por un velo rojo, y otros velos rojos y blancos cubrian el resto de la mancha. En el otro lado del núcleo habia desaparecido casi por completo la gran corriente que se

veía en la vispera, y ocupaba su lugar un rastro rojo. Apenas terminamos el dibujo, el gancho de la izquierda se desvaneció quedando visible únicamente la base, reemplazándolo un velo color de rosa.

Un problema se presentaba entónces: ¿hay en estos fenómenos una trasformacion real de arcos brillantes en velos, ó sencillamente superposicion accidental? Para resolverlo, durante largo tiempo y con toda atencion hemos vigilado y estudiado las manchas, y hemos podido asegurarnos al fin, que las corrientes luminosas en algunos casos se trasforman en velos color de rosa.

El 23 de Enero de 1866 examinábamos una mancha en forma de  $\infty$ : dos surtidores de lenguas brillantes saltaban de una y otra parte, pareciendo que iban á dividirla por un puente. Esto ocurría á las 10<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>. Cincuenta minutos despues las lenguas de fuego se habian aguzado por las puntas, y á los diez minutos, aplicando la vista al anteojo, las vimos trasformadas en velos. En fin, los velos se disiparon, y á la 1<sup>h</sup>, 45<sup>m</sup> no quedaba más que un haz de llamas más cortas que al principio.

No és dado, pues, dudar de esta trasformacion. Un fenómeno de esta clase no puede explicarse por las supuestas ilusiones que produjera el helióscopto, porque los helióscoptos polarizadores á los que debemos este descubrimiento, no pueden colorear una parte del campo sin colorear el resto. A más, sería preciso ser muy mal observador para confundir, como se supone que hemos confundido nosotros, los colores que presentan los velos con las apariencias que resultarían de la falta de acromatismo.

Para terminar, citemos la última observacion. El 23 de Setiembre de 1866, estando el Sol en un periodo de tranquilidad, presentaba una de las más bellas manchas nucleares que hemos visto. Observado con poco aumento, parecía el núcleo un óvalo, ó mejor un rombo, con los ángulos redondeados; con alguna mayor ampliacion, puede verse la estructura rayada, ordinaria en la penumbra, y el centro todo lleno de velos blancos y color de rosa, cruzándose en todas direcciones. Si la coloracion provenia de una imperfeccion del aparato, ¿cómo explicar que sólo fuese visible en la parte central, donde las tintas son más débiles, y no donde la luz es más viva?

A partir de esta época, hemos hallado muchas veces estas masas rojas en el interior de las manchas, y hemos examinado su naturaleza quimica, por los medios que daremos á conocer más adelante.

De lo dicho se desprende que hay en las manchas solares montones de velos rosados, análogos al parecer á esas llamas que en los eclipses de Sol se observan alrededor de la Luna y se conocen con el nombre de *protuberancias rojas*; y á más, que estos velos parecen *cirrus*, ó más bien ligeras nieblas, mientras que los granos pueden compararse á los *cumulus*. Nada prueba que estos *cirrus* formen una capa continua más baja que los *cumulus*; nosotros los vemos mezclados, y es muy difícil determinar su posicion relativa. Podemos solamente afirmar que las penumbras no están compuestas exclusivamente de velos como suponía W. Herschel, sino tambien de granos y corrientes que parecen superpuestas á los velos.

Muy á menudo se encuentran reunidas en una

mancha todas estas particularidades. Tal sucedió en la observada el 14 de Abril de 1869, en la que se veía bien hasta donde puede llegar la complicación en la estructura de una mancha. En esta observación, hecha á las 10, se vió: el núcleo principal atravesado por un puente constituido por dos líneas de lenguas cuyo conjunto formaba una curva sinuosa; el interior lleno de velos, y en él un agujero más oscuro; un poco más abajo, al lado izquierdo, una especie de torbellino cuyas líneas, de uno y otro lado, se dirigían en curvas convergentes hácia la parte superior; más abajo todavía, una corona elíptica, cuya parte superior parecía lanzar numerosos filamentos, mientras que la inferior estaba llena de placas negras; á la derecha, y fuera de la principal tan complicada, dos regiones que parecían tender á la forma circular, con las penumbras cubiertas de hileros converjentes al centro; y en una gran placa más baja, una corriente extraña, corriente angular formando codo, suspendida al parecer sobre el núcleo. Todo el contorno de la mancha poseía una luz muy viva y estaba salpicado de numerosas fáculas, fáciles de distinguir. El diámetro total era de 2' 37", y el de las dos cavidades principales 4' 25".

No olvidemos que estas formas son transitorias. La víspera no había nada parecido á nuestra descripción; á la mañana siguiente con dificultad podía reconocerse algo de lo observado veinticuatro horas antes. Sentado esto ¿podrían corresponder á escorias sólidas sobre lava líquida é incandescente, estas extrañas formas y estos rápidos cambios? Los que han sostenido esta hipótesis, no han tenido evidentemente

te ocasion de observar una mancha parecida con un buen instrumento. De haberlo tenido, una sola observacion habria bastado para convencerlos.

Nada es más fácil, por el contrario, que explicarlo todo, y principalmente la aparente suspension de los puentes de que ya hemos hablado, si se admite que el Sol está compuesto de una masa cuya fluidéz es análoga á la de los gases, los vapores ó las nubes. No es preciso siquiera suponer, como W. Herschel, que los velos forman una capa continua en la superficie del Sol, capa que se rasga siempre paralelamente á los núcleos; porque hemos visto frecuentemente proyectarse lenguas de fuego mucho más allá de los velos que constituian el fondo de la penumbra. Admitiendo como cierta la existencia de dos clases de nubes, no debe aceptarse la de dos capas distintas y continuas.

No es fácil sin duda la explicacion de todas estas apariencias, y no intentaremos darla aquí; la observacion espectral nos suministrará nuevos datos, y cuando los expongamos emitiremos nuestro pensamiento completo: bástenos por ahora haber mostrado la singular constitucion de la fotosfera solar, y haber inferido de sus movimientos, tan vastos, tan rápidos y tan complejos, que la hipótesis de «constituir el Sol una sustancia sólida,» no puede explicar los fenómenos que se producen en su superficie y más particularmente los de las manchas.

§ IV. DE LO QUE PASA EN EL INTERIOR  
DE LAS MANCHAS: FÁCULAS.

Circundan de ordinario á las manchas ciertas regiones, á que llamamos fÁCULAS, más brillantes que el resto de la fotosfera. Comunmente se presta á este fenómeno, al parecer accesorio, poca atención sin verdadera causa, porque no tardaremos en ver cuán importante es tenerlo en cuenta, para conocer la verdadera naturaleza de las manchas. Desgraciadamente hay gran dificultad para estudiar las fÁCULAS con alguna exactitud, fuera de un pequeño espacio contiguo al limbo solar. Sin embargo, observando una proyección hecha sobre cartón blanco dentro de una cámara oscura perfectamente cerrada, es posible seguir sus movimientos hasta el centro del disco.

Toda mancha está rodeada de una corona de fÁCULAS más ó ménos ancha, cuyas formas y disposición varían mucho, no solo de un día para otro, sino hasta en pocos minutos algunas veces. Es, pues, asiento esta región de una agitación considerable, que se extiende á un espacio mucho mayor que el de la mancha propia.

Es difícil dar reglas sobre este extraño y vário fenómeno. Dividamos las manchas en crateriformes é irregulares. En las primeras, las fÁCULAS se destacan alrededor de la penumbra como ramificaciones cuyo centro está en el núcleo, extendiéndose y desvaneciéndose en una superficie tres ó cuatro veces mayor que la ocupada por la mancha. Cuando ha llegado ésta

al período de tranquilidad, fórmase á su alrededor una especie de anillo. Algunas, más brillantes que las demás, permanecen aisladas y suelen tener un agujero que á veces se convierte en una nueva mancha. En las segundas, la distribución sobre el contorno es irregular, viéndoselas flotar hasta en el núcleo á manera de nubes en forma de copos, ó como fragmentos de materia fotoesférica, de vivo brillo.

Las ramificaciones formadas por las fáculas no se distinguen claramente sino cuando el cráter está en la posición más oportuna, esto es, á conveniente distancia del limbo. En tal disposición presenta la fig. 7.<sup>a</sup> una mancha redonda observada por el señor Tacchini el 3 de Diciembre de 1865. Estaba rodeada por una hermosa fácula, de la que se desprendían ramificaciones subdivididas irregularmente. Al día siguiente, cuando estuvo el cráter más cerca del borde, se observó una prominencia en el punto mismo donde cortaba el limbo á la fácula. El 29 de Junio de 1866, hicimos otra observación semejante, y el Sr. Tacchini ha dibujado manchas análogas. En uno de nuestros dibujos hecho el 14 de Marzo de 1866, se ven dos ramas más brillantes que las demás, circunscribiendo un espacio sombrío que casi presenta los rudimentos de un segundo cráter.

No es raro ver alguna fácula muy viva aislada de toda mancha, produciendo una prominencia en el contorno del disco: el espectróscopo indica con frecuencia que en aquel punto se está verificando una erupción.

Segun acabamos de decir, son más visibles las fáculas hácia los bordes que hácia el centro; para ex-

plicar este fenómeno, pueden admitirse dos hipótesis: 1.<sup>a</sup> que la fábula esté realmente más elevada que el resto de la fotosfera; 2.<sup>a</sup> que el mayor brillo de su materia luminosa produzca la ilusión del realce. La primera hipótesis es más sencilla y concuerda perfectamente con las observaciones espectrales. Admitiéndola, no hay necesidad de suponer más poder luminoso en la fábula que en el resto de la fotosfera; y es fácil comprender cómo puede el relieve hacerla aparecer más brillante, porque esta elevación sobre el nivel general disminuye el espesor de la atmósfera absorbente que la cubre, y por lo tanto lanza al espacio mayor cantidad de luz que los demás puntos. Y no es necesario que tenga gran elevación, porque pronto veremos que es asaz delgada la capa absorbente. Esta explicación no basta, sin embargo, en todos los casos; hay algunos en que es indispensable admitir que realmente poseen mayor poder luminoso. Cuando nos ocupemos de los descubrimientos debidos al espectróscopo, veremos la prueba de esto.

Las fábulas y las manchas tienen una íntima conexión. Cuando se presenta aislada una de las primeras, termina casi siempre por formar un poro en su centro. Generalmente precede la aparición de las fábulas á la formación de las manchas, y en este caso tienen gran brillo; y con frecuencia se las vé largo tiempo en el sitio donde ha desaparecido una de éstas. Algunas veces se presentan formando una verdadera cola á las manchas. M. de la Rue ha examinado 4137 manchas fotografiadas en el observatorio de Kew: entre ellas 584 presentaban fábulas á la izquierda, ó sea en la parte posterior; 508 en forma regular y simétrica; y

solo 45 tenían una especie de cola á la derecha, ó sea en la parte anterior.

Esta distribucion es consecuencia de la posicion que ya hemos dicho ocupan las colas propiamente dichas con respecto á las manchas. Las féculas se presentan en más abundancia donde es mayor el trastorno, confirmando así la idea de que corresponden á las partes salientes de la fotoesfera; porque donde la agitacion es más considerable, debe haber mayores diferencias de nivel.

Algunas veces se observan féculas en forma de corona rodeada de ramificaciones divergentes, tal como la representada en el dibujo del Sr. Tacchini, sin tener mancha alguna en su interior; lo cual prueba que la masa negra del núcleo es accidental, y que pueden formarse los cráteres sin contenerla. Debemos decir, sin embargo, que este particular se presenta raramente.

No brillan las féculas uniformemente alrededor de las manchas: las situadas en la parte anterior son más pequeñas y más brillantes; las de la parte posterior más numerosas, más grandes y ménos vivas. En algunos casos se presentan independientes de toda mancha, y entonces suelen alcanzar dimensiones enormes: nosotros las hemos visto extenderse como una onda luminosa sobre la mitad del disco; pero en general son más pequeñas. Varian de forma con gran facilidad, y nunca hemos conseguido verlas idénticas á sí mismas al cabo de veinticuatro horas.

Ocupan las féculas una zona mucho más extensa que la propia de las manchas, puesto que hasta cerca de los polos llegan á observarse, si bien no suelen

pasar de los 60 grados de latitud, y en la zona de las manchas es donde se presentan en mayor número. En tiempo de grandes agitaciones se observan hacia los polos unos casquetes más oscuros orlados de granulaciones más brillantes, marcando una cosa algo parecida á las zonas polares; estas granulaciones son verdaderas fúculas, aunque pequeñas y débiles. Algunas veces se observan claras y bien determinadas; pero en tiempo de calma sólo quedan algunos grupos aislados, poco luminosos y difíciles de distinguir.

Ántes de formular una hipótesis definitiva, que relacione y explique cuantos hechos llevamos enumerados, vamos á suspender por un instante el examen de los fenómenos físicos que presentan las manchas, para estudiar sus movimientos: pero ántes de comenzar este nuevo estudio, resumamos en un artículo final cuanto hemos discutido ámpliamente.

#### § V. CONCLUSIONES RELATIVAS Á LA ESTRUCTURA DE LAS MANCHAS.

Los fenómenos que acabamos de estudiar con prolijidad, nos conducen á las siguientes conclusiones:

1.<sup>a</sup> Las manchas tienen su origen en profundos trastornos de la masa solar. De ellos resultan levantamientos y depresiones en la superficie exterior, ó sea diferencias de nivel: estas depresiones forman en la fotosfera cavidades, rodeadas de resaltos vivos: la profundidad de estas cavidades no es grande; segun las medidas tomadas por Wilson, y tambien segun las nuestras, apenas llega á un tercio del rádio terrestre,

ó sea 2426 kilómetros, sin que jamás pasen de 6377 kilómetros, valor del radio terrestre. Sea cualquiera la inexactitud de estas medidas, podemos afirmar, teniendo en cuenta las dimensiones del globo solar, que estos fenómenos son puramente superficiales.

2.<sup>a</sup> Las depresiones formadas en la superficie solar no están vacías. La resistencia que ofrecen al paso de las corrientes luminosas, prueba que están llenas de vapores más ó menos transparentes: ya encontraremos otras pruebas de esta verdad. En otro tiempo se creía que la profundidad de las manchas media el grueso de la fotosfera, bajo la cual existía el núcleo oscuro. Hoy no puede sostenerse esta opinión: la profundidad de la mancha mide solamente el grueso de la capa absorbente que basta para extinguir los rayos de la parte de fotosfera situada debajo; porque nada prueba que la capa luminosa sea tan delgada que esté completamente rota donde quiera que se observa una mancha. La existencia de un núcleo sólido y oscuro en el centro del Sol no es más que una hipótesis, y no hay un solo hecho positivo, ni una observación directa, que pruebe su existencia. Los autores de la hipótesis, involuntariamente y sin darse cuenta, asimilaron el Sol á nuestro globo, donde hay una atmósfera y un núcleo sólido; pero por espontánea que fuese esta asimilación, no es por eso menos falsa, é incapaz de justificar una hipótesis absolutamente gratuita, como lo es la del núcleo sólido. Ya hemos dicho que las apariencias de las manchas pueden explicarse fácilmente por la interposición de una masa de vapores entre la fotosfera y el observador. La capa luminosa puede existir, pues, debajo de

las manchas, y nos es imposible señalar hasta qué profundidad llega.

3.<sup>a</sup> Cuando hablamos de cavidades en la fotosfera, queremos decir que hay depresiones en la superficie luminosa, de lo que resulta una especie de cráteres más ó ménos hondos, llenos de vapores sombríos que por su poder absorbente extinguen, para nosotros, las radiaciones de las capas inferiores. Los granos é hileros que forman las penumbras, y los puentes que atraviesan las manchas, son masas de materia fotosférica, de las cuales unas se sumergen parcialmente en la sustancia oscura de los núcleos para disolverse en ellos, y otras flotan á mayor altura. Ahora puede comprenderse lo que guió á Herschel para formular su teoría: atento observador, habia notado que la masa brillante invadia siempre la region oscura; esto le llevó á suponer que el Sol estaba formado por un núcleo central oscuro cubierto de envueltas luminosas, cuyas soluciones de continuidad formaban las manchas, dejando ver la masa oscura que estaba debajo. No es completamente falsa esta teoría; el error consiste en suponer que la capa negra envuelve al Sol completamente. Realmente no hay más que un pequeño número de fragmentos de materia oscura, desprendidos, aislados y sumergidos en las cavidades de la fotosfera, que parece pugna por invadirlos y recubrirlos completamente. Podrian llamarse nubes estas masas no luminosas que forman los núcleos de las manchas, si no hubiera riesgo de dar lugar á equivocos y malas inteligencias, confundiendo la teoría que acabamos de exponer con la de los astrónomos antiguos, que consideraban las manchas como nubes colocadas so-

bre la fotoesfera; opinion incompatible con los descubrimientos de Wilson y con los trabajos de los astrónomos contemporáneos. Evitaremos, pues, esta palabra, y cuando la usemos, téngase en cuenta el sentido que debe dársele.

4.<sup>a</sup> Los hechos hasta ahora expuestos no arrojan luz bastante sobre el origen de estas masas oscuras; pero interin nuevos datos recogidos en observaciones de otra clase nos permitan avanzar más, podemos afirmar que deben ser resultado de crisis violentas ocurridas en el interior del globo solar; crisis que alcanzan á grandes distancias, y que unas veces son súbitas, otras se realizan lentamente, reproduciendo su accion de tiempo en tiempo y sosteniendo por un largo período el estado de conmocion.

5.<sup>a</sup> En gran número de casos se reconoce, en efecto, un movimiento indudable del interior al exterior, manifestado por levantamientos y por la proyeccion de la materia luminosa en forma de fáculas. En general, si se estudia con cuidado el movimiento de las masas luminosas que se encuentran en las manchas, se vé que es comparable al de una materia vaporosa suspendida en un medio trasparente. El centro de la mancha aspira las corrientes y los granos de la fotoesfera, y en él se disuelven y dejan de ser luminosos. Estos granos no son transparentes como se observa cuando se cruzan, y por esto es fácil ver con frecuencia que se encuentran á distintas alturas, pues en los puntos de cruzamiento los superiores ocultan á los inferiores.

Segun lo expuesto, deben reducirse á dos las hipótesis relativas á la constitucion de la fotoesfera:

1.<sup>a</sup> compuesta de verdaderas llamas, es decir, de materia gaseosa incandescente; 2.<sup>a</sup> formada de niebla luminosa, ó de un vapor condensado, suspendido en una atmósfera trasparente, tal como están suspendidas en nuestra atmósfera las nubes producidas por una condensacion parcial del vapor de agua; sólo que las nubes luminosas de la fotoesfera están formadas por una sustancia mucho ménos volátil, y tienen una temperatura mucho más elevada.

Si nos imaginamos la fotoesfera formada de este modo, debe parecerse exteriormente con sus variaciones y desigualdades á la atmósfera terrestre vista desde la Luna. Y en efecto, envuelta la tierra en nubes, ofrecería á los ojos del espectador situado fuera de ella una estructura mamelonada análoga á la del Sol, y con frecuencia se observa algo semejante desde las cúspides de las montañas. En muchas ocasiones, sobre todo durante las tempestades, el que se encuentra situado á considerable altura ve, como en el Sol se ve, nubes en forma de *cumulus*, alargarse verticalmente ó extenderse en sentido horizontal, segun la direccion de las fuerzas que la solicitan. Tambien se las ve á menudo experimentar una disolucion parcial, que las trasforma en *cirrus* ó en velos vaporosos, y este último hecho completa la analogía.

Por esta teoría se explica, sin necesidad de recurrir á velocidades pasmosas, la rapidez con que se verifican los cambios de forma en ciertas manchas. El cambio aparente de posicion de una nube no implica la necesidad de que la materia constitutiva recorra el mismo camino que la nube; basta para esto que un cambio de temperatura produzca en un lado una con-

densacion y en otro una disolucion de vapor de agua, abrazando ámbos fenómenos un espacio apreciable. Esta es la causa de que, en tiempo sereno, veamos cubrirse el cielo de nubes casi instantáneamente, ó bien despejarse con la misma rapidez, teniendo en uno y otro caso el viento una velocidad casi nula é incomparablemente menor que la aparente de las nubes. Por el contrario, puede permanecer inmóvil una nube con un viento fuerte que debiera arrastrarla, y que en efecto arrastra el vapor de agua que la forma. Buen ejemplo de esto son las nubes parásitas de nuestras montañas: cuando atraviesa el viento una region muy fria, su vapor se condensa para volverse á evaporar fuera de ella, y de este modo permanece la niebla estacionaria en un punto, no obstante la gran velocidad de traslacion de todas sus partes, por renovarse constantemente la misma cantidad que se disipa. Del mismo modo la estabilidad de ciertas manchas no autoriza para asegurar la inmovilidad de la materia solar.

Aunque pudiera parecer suficiente la concordancia que hay entre los hechos observados y las ideas expuestas, no queremos sentar conclusiones que pudieran parecer prematuras; no aceptaremos ninguna solucion como definitiva, hasta despues de exponer los resultados de las investigaciones espectrales.

Sea cual fuere la idea que se adopte respecto á la constitucion del Sol, debemos desde ahora considerar la fotosfera como compuesta de un fluido elástico análogo á los gases; y buena prueba de esto dan los movimientos en espiral que se observan en algunas manchas, semejantes á los de nuestros ciclones. Estos torbellinos son más frecuentes en el periodo de

formacion; luego se regularizan los movimientos que los producen, dando origen á las corrientes convergentes al centro del núcleo.

Tales son los hechos principales que nos revela el simple estudio óptico del Sol; hechos que nada dicen sobre el origen de los fenómenos que hemos estudiado y que, por tanto, dejan á la imaginacion libre el campo de las hipótesis. Preciso será, pues, si no queremos extraviarnos, esperar, ántes de decidarnos á formar opinion, los nuevos datos que ha de suministrarnos el espectróscopo. Por ahora, todo lo que podemos decir con certeza de una mancha que ha llegado al período de tranquilidad, después de bien examinada, se reduce á estas frases: el núcleo está formado por una masa oscura rodeada de una materia fotoesférica en estado gaseoso, que pugna por invadirlo y recubrirlo. ¿La masa oscura es sólida ó gaseosa?

Para nosotros ya está resuelto el problema en el sentido del segundo supuesto; pero respetando las opiniones opuestas, aduciremos nuevos datos para convencer á nuestros adversarios.

## CAPÍTULO V.

**Movimientos generales de las manchas.  
Rotacion del Sol.**

## § I. IMPORTANCIA Y DIFICULTADES DEL PROBLEMA.

Al final del capítulo precedente hemos indicado varios problemas, cuya solución es imposible hallar sin conocer previamente si están fijas las manchas sobre el globo solar, ó si poseen un movimiento propio de traslación. Fácil es conocer que no están absolutamente fijas, á juzgar por sus transformaciones y por el modo que tienen de subdividirse y separarse en partes; pero no se trata solo de esto, sino de averiguar si, además de estos movimientos particulares, tienen otro general que las conduzca en una dirección constante. Porque si existe esta traslación, debe combinarse con la rotación solar; y como esta rotación no puede estudiarse más que por el movimiento de las manchas, fácil es comprender que el problema presentará en tal caso una dificultad particular.

Los primeros observadores notaron diferencias en el movimiento de las manchas, viendo asaz pronto, que no todas empleaban el mismo tiempo en su revolución. Scheiner halló que estas revoluciones duraban de veinticinco á veintisiete y hasta veintiocho días. Persuadido Galileo de que estaban mal hechas las observaciones de Scheiner, quiso proseguirlas y determinar exactamente el tiempo que emplea el Sol en

girar sobre su eje; pero no obtuvo mejor resultado. Fijó en un mes lunar el tiempo de una revolucion, no obteniendo así sino una aproximacion grosera, y sin llegar á reconocer la inclinacion del ecuador solar sobre la eclíptica.

Para evitar la influencia de los movimientos particulares, no hay otro procedimiento que determinar la duracion de la rotacion solar, tomando la media correspondiente á la rotacion de un gran número de manchas. Si no se tomase más que una observacion, el error seria igual al valor del movimiento propio de la mancha: si se empleasen los datos correspondientes á un corto número de observaciones, tampoco habria certidumbre, ni aun probabilidad de acertar, porque seria difícil que se compensasen los errores en un corto número de observaciones, compensacion que solo se adquiere en una gran série. Aun empleando este método, no se llega á determinar sino la rotacion media de la superficie, no la correspondiente á la masa interior, caso de que haya diferencia entre ellas; cuya diferencia, para conocerla, será preciso recurrir á otros métodos.

En el siglo pasado se ocuparon bastante los geómetras en determinar la rotacion del Sol mediante tres observaciones de una misma mancha. Los resultados obtenidos, aunque brillantes é ingeniosos bajo el punto de vista geométrico, no han servido de nada para la resolucion de un problema tan complejo. Por esto decia Delambre, que el problema era más curioso que útil, y que ningun astrónomo debia ocuparse en él más de una vez en su vida, y esto para ver si continuaba constante la rotacion (*Astro. t. III, pági-*

na 59). Por fortuna no fué seguido el consejo, y en estos últimos tiempos, doctos observadores han acometido nuévemente el problema de un modo más racional, obteniendo un resultado satisfactorio.

Una de las más graves dificultades consiste en el cambio de forma de las manchas; porque variando su contorno de un día para otro, no hay seguridad de fijar el mismo punto en dos observaciones sucesivas. El inconveniente se evita en gran parte no fijándose mas que en las manchas redondas, regulares y crateriformes; pues la experiencia enseña que las manchas de esta clase varían poco, y duran más de una revolución. Sin embargo, aún con estas precauciones, siempre quedan dudas sobre el asunto y hay discordancia en los resultados.

Para formarse idea del punto á que debe llevarse la exactitud en estas observaciones, bastará recordar que el espacio, observado por nosotros, que en el centro del disco solar subtiende un segundo, corresponde á un ángulo heliocéntrico de  $5' 37''$ , y que este valor crece á medida que el espacio observado se aleja del centro, de tal modo que, en la proximidad del limbo, el ángulo correspondiente al segundo dicho equivale á 3 grados próximamente.

## § II. MÉTODOS DE OBSERVACION.

Pueden observarse las manchas como los demás cuerpos celestes, bien con el anteojo meridiano, ó con el ecuatorial, determinandó su posición con relación al limbo del Sol. Sean  $t$  y  $t'$  los tiempos ú horas del

paso de cada uno de los bordes solares; el paso del centro se verificará al tiempo  $\tau = \frac{t+t'}{2}$ ; sea  $\theta$  el momento del paso de la mancha, de aquí se deduce la diferencia de ascension recta entre la mancha y el centro del Sol  $\Delta\alpha = 15 (\tau - \theta) \cos. \delta$ , siendo  $\delta$ , la declinacion del Sol. (1) Se determina en seguida con un círculo vertical, ó con una ecuatorial, la distancia polar de los bordes del disco y de la mancha, y de aquí se deduce la diferencia de declinacion del centro y de la mancha misma. Este método es largo, pero de uso indispensable á veces.

El mejor, en la práctica, consiste en medir directamente la distancia de la mancha al limbo y el ángulo de posicion, ó sea el formado por el radio que

(1) Los cuerpos celestes se suponen sobre la superficie de una esfera, tal como nos parecen, cuyo centro coincide con el de la Tierra, y cuyo eje es el mismo de nuestro planeta. El plano del ecuador terrestre corta á la esfera supuesta, segun un círculo que se llama ecuador celeste. La posicion de un astro ó punto cualquiera se define por su longitud y latitud, que reciben respectivamente los nombres de ascension recta y declinacion. La primera se cuenta desde uno de los puntos de interseccion del ecuador con el coluro de los equinoccios, ó sea donde el ecuador corta á la eclíptica; la segunda, á partir del ecuador. Cuando se dá la ascension recta en tiempo sideral, y se desea conocerla en grados, es preciso multiplicar el número que representa las horas por 15, número de grados que corresponde al movimiento de la esfera durante la hora. (N. del T).

pasa por el punto observado y el plano horario (1) que pasa por el centro del disco. (2)

Como es imposible tomar exactamente la dirección del centro, se dispone el micrómetro de modo que uno de sus hilos sea tangente y el otro perpendicular al limbo del Sol; pero es más conveniente que el primero muerda el disco, y se puede juzgar por la igualdad de los dos segmentos si la cruceta está bien puesta. De este modo se obtienen excelentes resultados, mas es preciso convenir en que el método es laborioso y que se adapta mal á una larga série de observaciones. Preferible sería el sistema de las proyecciones, si fuera más exacto y no exigiera las correcciones indicadas en el capítulo primero. Puede evitarse esta tarea colocando, como Spörer y Heis, una cuadrícula en el mismo foco del objetivo, con lo que la deformacion es igual en el retículo y en la imágen solar.

En su larga série de observaciones usó Carrington otro método. En el plano focal del objetivo, colocaba dos hilos de oro ó de araña, rectangulares entre sí, é inclinados 45 grados respecto al plano del círculo horario; dispuestos así, los proyectaba con la imágen solar sobre un plano, y observaba los instantes en que los bordes solares y las manchas atravesaban sucesivamente las proyecciones de los hilos. Obtenidos estos datos, podía ya calcular fácilmente la distancia al centro y el ángulo de posición. Este proceder tiene el inconveniente de que cuando la mancha está muy cercana al limbo, no dá resultados muy exactos, por-

---

(1) El plano de un meridiano terrestre. (*N. del T.*)

(2) Véase la nota del fin del volúmen.

que un error pequeñísimo en la determinacion del tiempo, origina otro considerable en la situacion.

En una série de observaciones muy delicadas de que pronto hablaremos, hemos empleado el método micrométrico simplemente: hemos encontrado que una vista dibujada sobre la proyeccion, despues de corregida, puede suministrar los elementos precisos para los cálculos ordinarios y usarse perfectamente en las investigaciones que aun faltan.

Sea cualquiera el medio que se emplee, es necesario siempre combinar un número considerable de observaciones, á fin de obtener resultados independientes de las causas de error indicadas, cosa que exige un trabajo de gran consideracion.

Las séries más notables de observaciones modernas son: las de Carrington, las de Spörer, y las hechas en Kew, bajo la direccion de la Rue. La gran coleccion de Carrington se titula: *Observations of the spots of the Sun, from november 9 1853 to march 24 1861, made at Redhill by R. C. Carrington F. R. S. illustrated by 116 plates (Williams and Norgate. London, in 4.º)* Esta gran obra contiene los resultados de las observaciones, con las fórmulas y figuras necesarias para los cálculos.

La série de Spörer continúa aun: en los *Astronomische Nachrichten* de Altona se van publicando los resultados á medida que va haciendo las reducciones este infatigable astrónomo. La gran série de observaciones fotográficas de Kew, ha sido examinada bajo otros puntos de vista, pero todavía no respecto al de la rotacion solar. Nosotros, desde 1858 á la fecha, hemos dibujado gran número de manchas, y sin pretender que

estas vistas tengan la exactitud de las fotográficas, las creemos susceptibles de dar excelentes resultados, por lo que haremos uso de ellas. En nuestra opinion, no deben rechazarse completamente las séries antiguas; al contrario, segun veremos, pueden utilizarse, y hoy dia son de más valor que antes, puesto que las observaciones recientes han venido á dárselo confirmando su exactitud.

Después de examinar concienzudamente su gran série de observaciones, que fué impresa y calculada en gran parte á costa del gobierno inglés, dedujo Carrington que, para hacer avanzar los conocimientos sobre lo contenido en su obra, se necesitaba un gasto de 5,000 libras esterlinas (algo ménos de medio millon de reales). Quizás pueda parecer este punto de vistá más propio de un comerciante que de un hombre de ciencia, pero es lo cierto, y pronto se convencerá de ello el lector, que visto el trabajo y la asiduidad que exigen las observaciones relativas al Sol, no es la obra de las que pueda hacer un aficionado, ni tampoco un astrónomo de profesion, por sí solo.

### § III. RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO Á LA ROTACION DEL SOL.

La determinacion de la rotacion solar abarca tres elementos: 1.º Duracion; 2.º Posicion de los nodos del ecuador solar respecto á la línea de los equinoccios; 3.º Inclinacion del ecuador solar sobre el plano de la eclíptica.

Los antiguos astrónomos determinaban separada-

mente cada uno de estos elementos, eligiendo las observaciones hechas en circunstancias más favorables. Para valuar el tiempo de una revolución, median el que empleaba una mancha en volver al mismo punto del disco, por ejemplo, al meridiano central. Como se concibe fácilmente, este método sólo es aplicable en un corto número de casos. No es posible contentarse con observar el tiempo que una mancha emplea en atravesar el disco, porque su trayectoria queda dividida desigualmente por el contorno aparente del Sol, llamado á veces *horizonte de las manchas*. Después de un largo y minucioso estudio, pudo Scheiner valuar en 27 días el tiempo de una revolución sinódica (nombre que se da á la revolución aparente de la mancha comprendida entre dos posiciones de la misma, idénticas con respecto al observador). De esto se deduce una duración de veinticinco días y un tercio para una revolución sideral, esto es, para el tiempo que emplea un punto del Sol en describir una circunferencia completa respecto á la esfera celeste.

Determinaban la posición del nodo observando la época en que, describiendo las manchas líneas rectas al parecer, el observador se encuentra en el plano del movimiento. Scheiner halló para su longitud 69 ó 70 grados.

En fin, de la magnitud del eje menor de la elipse descrita por las manchas, en el periodo de mayor curvatura, deducian la inclinación del plano del ecuador. Scheiner encontró siempre de 6 á 8 grados, y adoptó como valor aproximado  $7^{\circ} 5$ .

Los resultados de Cassini, deducidos también de gran número de observaciones, difieren poco de los

hallados por Scheiner; pero tienen otro valor, á saber, que su exámen puede darnos á conocer las variaciones que hayan podido ocurrir en los elementos á que se refieren. La Lande reasumió en dos grandes memorias (1) los trabajos más valiosos de sus predecesores, y determinó, con gran exactitud á su parecer, los elementos de la rotación; pero no se tardó mucho en ver que su trabajo tenia ciertas faltas.

En 1820 acometió Bianchi la resolución del problema, empleando los mejores sistemas, reuniendo gran número de observaciones y usando el método de los menores cuadrados (2); á pesar de todo no pudo conseguir resultados satisfactorios. Otros astrónomos tuvieron la desacertada idea de no emplear más que un corto número de observaciones, y las anomalías que resultaron pueden verse en el adjunto cuadro.

---

(1) De la Lande, *Memorias de la Academia real de Ciencias*. 1776. 1778.

(2) Tiene por objeto hallar un valor tal, que la suma de los cuadrados de las diferencias entre él y los hallados por la observacion, sea un mínimo. El número que reúne estas condiciones, es el que tiene más probabilidades de ser exacto. Para que este procedimiento dé resultados, es preciso que las observaciones no tengan ningun error sistemático, y reúnan ciertas condiciones.

Puede consultarse *Cournot. Theorie des Chances*.

(N. del T).

ASTRÓNOMOS.	TIEMPO de la rotacion en dias sola- res medios.	ANGULOS formados por el plano del ecuador solar con el de la eclíptica.	LONGITUD del nodo ascendente,	ÉPOCAS de las observacio- nes.
Scheiner . . .	25,33	7°30'	de 69° á 70°	1675
Cassini . . .	25,58	7.30	70.10	1678
De la Lande.	25,42	7.20	78	1776
Delambre . .	25,01	7.19	80.17	1775
Bianchi . . .	25,32	7.14	70.30	1820
Laugier . . .	25,34	7. 9	75. 8	1840
Petersen . . .	»	6.51	73.29	1841
Böhem . . .	25,52	6.57	76.47	1833
Kysæus . . .	25,09	6.38	76.38	1841
Carrington .	»	7.15	73.40	1850
Spörer . . . .	25,234	6.57	74.36	1866

Saltan á la vista las discordancias que ofrecen los números del cuadro anterior. Este desacuerdo movió á Carrington á emprender una série no interrumpida de observaciones, segun el método que ya hemos indicado.

Antes de exponer los resultados que ha obtenido, consignemos que no aparece variacion de importancia en la longitud del nodo del ecuador solar, porque Scheiner reñalaba de 69 á 70 grados, los que, teniendo en cuenta la precesion de los equinoccios, corresponden hoy á 72° 55', número que difiere poco del encontrado por Carrington, si se tiene presente la poca delicadeza de las observaciones antiguas.

No deja de haber interes en conocer el valor del ángulo formado por el ecuador solar con las órbitas

de los planetas, segun las investigaciones de Cassini (1):

Mercurio. . . .	3° 40'
Vénus. . . . .	4° 06
Marte. . . . .	6° 50
Júpiter. . . . .	6° 22
Saturno. . . . .	5° 55

#### § IV. RESULTADOS ENCONTRADOS POR CARRINGTON Y SPÖRER.

Los trabajos de Carrington comenzaron en Noviembre de 1853, y continuaron hasta Marzo de 1861. Los datos de observacion fueron discutidos concienzudamente, lo que les presta gran valor. Para esto, á partir de la primera observacion de una mancha, se calculaban las sucesivas, sirviéndose de los elementos de la rotacion solar que se tenian por más exactos: despues se iban observando las posiciones reales de la mancha y hallando las diferencias entre ellas y las calculadas: estas diferencias podian servir y servian para el cálculo de las correcciones que debian introducirse en los elementos usados en el primer cálculo. Aunque muy laborioso, es este método muy seguro, y puede aplicarse no sólo á las observaciones hechas por Carrington, sino á las anteriores y posteriores. Hemos de comparar los resultados obtenidos por él con los alcanzados por Spörer de Anclam, Zöllner y Hornstein, siguiendo otros procedimientos. Otra ven-

---

(1) Cassini, Memorias de la Academia real de Ciencias, 1734.

taja más del método de Carrington consiste en evidenciar el movimiento propio de las manchas, revelando la diferencia que existe entre el movimiento medio y las observaciones particulares.

1.º La primera ley señalada por los observadores es la confirmación de un hecho observado por los antiguos, á saber, que las manchas son muy raras en latitudes heliocéntricas mayores de 30°. La Lánde cita una observada á los 40 grados. En Junio de 1846. Peters en Nápoles observó otra cuyas coordinadas eran 34° 20' de longitud y 50 grados de latitud norte. Esta es la mancha más apartada del ecuador de cuya observación hay certeza; porque se considera como muy dudosa la citada por Lahire, que de ser cierta, hubiera alcanzado 70° de latitud norte.

La mancha observada por Peters tenía un movimiento propio muy marcado, en sentido contrario á la rotación solar, y recorría diariamente por este movimiento—64' en longitud y +11' en latitud.

También se ha observado que en el mismo ecuador son muy poco frecuentes, y que los lugares donde se presentan en mayor número son las dos zonas simétricas comprendidas entre 10° y 30°, situadas al norte y al sur del ecuador.

Su distribución tampoco es igual en ambos hemisferios, ni los límites idénticos en cada año; pero en periodos largos hay una compensación y resultan insignificantes las diferencias. Del mismo modo es variable la latitud correspondiente al máximo de manchas, pero siempre se encuentra próxima á  $\pm 17^\circ$ . En fin, la Rue acaba de hallar que el máximo parece pasar de un hemisferio al otro, y que

los sitios en que se forman las grandes manchas ocupan posiciones diametralmente opuestas.

2.º La segunda ley es mucho más importante que la primera, y puede enunciarse así: *La rotacion solar varia de duracion segun el paralelo, corresponde al ecuador el máximo de velocidad angular, y disminuye cuando la latitud aumenta: por lo tanto, los puntos del Sol que en un dia recorren mayor numero de grados, están situados en el ecuador.* Se ha procurado expresar de un modo empírico el valor de la rotacion diurna para todos los puntos segun su latitud. A continuacion ofrecemos tres fórmulas debidas, la primera á Carrington, la segunda á Faye y la tercera á Spörer.

( $\xi$  representa el ángulo de rotacion diurna y  $\lambda$  la latitud. (1)

$$\xi = 14^{\circ}25' - 165' \operatorname{sen} \frac{7}{4} \lambda,$$

$$\xi = 14^{\circ}22' - 186' \operatorname{sen}^2 \lambda,$$

$$\xi = 16^{\circ},8475 - 3^{\circ},3812 \operatorname{sen} (\lambda + 44^{\circ}13').$$

Es, pues, cierto que no es igual la velocidad de rotacion en todos los paralelos. La existente cerca de los polos nos es desconocida, y solo por analogia podemos generalizar esta ley. Más allá de  $50^{\circ}$  jamás se

---

(1) Otras fórmulas se han propuesto, pero todas conducen á los mismos resultados. Citaremos solo tres: las dos primeras son modificaciones de la de Faye; la tercera se debe á Spörer.

$$\xi = 12^{\circ},82 + 1^{\circ},55 \cos 2\lambda.$$

$$\xi = 12^{\circ},982 + 1^{\circ},311 \cos 2\lambda.$$

$$\xi = 12^{\circ},92 + 13^{\circ},74 \cos 2\lambda.$$

han visto manchas, y por lo tanto, no ha podido observarse como se verifica la rotacion en tales latitudes. El único fenómeno que pudiera dar alguna luz en el asunto seria el de las fáculas; pero son tan variables en sus formas que no puede tenerse confianza alguna en los resultados que se obtengan observándolas. Hemos estudiado los cambios que presenta la zona de las granulaciones polares, y tambien las protuberancias cercanas á los polos; pero nunca han durado lo bastante para dar una revolucion completa. Sin embargo, midiendo la parte de circunferencia recorrida y el tiempo empleado en recorrerla, se llegaría á sacar una duracion de veinticinco dias para una revolucion; tambien se debe tener presente que estas zonas serian muy excéntricas respecto á los polos.

Para dar idea al lector de los movimientos de las manchas en cada paralelo, tomamos de la obra de Carrington los dos cuadros siguientes. El primero A, reasume los trabajos relativos á los movimientos propios, mostrando, para cada latitud observada, la variacion diurna de la mancha en longitud y latitud. La primera columna indica la latitud solar media correspondiente al grupo de manchas observadas, cuyos movimientos constan en las dos columnas siguientes. En las columnas segunda y tercera están consignados los movimientos medios del grupo en longitud y latitud, expresados en grados y minutos solares. Se parte del supuesto que el Sol emplea en su revolucion 25<sup>dias</sup>,380, y que por lo tanto, el arco descrito en un dia es de 14° 41'. Con los signos + y —, colocados delante de las longitudes, se indica si el movimiento diurno observado excede ó no llega al movimiento

medio. Estos mismos signos + y —, colocados delante de las latitudes, indican en las de cada hemisferio un aumento ó una disminucion de latitud, esto es, movimientos hácia los polos ó hácia el ecuador. En la cuarta columna consta el número de manchas observadas que han concurrido á la formacion de los datos anteriores: este número permite juzgar qué importancia conviene atribuir á los diversos resultados, y tambien conocer las zonas en que el número de manchas es mayor.

## CUADRO A.

*Del movimiento diurno propio de las manchas, deducido de las observaciones de Carrington.*

Latitud norte.	Movimiento diurno en		Número de manchas.	Latitud sur.	Movimiento diurno en		Número de manchas
	longitud.	latitud.			longitud.	latitud.	
+ 50°	- 64'	+ 11'	1	- 45°	- 92'	- 8'	2
»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
37	- 66	- 17	2	»	»	»	»
36	»	»	»	36	- 50	+ 6	2
35	»	»	»	35	»	»	»
34	- 43	+ 4	12	34	- 44	- 1	15
33	- 33	+ 7	4	33	- 36	- 10	2
32	- 30	- 2	2	32	- 52	- 5	2
31	- 21	+ 5	15	31	»	»	»
30	- 20	- 1	12	30	- 33	+ 4	12
29	- 36	+ 6	5	29	- 34	+ 1	35
28	- 28	- 8	25	28	- 35	+ 1	18
27	- 27	+ 2	12	27	- 40	+ 0	10
26	- 21	- 1	43	26	- 27	+ 0	17
25	- 12	+ 3	4	25	- 20	+ 3	27
24	- 16	+ 2	23	24	- 23	+ 4	14
23	- 19	+ 1	34	23	- 17	+ 3	7
22	- 12	- 1	33	22	- 14	- 0	72
21	- 14	+ 0	34	21	- 18	+ 5	27
20	- 9	+ 1	31	20	- 12	+ 2	38
19	- 11	- 0	47	19	- 13	+ 1	18
18	- 6	- 1	6	18	- 6	- 0	45
17	- 9	- 1	15	17	- 10	+ 1	32
16	- 5	+ 2	17	16	- 6	+ 0	9
15	- 0	+ 2	41	15	- 10	- 1	27
14	- 4	- 1	30	14	- 4	- 1	28
13	- 2	- 2	24	13	+ 1	0	2
12	+ 16	- 4	18	12	+ 1	- 0	97
11	+ 5	- 0	38	11	+ 6	- 1	18
10	+ 2	- 1	22	10	+ 3	+ 1	22
9	+ 8	- 8	13	9	+ 12	+ 1	43
8	+ 10	- 0	71	8	+ 6	+ 3	38
7	- 8	- 1	53	7	+ 21	+ 0	16
6	+ 11	- 2	19	6	»	»	»
5	+ 31	+ 10	5	5	+ 24	- 12	1
4	+ 15	+ 2	6	4	+ 18	- 4	3
3	+ 38	- 2	2	3	0	- 1	11
2	»	»	»	2	- 17	+ 9	2
1	»	»	»	1	- 4	0	2
0	»	»	»	0	+ 10	- 6	1

CUADRO B.

LATITUD de las manchas.	ARCO de la rotacion diurna.	PESO segun el número de observaciones.	MOVIMIENTO en latitud.
+ 50 N.	787	1	+ 11.0
35	806	18	+ 3.5
30	824	59	+ 2.8
25	831	116	+ 1.0
20	831	151	+ 0.2
15	840	127	— 1.0
10	851	142	— 2.4
5	859	85	+ 3.3
Ecuador.	863	5	— 1.6
— 5 S.	867	31	+ 1.0
10	865	218	— 0.4
15	856	98	+ 0.8
20	845	200	+ 3.0
25	839	75	+ 1.2
30	827	67	— 5.3
35	814	19	
45	805	2	
	759		

Este cuadro *B* es muy fácil de comprender, y resume de una manera más clara los resultados del precedente. En la primer columna están las latitudes heliocéntricas de las manchas, en la segunda los valores del arco de rotacion diaria expresados en minutos.

Comparando Faye estos números con los resultantes de la fórmula de Spörer, ha encontrado que las rotaciones de Carrington son menores que las de la fórmula, por término medio, unos 0<sup>días</sup>16, ó sea 3 horas y 8 minutos; diferencia demasiado grande para

que pueda atribuirse á error de observacion. Quizas dependa de que las dos séries no son coetáneas, porque las fechas medias de ámbas difieren casi en seis años, siendo las de Carrington de 1856,7 y las de Spörer de 1862,5. Segun las últimas investigaciones de Spörer, el valor de  $\xi$  no debería ser constante, variando con el tiempo en virtud de una ley todavía no conocida. Este hecho constituye uno de los casos más curiosos de la historia del Sol. Quizás se encuentre en él la explicacion del cambio de latitud de la zona en que se presenta el máximo de manchas. Hé aquí un problema importante que no podrá resolverse más que aplicando el mismo método de cálculo á ámbas séries. Si á pesar de esto continuase la diferencia, el hecho tendría una trascendencia extraordinaria, porque obligaría á admitir que la duracion de la rotacion solar varia con el tiempo, lo que es imposible tratándose de un cuerpo sólido; y aunque posible en un fluido, obligaría á suponer reacciones interiores asaz extraordinarias. Debemos esperar, pues, nuevas observaciones, ántes de entregarnos á especulaciones que aun carecen de sólido fundamento.

Hemos tratado de averiguar hasta qué punto estaban representadas las observaciones antiguas por los elementos de Carrington, eligiendo al efecto gran número de observaciones reunidas por La Lande en las *Memorias de la Academia de Ciencias de Paris* para los años de 1776 y 78, y por Bianchi en la *Correspondencia del Baron de Zach*, año de 1820: clasificando las manchas segun los paralelos, hemos encontrado que estas observaciones están representadas tan exactamente como las del mismo Carrington.

El tiempo de una rotacion señalado por La Lande, Bianchi, etc., es, pues, exacto, si se tiene en cuenta la latitud heliográfica de las manchas que sirvieron para determinarlo.

Así desaparecen las dificultades que tanto molestaron á los astrónomos antiguos respecto á la rotacion solar: *El Sol no gira segun las leyes que rigen el movimiento de los cuerpos sólidos*; de donde resulta que á lo ménos en la capa accesible á nuestras observaciones, debemos considerarlo como una *masa flúida*.

En la tercer columna del cuadro *B* está valuada numéricamente la importancia relativa de los datos correspondientes á la segunda y cuarta, en vista del número de observaciones en que se apoyan los resultados; y esto es lo que hemos llamado *peso del resultado*. También señala esta tercer columna las latitudes correspondientes al máximo de manchas. Si fuera lícito establecer reglas fundadas en observaciones que han durado tan pocos años, podria decirse que existen cuatro zonas de máximo correspondientes á las latitudes  $\pm 10 \pm 20$ , en que los máximos observados han sido 142 y 248, 151 y 200.

Fácilmente se observa que las latitudes de estos máximos son próximamente las mismas de las regiones en que se observa que el movimiento en latitud cambia de signo. Esta coincidencia tiene su importancia, puesto que parece señalar una relacion entre los movimientos en latitud y los arcos que sirven de límite á las diversas zonas en que se producen las manchas. Sin embargo, veremos como esto es sólo una coincidencia accidental, que se dá solamente en el pe-

riodo estudiado por Carrington; porque las zonas cambian de posición en las demás series.

3.º Puede observarse también que los movimientos en latitud no son constantes, aunque la ley es aquí más complicada que en el caso del movimiento en longitud. La última columna del último cuadro, extracto de otro más minucioso de Carrington, muestra que la ley está algo confusa, porque el número de las observaciones no es suficiente sin duda; mas, por incompleto que sea el cuadro, podemos ver en él lo siguiente:

*a.* Desde 5 á 20 grados de latitud norte y desde 40 á 45 sur, el movimiento es negativo, ó lo que es mismo, en dirección al ecuador.

*b.* Entre 20º y 35º N. y entre 45º y 30º S., el movimiento se verifica en sentido de los polos. Fuera de estas zonas no es posible sentar ley alguna, porque las manchas son pocas y los resultados de las observaciones lo bastante contradictorios para no poder formular conclusión fundada en ellos.

*c.* Los cambios de signos más marcados corresponden á los lugares próximos á aquellos en que el número de manchas es un máximo ó un mínimo: pero sin que se note aquí, como en nuestros huracanes, una tendencia claramente manifiesta hácia los polos.

*d.* Comparando los movimientos en longitud y latitud, se ve que el ecuador no divide las zonas de las manchas y sus trayectorias en dos partes iguales; la línea que tiene esta propiedad, parece ser el paralelo situado á los cinco grados norte. Este hecho es importante, y lo recordaremos en uno de los capítulos siguientes, cuando reconozcamos que el ecuador tér-

mico no coincide con el astronómico, y que las protuberancias solares presentan también una excentricidad análoga.

Las leyes enunciadas resultan de la discusión de las medias; pero los casos particulares ofrecen notables diferencias. Por vía de ensayo hemos discutido las trayectorias de todas las manchas que se han presentado desde el primero de Enero á fin de Junio de 1866, y hé aquí los resultados de esta discusión.

Los elementos determinados por Carrington, comparados con nuestras observaciones, dejan que desear, dando diferencias sistemáticas que señalan la existencia de variaciones reales. Combinando nuestras observaciones con las suyas, ha encontrado Spörer los resultados que á continuación exponemos al lado de los hallados por Carrington, referidos unos y otros al año 1869.

ELEMENTOS.	CARRINGTON	SPÖRER.
Nodo. . . . .	73°57'	73°37'
Inclinacion. . . . .	7°15'	6°57'
Rotacion diurna. . . . .	14°18'	14°16'
Tiempo de una rotacion .	25 <sup>d</sup> ,38	25 <sup>d</sup> ,2340

Estas dos series de resultados deben considerarse como preferibles á todas las dadas hasta el día. Su disparidad es sensible, pero *no puede atribuirse á errores de observacion*. Cuando se hace uso de ellas

para calcular las posiciones de las manchas, se encuentran dos series de éstas: una que difiere por exceso, y otra por defecto de la posición teórica. Hay motivo, pues, para asegurar que existen en estos casos movimientos propios reales; pero, para distinguirlos, sería preciso un trabajo muy largo y muy constante. Vamos á relatar los hechos con este fin,

## CAPÍTULO VI.

### Movimiento propio de las manchas.

#### § I. RESULTADOS GENERALES.

La investigación del movimiento propio de las manchas es un trabajo inmenso; bien hubiéramos querido acometerlo, pero después de ensayarlo, lo hemos encontrado suponer á nuestras fuerzas. Expondremos, no obstante, los resultados obtenidos por nosotros y por otros observadores.

Del examen de gran número de manchas observadas empleando el micrómetro durante el año 1866, y calculadas con el mayor rigor, hemos venido á las siguientes conclusiones, concordantes con las que ofrece la gran serie de Carrington, según pudimos ver después.

1.<sup>a</sup> Siempre que una mancha se divide ó sufre

un cambio de forma considerable, se observa un movimiento brusco, una especie de salto, siempre hácia la parte anterior, ó sea en sentido del crecimiento de las longitudes.

2.<sup>a</sup> Las manchas grandes no están exentas de estos movimientos bruscos, ni aun las que duran mucho; de tiempo en tiempo se observan recrudescencias de actividad en la fuerza ó en el movimiento que las produce. Ejemplos: manchas del 14 al 26 de Marzo, del 12 al 23 de Abril, del 1.<sup>o</sup> al 12 de Junio, del 28 de Junio al 9 de Julio.

3.<sup>a</sup> Las manchas redondas, crateriformes, ofrecen más estabilidad que aquellas cuyos bordes parecen acuchillados, y cuyos núcleos son múltiples ó irregulares: con frecuencia verifican varias rotaciones.

4.<sup>a</sup> Las manchas superficiales pequeñas tienen un movimiento muy irregular; lo propio ocurre á las grandes, bien en el período de formacion, bien en el de disolucion.

5.<sup>a</sup> Siempre que cambia de forma una mancha, ó se produce otra en sus inmediaciones, se observa una perturbacion ó un cambio de posicion.

6.<sup>a</sup> Despues de haberse desvanecido, suelen reaparecer las manchas grandes á corta distancia de su posicion anterior, pero siempre hácia la parte precedente. Estos cambios impiden afirmar con certeza que la segunda mancha se deba realmente á la misma causa que la primera, y por lo tanto no debe abrigarse una absoluta confianza en las observaciones antiguas que señalan coincidencias de largo período.

Parr dar idea al lector de estos movimientos, va-

mos á exponer algunos ejemplos de manchas que, durante varias rotaciones, han sido observadas con el gran ecuatorial del Colegio Romano, y calculadas mediante medidas micrométricas, según el sistema de fórmulas de Carrington.

Estos fenómenos nos muestran que es imposible dejar de reconocer en la manchas la existencia de un movimiento de traslación, que les es propio, sobre la superficie del Sol.

TIEMPO CIVIL.	DIAS del año y fracciones de día.	ÁNGULO de posición.	DISTANCIA AL BORDE.		VALOR DE $\rho$	LATITUD heliográfica $\lambda$	LONGITUD heliográfica A.	NOTAS.
			Lado interior.	Lado exterior.				
<b>Mancha núm. 32; del 8 al 17 de Mayo de 1866. 1.º núcleo.</b>								
Mayo 8. . .	127,9097	69. 6'	455,70	»	31. 17. 43	0	107,24	Irregular.
10. . .	129,8819	83. 28	698,16	»	15. 23. 26	7. 9. 0	97,73	»
11. . .	130,8923	146. 9	895,53	»	3. 22. 4	6. 16,3	98,457	Dividida en dos.
12. T.	132,0833	235. 34	648,89	»	18. 27. 17	6. 43,9	101,911	»
13. . .	132,8888	240. 48	484,20	»	29. 16. 39	6. 7,9	101,637	»
15. . .	135,1891	243. 48	111,239	134,303	60. 21. 48	5. 24,6	102,979	»
16. . .	135,9851	243. 15	49,87	»	71. 6. 34	6. 28,9	103,235	2.º 59' de diámetro.
17. T.	137,0694	242. 54	1,064	»	87. 1. 36	6. 47,9	104,725	»
<b>2.º núcleo de la misma mancha.</b>								
Mayo 10. . .	129,8819	77. 5	598,87	»	21. 41. 31	6. 22,2	91,14	»
11. . .	130,8923	87. 15	805,06	»	8. 49. 22	5. 51,3	90,882	»
12. T.	132,0833	218. 30	816,57	»	8. 6. 54	6. 50,2	90,582	»
13. . .	132,0833	235. 6	643,30	»	18. 48. 19	6. 52,6	91,253	Cola 5/6 rastro de manchas pequeñas.

TIEMPO CIVIL.	DÍAS del año y fracciones de día.	ÁNGULO de posicion.	DISTANCIA AL BORDE.		VALOR DE $\rho$	LATITUD heliográfica $\lambda$	LONGITUD heliográfica A.	DIÁMETRO aparente heliográfico.
			Lado interior.	Lado exterior.				
<b>Mancha núm. 36; del 1 al 12 de Junio. Segunda rotacion de la anterior.</b>								
Junio 1. . .	151,9336	79.52.48	32,231	46,808	73.12.55	5.13,6	107,673	0.1
2. . .	152,9012	81.16.30	114,378	134,319	59.59.5	5.41,7	108,193	3.5
3. . .	153,8905	81.46.48	227,828	256,008	47.57.30	4.59,1	107,171	2.41
4. . .	154,8681	84.15.36	402,200	433,433	33.51.20	4.53,9	108,461	2.32
5. . .	155,8876	90.31.12	602,202	632,889	20.17.43	5.5,8	108,243	2.16
8. . .	158,9048	240.39.0	595,293	628,777	20.38.27	5.29,9	108,386	1.59
9. . .	159,8463	248.28.12	416,176	441,078	33.3.18	4.38,4	108,834	2.9
10. . .	160,9174	250.0.6	232,435	250,690	47.55.5	4.49,8	109,726	1.47
11. . .	161,9004	252.48.12	110,899	124,487	61.6.32	4.40,9	109,870	1.39
12. . .	162,9033	253.54.0	26,882	39,249	74.37.35	4.39,6	110,135	1.42
<b>Mancha núm. 39; del 23 al 26 de Junio.</b>								
Junio 23. . .	173,8603	243.4.12	408,452	»	34.28.51	8.0,3	283,694	»
24. . .	174,8943	249.40.48	231,271	»	48.52.30	8.9,9	284,828	»
25. . .	175,8751	252.28.12	99,675	144,240	61.19.16	7.35,1	285,600	Irregular.
26. . .	176,8800	255.7.48	22,305	30,652	75.7.15	7.26,4	286,416	»

TIEMPO CIVIL.	DÍAS del año y frac- ciones de día.	ÁNGULO de posición.	DISTANCIA AL BORDÉ.		VALOR DE $\rho$	LATITUD heliográfica $\lambda$	LONGITUD heliográfica $A$ .	DIÁMETRO heliográfico.
			Lado interior.	Lado exterior.				
Junio 28 . . .	178,8717	92.10.12	29,447	37,996	74.25.31	-3.12,2	110,247	0 1' 11" 1.56.19
29 . . .	179,9227	94. 9.26	111,486	123,345	60.55.41	5.29,9	109,913	1.39. 7
30 . . .	180,9003	96.58.48	233,485	245,712	48. 6.51	5.31,0	110,019	1. 6.35
Julio 1 . . .	181,9240	101.58.48	397,071	416,333	34.36.33	5.39,9	110,351	1.24.54
2 . . .	182,8973	110.12.12	572,945	593,282	22.27.27	5.27,4	110,134	1.19.44
4 . . .	184,8958	213.18. 8	767, 38	789, 88	10. 8.41	5. 1,6	111,086	1.22.44
5 . . .	185,8517	245.49.48	604,590	617,747	20.38.11	4.37,3	110,857	0.50.54
6 . . .	186,8632	255.48.48	420,562	431,110	33.13.18	4.31,9	110,781	0.56.53
7 . . .	187,8667	260.48. 0	256,212	268,035	46. 6.28	4. 8,2	110,724	1. 2. 0
8 . . .	188,9280	263.42.12	120,607	128,374	60. 3.18	4. 3,8	110,792	0.57.24
9 T. . .	189,8462	665.16.12	41,691	45,205	72.21. 4	4.16,4	111,006	0.43.53
9 M . . .	190,2472	266.15. 0	28,998	23,619	77.34.39	3.57,5	110,980	1.19.75

Núm. 40.—Tercera rotación de la 32; del 28 de Junio al 9 de Julio.

TIEMPO CIVIL.	DÍAS del año y fracciones de día.	ÁNGULO de posición.	DISTANCIA AL BORDE.		VALOR DE $\rho$	LATITUD heliográfica $\lambda$	LONGITUD heliográfica A.	DIÁMETRO heliográfico.
			Lado interior	Lado exterior.				
Julio 11 . . .	191,8981	99.42. 0	" 9,862	" 5,569	82.13.19	7. 6,8	290,265	0 1.31,5
12 . . .	192,8906	101.24. 0	60,705	52,605	69.48.34	7.17,5	289,748	1.23
13 . . .	193,8748	104. 5. 1	155,574	141,059	57.16.19	7. 7,2	289,489	1.38
14 . . .	194,8494	108.18. 4	285,791	266,186	44.55.12	7.24,8	289,418	1.40,5
15 . . .	195,9250	115.48. 0	470,556	448,836	30.48.56	7.11,8	290,015	1.31,5
16 . . .	196,8930	128.39. 6	639,422	613,740	19.39.51	6.37,51	289,625	1.39
17 . . .	197,8924	172.23. 0	750,594	777,789	11. 3.33	6.10,8	290,203	1.41,5
18 . . .	198,8854	229.30. 0	717,255	686,173	14.55.22	5.56,9	289,868	1.56
19 . . .	199,8850	251.25. 2	545,553	521,387	25.45.53	5.48,3	289,704	1.37
20 . . .	200,8790	259.31. 8	372,890	351,785	37.57.31	6. 1,6	289,460	1.38
21 . . .	201,8551	264.44. 2	221,435	205,119	59.34.54	5.43,2	289,509	1.33,5
22 . . .	202,8876	267. 6. 0	101,922	90,241	63.44.22	6.22,3	289,308	1.36,5
23 M. . .	203,8956	269.55. 2	26,510	21,759	76.56.21	5.54,4	289,411	1.34,5
23 T. . .	204,1935	270. 9. 6	14,035	10,217	80.35.22	6.12,4	289,126	1.27

Núm. 43.—Segunda rotacion de la n.º 39; del 11 al 23 de Julio.

Una simple ojeada sobre los cuadros anteriores, nos bastará para notar algunas cosas importantes.

La mancha número 32 apareció el 8 de Mayo: tenía por coordenadas  $3^{\circ} 48'$  de latitud y  $107^{\circ} 24'$  de longitud. Al cabo de dos días se había dividido en dos partes cuyas coordenadas eran: de la primera,  $7^{\circ} 9'$  de latitud y  $97^{\circ} 73'$  de longitud; de la segunda,  $6^{\circ} 22'$  y  $91^{\circ} 14'$  de latitud y longitud respectivamente. La longitud del primer núcleo estaba creciendo, la del segundo permanecía estacionaria; respecto á la latitud no se observaba movimiento alguno regular.

El 1.º de Junio reapareció el primer núcleo de esta mancha (núm. 36), el segundo se había deshecho. La latitud disminuía en tanto que crecía la longitud. El 1.º de Junio tenía un diámetro de  $3^{\circ} 5'$ ; el día 9 se había reducido á  $1^{\circ} 39'$ ; el 4 dió evidentemente un salto brusco de un grado, y disminuyó notablemente de extension.

Con el núm. 40 está inscrita la tercer revolucion de esta mancha (32 y 36). Puede observarse en él que la latitud oscila, mientras la longitud está creciendo. Hasta el 5 de Julio decreció el diámetro, después creció, y verificó movimientos bruscos que indicaban un fin próximo: en efecto, la mancha no volvió á aparecer.

En los números 39 y 43 están descritas las rotaciones de otra mancha. Desde el 25 al 26 de Junio disminuyó de latitud y creció de longitud. Durante la segunda revolucion conservó constante el diámetro y la longitud, poséyendo un movimiento muy perceptible de latitud.

No son cosas nuevas estas variaciones: en la dis-

cusión de las manchas observadas antiguamente se notan también; y si nos fundamos en observaciones propias, es sólo con objeto de convencer al lector de que las variaciones señaladas por los antiguos, no son resultado de errores en las medidas, ni efecto de imperfecciones de sus instrumentos, como por mucho tiempo se ha creído; sino variaciones reales y efectivas, porque nosotros podemos garantizar la exactitud de nuestros instrumentos y el esmero con que hemos tomado las magnitudes.

A partir de estos datos, se encuentra que los cambios de posición de las manchas son muy considerables, y que se verifican con gran rapidez. Laugier ha encontrado que en algunos casos, no muy extraordinarios por cierto, deben recorrer hasta 411 metros por segundo (1).

Y no nos referimos solamente á las variaciones en el sentido de la longitud, porque también en el de la latitud se verifican considerables y rápidas. Bianchi ha observado una mancha cuya latitud tuvo los valores siguientes:

Primera revolución.	6° 23'
Segunda id.	8° 22'
Tercera id.	8° 48'
Cuarta id.	40° 55'
Quinta id.	44° 57'

Estos cambios tan grandes parecen sospechosos, porque puede ocurrir que las observaciones correspondan á manchas diferentes. Así se explican varias

---

(1) *Comp. rendus de l'A. de Sc.*, t. XV, p. 492.

anomalías que presentan los trabajos de Cassini y de la Lande. Pero, no obstante esta posibilidad, hay variaciones reales, porque no es raro observar durante el período de estancia en el hemisferio visible, que ciertas manchas varían en latitud dos ó tres grados, sin que sea posible admitir la discontinuidad del fenómeno, en vista de la observación constante.

Podríamos multiplicar los ejemplos; pero creemos suficiente la muestra dada para que el lector se penetre de las dificultades que ofrece la teoría de estos movimientos. Quizás ninguna mancha revela con exactitud la revolución solar, y como ignoramos cuáles sean las que más se aproximan á ella, nos es forzoso servirnos de los datos más contrarios; por lo que la corrección definitiva no podrá alcanzarse más que por un trabajo asiduo y penosísimo. (1) Esto no obstante, comparando las observaciones de Carrington y las nuestras, referentes todas á manchas persistentes, ha conseguido Faye sentar las conclusiones que siguen.

Cuando una mancha persiste durante varias revoluciones, no presenta movimiento de progresión, sino oscilatorio, cuya amplitud es de varios grados, y cuya

---

(1) Nos parece que el autor no formuló su pensamiento con exactitud en las frases anteriores. Si la corrección de que habla se refiere al movimiento medio de las manchas, es en efecto obra larga; pero si trata de la determinación del movimiento solar, el problema no tiene solución por esta vía, desde el momento en que se reconocen movimientos peculiares de las manchas, que han de influenciar todas las observaciones, y pueden ser sistemáticos sin compensarse. (N. del T).

duración es mucho mayor que la correspondiente á la rotación solar. El movimiento que la mancha es, pues, una oscilación periódica que engendra una trayectoria senusoidal muy alargada.

El movimiento en longitud es también oscilatorio y de igual período.

Por la combinación de estos dos movimientos, describe la mancha, alrededor de su posición media y en el sentido de la rotación solar, una elipse cuyo eje mayor se dirige hacia los polos.

Las dimensiones de la elipse y el tiempo empleado en recorrerla, varían de una mancha para otra, siendo el fenómeno tanto más evidente cuanto mayor es la duración de la mancha (1). Sentimos vivamente que Faye no haya dado más extensión á sus investigaciones; porque en asuntos de esta índole no debe darse gran importancia á algunos casos particulares, y no es posible admitir como cierta ninguna conclusión que no se base sobre una persistencia acreditada del fenómeno que la origina.

## § II. CONCLUSIONES QUE RESULTAN DE LOS HECHOS PRECEDENTES, Y PROBLEMAS DIVERSOS.

Sin duda alguna habrá notado ya el lector cuán poca concordancia existe entre los diferentes resultados que acabamos de exponer, y también habrá sacado en consecuencia que, cuantas observaciones hemos enumerado, no pueden referirse á la parte sólida

---

(1) *Comptes rendus*, t. LXII, p. 368.

del Sol, y si á su atmósfera. Porque, en efecto, cuando gira un cuerpo sólido, todos sus puntos poseen evidentemente la misma velocidad angular y describen en igual tiempo la revolucion completa, y cuanto llevamos observado sobre los cambios de posicion y forma de las manchas, dice bien claramente que la capa fotoesférica donde ocurren estos fenómenos, es móvil como las nubes que flotan en nuestra atmósfera.

Como resultado de todo lo anterior, se nos presentan los problemas siguientes: 1.º ¿Cuál es el espesor de la capa flúida? 2.º ¿Esta fluidez es propia sólo de la fotoesfera, ó se extiende á todo el globo solar? 3.º En otros términos, ¿existe un núcleo sólido en el Sol? 4.º ¿Es el núcleo asiento de acciones físicas, de que son manifestaciones las manchas? Importantes son todos estos problemas, pero los astrónomos no están de acuerdo respecto á las soluciones que les corresponden, y á nosotros nos es imposible resolverlos al presente: por tanto, nos limitaremos á exponer las opiniones existentes sobre el asunto discutiéndolas brevemente, y reservándonos para despues indicar la solucion que en nuestro juicio corresponde al exámen de los hechos.

1.º Ya hemos dicho que los antiguos astrónomos creian que la profundidad de la mancha media el espesor de la fotoesfera. Mientras no se conoció la naturaleza del calor y se pudo suponer que una capa delgada era capaz de producir, ó más bien de emitir, *sacándola de la nada*, la inmensa cantidad de calor que pierde el Sol por radiacion, era admisible la hipótesis; pero hoy está en contradiccion con las ideas

corrientes. Segun la manera de ver de los físicos, toda la masa solar debe prestar su concurso para esta emision, y por lo tanto, no es posible ya admitir la existencia de un núcleo sólido, oscuro y con una temperatura poco elevada, situado á corta distancia de la superficie exterior, como indicaria la profundidad de las manchas.

El lector recordará que, segun los trabajos de Carrington, la velocidad de rotacion no es igual en todos los paralelos. Zöllner ha tratado de explicar este hecho, partiendo de la hipótesis de un núcleo sólido, recubierto de una capa flúida de poco espesor, que roza sobre la superficie del núcleo. Como consecuencia de su supuesto, ha obtenido la fórmula siguiente:

$$\xi = \frac{A - B \operatorname{sen}^2 \lambda}{\operatorname{cos} \lambda}.$$

Valiéndose de las observaciones de Carrington, ha determinado los valores de los coeficientes para cada uno de los hemisferios.

Hemisferio norte. . . . . A=863',8, B=613',2.

Idem sur. . . . . A= » B=631',1.

Esta fórmula no es aplicable á la latitud polar; no es, pues, continua, y á más, representa los movimientos observados con ménos exactitud que las fórmulas empíricas: por lo tanto, la hipótesis en que descansa, no parece admisible.

2.º Los movimientos propios de las manchas prueban que estos fenómenos tienen su origen en una agitacion profunda que abarca una capa de gran espesor, y remueve masas enormes con majestuosa lenti-

tud. Nos es imposible sondear la capa flúida que participa de estos movimientos, pero todo indica que su espesor no es tan pequeño como se habia supuesto.

Podemos preguntarnos, pues, si la velocidad angular de rotacion es idéntica en toda la masa solar; si la velocidad que observamos en la superficie es ó no completamente distinta de la del interior; si la capa superficial no está animada, hasta en el ecuador, de un movimiento distinto del que poseen las partes próximas al centro. No poseemos pruebas directas; pero podemos recurrir á una que no deja de tener valor, por más que á primera vista parezca algo singular.

Discutiendo Hornstein las observaciones magnéticas hechas en Praga, encontró en el movimiento de la aguja imantada un periodo de 26<sup>días</sup>33, (1) y fundándose en razones que despues examinaremos, atribuyó esta variacion á la influencia del Sol. Si se admite que este periodo es igual al tiempo de la rotacion sinódica, se encuentra que la duracion de la rotacion verdadera es de 24<sup>días</sup>55. El estudio del magnetismo nos habia revelado, pues, un tiempo de rotacion muy diferente del obtenido por la observacion de la superficie, pero próximamente idéntico al de la region ecuatorial.

Si recordamos la constitucion primitiva del Sol, no hallaremos nada extraño en este resultado. Se admite hoy que la masa que constituye los astros del sistema solar, ocupaba en otro tiempo toda la extension del mismo, y que condensándose sucesivamente,

---

(1) *Proceedings of the royal Society of London*. Vol. XX, p. 21.

ha ido abandonando anillos y constituyendo así planetas que giran con la velocidad con que se movían al desprenderse, velocidad menor para los más lejanos del centro y mayor para los más próximos. La pérdida de calor que produjo estas condensaciones continúa hoy, y también la condensación, por más que sea en extremo lenta; no es por lo tanto imposible que la velocidad del núcleo sea superior á la correspondiente á los puntos situados en la superficie. Esta diferencia no puede ser muy considerable, porque los rozamientos y movimientos interiores tienden á destruirla: pero puede existir, y ninguna ley conocida se opone á ello, puesto que tratamos de un cuerpo cuyas partes no están ligadas invariablemente entre sí como en los sólidos.

Puede parecer esta teoría aventurada á primera vista, pero notemos que está conforme con los hechos, y no se opone á ningún principio de mecánica. Su concordancia con los hechos es manifiesta: más de una vez hemos hecho constar que ocurren saltos bruscos hácia adelante, no sólo en el período de formación, sino en los de recrudescencia, en que nuevas erupciones modifican la forma de las manchas; y este fenómeno se explicaría perfectamente, admitiendo que la materia lanzada del interior del Sol llega á la superficie con un exceso de velocidad en el sentido de la rotación, y que por lo tanto, posee durante cierto tiempo un movimiento relativo en el sentido del crecimiento de las longitudes.

Hemos añadido que esta explicación no se opone á ningún principio de mecánica. Verdad es que una alta autoridad la ha estigmatizado, denunciándola

como una heregia teórica. Esta sería acusacion tiene mucha gravedad en boca de su ilustre autor Bertrand. (1) Sin embargo, este severo juicio no es inapelable, y esperamos convencer al lector de que nuestro pensamiento no ha sido bien comprendido.

Hé aquí las palabras de Bertrand: «La molécula lanzada del interior á la superficie, llegará, dice (el P. Secchi), con su exceso de velocidad. Esto es contrario en absoluto á la verdad. El principio de las áreas se realizará, puesto que la fuerza motriz está dirigida en sentido del radio. Ahora bien, segun este principio, la velocidad angular varia en razon inversa del cuadrado de la distancia, y la velocidad lineal perpendicular al radio en razon inversa de la distancia, de tal manera que la diferencia primitiva que el autor explica precisamente por la aplicacion del principio de las áreas á estas moléculas que giran alrededor del centro, desaparecerá completamente en virtud del mismo principio, cuando las moléculas sean conducidas á la misma distancia del centro.»

La cuestion se reduce á lo siguiente: ¿debe aplicarse el principio de las áreas (2) al movimiento de

(1) *Journal des Savants*; Julio 1874, p. 481.

(2) Ley de Kepler: las áreas descritas por el radio vector son proporcionales á los tiempos empleados en describirlas. Segun esta ley, si un cuerpo celeste cualquiera, ó una parte del Sol en la hipótesis del P. Secchi, se acerca ó aleja del centro del sistema, su velocidad de traslacion variará lo suficiente para que las áreas descritas por los nuevos radios, sean iguales á las que anteriormente describian en igual tiempo. La objecion de Bertrand tiene su base en esta ley. (N. del T.)

una masa que, saliendo de las profundidades del globo solar, se dirige á la superficie? La respuesta debe ser afirmativa si, como supone Bertrand, la fuerza motriz tiene por direccion la del rádio; es decir, si el móvil solamente está solicitado por la atraccion central y regido por la ley de la inercia. Pero si interviene otra fuerza cualquiera, como hemos supuesto bien claramente, (1) el asunto varia de aspecto, y en tal caso, la ley de las áreas no es aplicable, ó á lo ménos no se aplica de igual modo, y las moléculas que pasen del interior á la superficie, pueden llevar consigo su exceso de velocidad. Vamos á mostrarlo con un ejemplo bien sencillo.

Es sabido que un cuerpo que cae de gran altura, no sigue la vertical, sino que se desvia hácia el Este; y de igual manera, un proyectil lanzado de abajo hácia arriba, se tuerce hácia el oeste en su movimiento ascensional. Esto depende de que los puntos de una vertical, si bien poseen la misma velocidad angular, tienen velocidades lineales en proporcion al rádio de la circunferencia que describen. Pero suponiendo, y puede suponerse, que las partes de una masa que gira no están ligadas invariablemente entre sí, en este caso las velocidades angulares podrán ser tan diferentes como se quiera en dos partes distintas. Supongamos que en dos puntos de la misma vertical sea igual la velocidad lineal perpendicular al rádio; estos dos puntos, como no tienen la misma velocidad angular, no estarán sobre la misma vertical más que un solo instante, pero si en este instante un móvil es lanzado

---

(1) *El Sol*, 1.<sup>a</sup> ed., p. 104 y 105.

del uno al otro, llegará sin experimentar desviacion. Por último, si en el punto más bajo la velocidad lineal es superior, el móvil llegará al alto con una desviacion en sentido del movimiento, respecto á la vertical del punto de llegada. Y esta es precisamente la hipótesis que hemos propuesto para explicar el fenómeno observado en el movimiento de las manchas. Nosotros hemos supuesto una rotacion más rápida en el interior del globo que en la superficie; despues, sin pretender determinar la causa, que una *fuerza cualquiera* puede llevar á la superficie una masa procedente del interior del Sol. Estas hipótesis podrán ser todo lo arbitrarias que se quiera, segun la expresion de Bertrand, pero no constituyen ninguna heregia en mecánica.

3.º Pero dejando á un lado esta digresion, vemos que por el momento la discusion debe versar sólo sobre este punto: *el núcleo solar es líquido ó gaseoso?* No considerando más que la temperatura, no cabe vacilacion en decidirse por la fluidéz gaseosa; pero teniendo en cuenta la pesantez y la presion, debemos reconocer que los datos expuestos hasta ahora no permiten resolver la cuestion, y que es preciso esperar á mayor ilustracion en el asunto. Como hemos sido los primeros en aventurar la hipótesis del estado gaseoso del Sol, (1) nos limitaremos á decir que, bajo las enormes presiones que deben existir en el interior de este astro, la constitucion de los gases puede ser muy diferente de la que poseen á las débiles presiones co-

---

(1) *Bullettino meteorológico dell' Osservatorio del Collegio Romano*, 1 genn. 1864, p. 4.

nocidas por nosotros. Hoy se sabe que los cuerpos no pasan del estado gaseoso al líquido bruscamente, que hay un cierto estado intermedio, estudiado en otro tiempo por Cagniard-Latour y más recientemente por Andrews. El Sol, aunque gaseoso en su superficie, podrá tener desde cierta profundidad ese estado intermedio, y puede encontrarse una confirmación de esta idea en la pequeña densidad medja que posee (1,45), no obstante la enorme presión que tiende á comprimirlo. Además, se sabe que en este estado una pequeña variación en la presión produce grandes cambios de volumen: ¿no daría esto un medio de explicar las violentas erupciones que se observan á menudo?

Se ha objetado á esto que, si el Sol fuera gaseoso, sería trasparente, y sería por tanto imposible explicar la existencia de las manchas y la limpieza con que se ve limitado su contorno. Esta objeción todo lo más que prueba es que la fotosfera no está en estado de gas perfecto, sino formada, como creía Wilson, por materia precipitada y en suspensión en un gas, ó bien, como acabamos decir, en estado de transición. Tanto en una como en otra hipótesis, el Sol, sin ser trasparente, conservaría la movilidad característica de los gases.

Si esto no obstante se quiere suponer que la fotosfera se compone de gases inflamados, podemos contestar: 1.º que estas llamas, aunque gaseosas, no se extienden más allá de cierto límite; 2.º que los vapores, bajo un espesor considerable, están muy lejos de ser transparentes, como el oxígeno, el hidrógeno y demás gases perfectos. Ya veremos que el mismo hidrógeno

en grandes masas no tiene una completa transparencia, y con más razón los vapores metálicos no se dejan atravesar completamente por la luz, sin lo que no serían visibles; pues si se ven es, ó por los rayos que emiten, ó indirectamente por los que absorben. La misma atmósfera que nos rodea, á pesar de su estado gaseoso, no posee una transparencia perfecta. En cuanto á la que rodea al Sol, es tan poco trasparente, que en el centro del disco absorbe á lo ménos la mitad de los rayos emitidos por la fotosfera. Se ha exagerado mucho la transparencia de los gases incandescentes: el carbon adquiere en nuestras llamas una transparencia casi perfecta, y sin embargo Hirn ha probado que, cuando la luz atraviesa un corto número de llamas planas, pierde un 8,6 por ciento de su intensidad. (1) Los vapores metálicos que componen el Sol, deben poseer un poder absorbente mucho más considerable.

4.º El cuarto problema es mucho más complejo, y volveremos sobre él cuando hayamos estudiado por completo las leyes que rigen la rotacion del Sol.

### § III. INVESTIGACIONES TEÓRICAS SOBRE LA ROTACION DEL SOL.

Los trabajos de Carrington han hecho ver que la velocidad de la rotacion del Sol no es igual en todas

---

(1) *Annales de Ch. et de Ph.<sup>a</sup>*, 4.<sup>a</sup> série, t. XXX; 1873. Admite Hirn, en esta Memoria, que las partículas incandescentes en suspension en la llama, llegan á ser realmente transparentes: y en efecto, ciertos metales en fusion, como el hierro, el cobre, &c., son traslúcidos realmente.

las latitudes, descubrimiento confirmado por el examen de las observaciones antiguas. Los físicos se han ocupado en buscar la explicacion de este hecho extraordinario. Ya hemos hablado del ensayo infructuoso de Zöllner. Otros, partiendo tambien de la hipótesis de un núcleo sólido, han comparado el movimiento de la fotoesfera al de los vientos alicios. Vamos á discutir esta hipótesis.

Los marinos y los meteorólogos saben que existen en la zona tórrida corrientes atmosféricas constantes, con direccion noreste en el hemisfério norte, y con la sureste en el sur; corrientes originadas por la combinacion del movimiento de rotacion de la tierra con el de la absorcion producida por el calor solar, que calentando las regiones ecuatoriales, engendra un movimiento de abajo para arriba. Como resultado de este movimiento, tiende á formarse un vacio en la zona tórrida, y el aire de las regiones inmediatas acude á llenarlo; pero como en esta traslacion pasa de un paralelo de rádio menor á otro de mayor rádio, se produce el mismo efecto que si fuera un viento del Este, y combinándose este movimiento con el de traslacion ya dicho, del polo al ecuador, resultan las dos corrientes del noreste y sureste, citadas anteriormente. Fijémonos bien en lo ya dicho, que es de interés para lo sucesivo. La especie de succion que produce el calor solar, engendra dos corrientes opuestas, dirigidas del polo al ecuador, NS y SN. Las masas que van llegando sucesivamente á la region ecuatorial, vienen de paralelos más pequeños, y traen por lo tanto ménos velocidad lineal en sentido de la rotacion, que la correspondiente al punto á que llegan;

por lo tanto, un observador situado en tal region, sufrirá, por efecto de su mayor velocidad de rotacion, un choque contra el viento que llegue á su parte anterior, tal como si este estuviese animado de un movimiento de traslacion en sentido de E. á O.; pero como al mismo tiempo este aire tiene el movimiento propio señalado, en NS. ó SN., el efecto general resulta ser como de un viento en el sentido NE. ó SE.

A estas corrientes, que pudiéramos llamar inferiores, acompañan otras que soplan á una altura de dos á tres mil metros y en direccion simétrica, es decir, en el hemisferio norte, del suroeste, y en el sur, del noroeste. Además, más allá de los 30° de latitud existen las zonas de las calmas, donde desciende el aire y se divide en dos corrientes, una que vuelve de nuevo al ecuador, y otra que sigue hácia los polos.

Tal es la economía de la gran circulacion de la atmósfera terrestre, que se ha creído encontrar tambien en la solar. Nada encierra el supuesto en si que lo haga imposible. Podria objetarse que no está sometido el Sol, como la Tierra, á la accion de una fuerza exterior capaz de producir un caldeo mayor en las regiones ecuatoriales; pero no es imposible que el efecto se produzca por causas interiores, y veremos además que realmente la temperatura del ecuador es superior á la de los polos.

Pero en vez de investigar si existen causas capaces de producir una circulacion semejante á la de los vientos alicios, ocupémonos de cosa más positiva; veamos si los hechos admiten esta interpretacion. Supuesto este sistema, las manchas han de encontrarse,

ó en la corriente inferior, ó en la superior. En la primer hipótesis, partiendo de paralelos en que la velocidad es menor, deben llegar al ecuador con un movimiento aparente en sentido contrario al movimiento de rotacion general. Porque, en efecto, cuando una mancha animada de la velocidad que corresponde á un paralelo cualquiera, llegue al ecuador, no describirá en el mismo tiempo que ántes un arco de igual número de grados, porque estos son aquí más largos; su velocidad angular será pues menor, y parecerá moverse más lentamente que en las latitudes mayores. Ahora bien, esta conclusion inevitable en la teoria de los vientos alicios, está en completa contradiccion con los hechos observados.

Veámos si da mejores resultados la suposición relativa á la corriente superior. La mancha que salga de las regiones ecuatoriales, vá animada de una velocidad superior á la correspondiente á los paralelos que atraviesa; de manera que, en su movimiento, irá adelantándose más y más en el sentido de la rotacion solar á medida que crezca su latitud, ó lo que es lo mismo, se la verá marchar más rápidamente que sobre el ecuador: resultado igual al anterior y opuesto, por lo tanto, á los datos de observacion.

Sea, pues, cualquiera el modo que empleemos para aplicar la teoria de los vientos alicios al movimiento de las manchas, encontramos que está en oposicion con la ley bien sentada que rige el movimiento de las manchas segun la latitud, y que señala la mayor velocidad en el ecuador.

Durante toda esta discusion, no nos hemos ocupado más que del movimiento en sentido de la lon-

gitud, y las manchas poseen tambien otro, en el sentido de la latitud que, no por ser ménos regular y estar ménos estudiado, puede ponerse en duda. Los trabajos de Carrington han mostrado con evidencia la existencia de líneas nodales y de cambios de signos, que indican un transporte de las manchas hácia el ecuador, entre los 25° grados de latitud norte y los 20 de latitud sur. Mas allá de estos límites, los movimientos pasan á ser divergentes y las manchas se dirigen hácia el polo. Si estos movimientos fuesen constantes y regulares, no cabe duda que podrian compararse á los observados en los alicios; pero á más de ser poco marcados y no muy generales, las investigaciones ya citadas de Faye prueban que el transporte del ecuador hácia los polos no es constante. Y si á esto añadimos el resultado del exámen que acabamos de hacer respecto al movimiento en longitud, claramente veremos que no puede aplicarse al Sol la teoría de los alicios terrestres.

Aun tratándose de la Tierra, es necesario no confundir el movimiento de los alicios con el de los huracanes ó de los ciclones. La observacion ha probado que éstos tienen un movimiento próximamente perpendicular al de los alicios. La zona en que nacen, es aquella en que se confunde la impulsión de estos con la de los monzones (1). Un observador situado fuera

---

(1) El resultado de la acción de dos fuerzas situadas en distintos planos sobre un cuerpo libre, es una rotación del cuerpo sobre sí mismo y un movimiento de traslación; la velocidad y el sentido de estos movimientos depende de la posición y magnitud respectiva de las

de la Tierra vería moverse con más lentitud los puntos correspondientes á los ciclones. Si ocurriese lo mismo en la atmósfera solar, podrian ser muy diferentes los movimientos de las manchas que los correspondientes al resto de la masa gaseosa, y en el ecuador tendrian tambien mayor velocidad que en las demás latitudes: en este caso podrian asimilarse á nuestros ciclones. Tal opinion ha sido emitida hace tiempo, y desde algunos años la sostiene Faye, que considera las manchas como torbellinos.

Admitida esta teoría hasta cierto punto, puede explicar gran número de hechos, pero nos parece que no es tan general como supone Faye. Nunca hemos negado la existencia de las manchas giratorias, más de una vez hemos hecho constar que ciertas manchas afectan la forma espiral, y á más, que con frecuencia siguen la ley de los ciclones, girando *dextrorsum*, esto es, como las agujas de un reloj, en el hemisfério austral, y *sinestrorsum* en el boreal. Pero ya hemos dicho que el número de estas manchas es muy pequeño, comparado con el de las que no presentan trazas de tal constitucion. A más, en estos últimos tiempos hemos estudiado asiduamente varias manchas y determinado diariamente la posicion de los

---

dos fuerzas. Este caso es el de los huracanes: dos corrientes de viento de direccion casi contraria y teniendo las líneas de máxima accion en planos distintos, por su encuentro engendran un torbellino que se mueve segun una trayectoria curva, en virtud de la variacion sucesiva de las causas generadoras del fenómeno. Véase Maury, *Teoria de los huracanes*, y Poinsot. (N. del T).

puentes y de las lenguas de fuego, y hemos visto el sentido de la rotacion del torbellino cambiar con frecuencia (1). Es imposible, pues, atribuir el fenómeno á causas persistentes, tales como las que producen nuestros ciclones. De esto se origina una dificultad grave que, unida á la falta de trasporte sistemático del ecuador á los polos, no permite comparar las manchas á los ciclones terrestres.

Debe haber, sin embargo, en todas las manchas un cierto movimiento de rotacion; porque hemos visto que la materia luminosa se precipita por todos los lados hácia el núcleo, y este flujo de materia procedente de distintos paralelos, con velocidades diferentes por lo tanto, debè ocasionar un torbellino, como sucede en nuestra atmósfera áun en las tempestades ordinarias. Pero como la rapidez de la rotacion depende principalmente en estos casos de la velocidad con que afluye la materia al centro, si es pequeño el movimiento giratorio, tendrá tambien poca rapidez, y el rozamiento, disminuyendo el movimiento centripeto, podrá llegar á hacerla imperceptible. Si una mancha fuese una region *vacía*, ó llena de materia extraordinariamente rarificada, la velocidad del flujo seria grande en extremo; pero si no se diferencia de las regiones circundantes más que por estar formada por una materia más absorbente ó más fria, la velocidad del movimiento centripeto tendrá que ser lo bastante pequeña para que la rotacion resultante sea imper-

---

(1) Para esto, basta que cambien de posicion con respecto al ecuador, las líneas de máxima accion de las corrientes opuestas.

ceptible. Por otra parte, si las manchas son centros de erupcion, se producirá en ellas una fuerza centrífuga capaz de anular la centripeta, y áun de originar un efecto contrario; y por lo que á esto se refiere, actualmente es indudable que la produccion de las manchas está ligada íntimamente con los fenómenos de las erupciones.

Ya hemos hecho notar que las fases de desaparicion de las manchas y de los huracanes no ofrecen semejanza alguna. El huracan se extiende, la mancha se contrae: el huracan se dirige hácia el polo, formando su trayectoria un codo en el sentido de las longitudes; en las manchas no ocurre tal cosa, y además, su movimiento rotatorio, cuando se nota, es considerable solamente en el período de formacion, cuando la erupcion es más violenta.

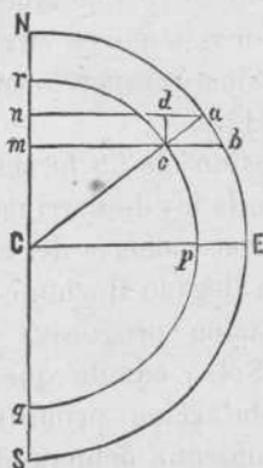
En fin, si admitimos que las manchas pueden asimilarse á los huracanes, seria necesario para explicarlas hallar la causa capaz de determinar estas crisis. No basta para esto invocar el movimiento rotatorio del Sol, ni el transporte de la capa móvil, ya en un sentido, ya en otro. Estas causas son constantes y permanentes, mientras que las manchas son fenómenos intermitentes. Sus causas deben ser del mismo orden que las que determinan nuestros huracanes, y que nos parecen irregulares y accidentales porque las desconocemos. Se dice por algunos que cada poro formado en el Sol, es un verdadero torbellino, y que por esto está cubierta de ellos la superficie solar: esto es una hipótesis nada más, sin fundamento alguno en la observacion; nosotros los hemos estudiado con atencion y perseverancia, sin encontrar nada que permita

suponer tal movimiento de torbellino, En cuanto á la causa determinante de estos fenómenos, nosotros la encontramos en las erupcionés, y ya veremos que la teoría de éstas y la de los torbellinos, en vez de oponerse, se completan.

Por de pronto limitémonos á consignar que las manchas parecen estar dotadas de un movimiento propio de traslacion general, contrario al que anima á la masa total del Sol. A esta conclusion nos llevan: 1.º el exámen de las observaciones magnéticas de Hornstein; 2.º la presencia, en la parte posterior de la mancha, de colas sembradas de fúculas y manchas pequeñas, y 3.º la disposicion de las fúculas, más vivas y más estrechas en la parte anterior de las manchas, mientras que en la posterior son más grandes, ménos brillantes y más numerosas, formando un resalte que la Rue llama rodete. Todos éstos hechos tienden á mostrarnos en la superficie externa una circulacion distinta del movimiento que anima á la masa interior.

No podemos formular una teoría que explique de una manera completamente satisfactoria esta singular circulacion de la masa solar; esto no obstante, vamos á proponer una hipótesis, que sometemos al juicio de las personas competentes.

El Sol se enfria constantemente perdiendo calor por radiacion, y ya veremos como puede valuarse esta pérdida. Esta disminucion de temperatura origina necesariamente otra disminucion de volúmen, cuyas consecuencias vamos á examinar.

Fig. 8.<sup>a</sup>

Sea un globo NES. (fig.<sup>a</sup> 8.<sup>a</sup>) La superficie NES, por consecuencia del enfriamiento, al cabo de cierto tiempo se ha convertido en la *rpq*, habiéndose transportado el punto *E* al *p*, el *a* al *c*, etc. En esta contracción no se han acercado todos los puntos la misma cantidad al eje de rotación *NS*.: el punto *E* se ha aproximado la cantidad *Ep*, mientras que el punto *a* lo ha hecho solamente en la cantidad  $ad = ac \cos \lambda$ , siendo  $\lambda$  la latitud del punto *a*. Se vé, pues, que el radio del círculo descrito por un punto cualquiera, disminuye en una cantidad proporcional al coseno de la latitud; siendo por lo tanto, esta disminución máxima en el ecuador, y decreciendo progresivamente hasta el polo, en que es nula.

Supongamos, pues, un globo que gira alrededor de uno de sus diámetros, teniendo todas sus partes sujetas á la ley de gravitación; disminuyendo el rá-

dio, resultará un aumento de velocidad angular, dependiente del cuadrado de esta disminucion, en virtud de la ley de las áreas; por lo tanto, la velocidad crecerá en el ecuador más que en otro punto cualquiera, y en cada paralelo proporcionalmente á  $\cos^2\lambda$ , siendo  $\lambda$  la latitud (4).

Este resultado es una de las formas bajo las cuales puede representarse la ley de Carrington, y el exceso de velocidad seria consecuencia del enfriamiento. Al mismo resultado ha llegado Roche, considerando solamente la condensacion progresiva de la nebulosa que ha formado al Sol, y admite que la aceleracion actual resulta de esta accion primitiva: es evidente que, gracias al rozamiento, debiera desaparecer con el tiempo esta aceleracion, pero como el enfriamiento

(1) El cálculo siguiente muestra que por una condensacion, tal como la que supone el autor en la figura 8.<sup>a</sup>, no se pueden producir diferencias de velocidad angular. Sean  $\sqrt{v}$  la velocidad angular en todo el sistema antes del enfriamiento, y  $\sqrt{v'}$  la correspondiente despues en el Ecuador; los rádios de las esferas respectivas  $r$  y  $r'$ . Las espresiones de las áreas descritas por cada rádio en la unidad de tiempo serán  $\frac{1}{2}\sqrt{v}r^2$  y  $\frac{1}{2}\sqrt{v'}r'^2$ ; y como segun el principio de las áreas deben ser iguales, y ademas  $r=r'+\rho E$  (fig.<sup>a</sup> 8), tendremos  $\frac{1}{2}\sqrt{v}(r'+\rho E)^2 = \frac{1}{2}\sqrt{v'}r'^2$ ; de donde  $\sqrt{v'} = \sqrt{v} \frac{r'+\rho E r^2}{r'^2}$ . Por otra parte, el área descrita por el rádio  $na$  ántes del enfriamiento es  $\frac{1}{2}\sqrt{v}na^2$ , y como  $na=r \cos aE$  y  $aE=\lambda$ , la expresion del área se convierte en  $\frac{1}{2}\sqrt{v}r^2 \cos^2\lambda$ . Cuando el punto  $a$  se encuentra en  $c$ , por efecto de la contraccion debida al enfriamiento, el área descrita por su rádio vector  $cm$

y la condensacion continuan, la aceleracion ecuatorial que engendran debe persistir.

Esta disminucion del volúmen solar puede ser muy débil, tan débil que sea imposible notarla en el corto tiempo trascurrido desde que comenzaron á tomarse medidas precisas; pero, sin embargo, vista la inmensidad del globo solar, bien puede ser suficiente para explicar las diferencias de velocidad que la observacion nos ha revelado.

#### § IV. DE ALGUNAS IRREGULARIDADES APARENTES EN EL MOVIMIENTO DE LAS MANCHAS.

Cuando se estudia el movimiento de una mancha en sentido de las longitudes, se notan, como hemos dicho, ciertas variaciones muy considerables, completamente

tambien será igual á la descrita por el  $na$ , y llamando  $\nabla'$  la velocidad angular incógnita correspondiente al rádio  $mc$ , tendremos por expresion del área  $\frac{1}{2}\nabla' mc^2$ , é igualando  $\frac{1}{2}\nabla' mc^2 = \frac{1}{2}\nabla r^2 \cos^2 \lambda$ ; de donde  $\nabla' = \nabla \frac{r^2 \cos^2 \lambda}{mc^2}$ .

Pero  $mc = c\rho \cos \lambda = r' \cos \lambda$ , y  $r = r' + \rho E$ ; sustituyendo en el valor de  $\nabla'$  tendremos  $\nabla' = \nabla \frac{(r' + \rho E)^2 \cos^2 \lambda}{r^2 \cos^2 \lambda}$

$\nabla' = \nabla \frac{(r' + \rho E)^2}{r'^2} = \nabla$ . Lo que prueba que continuan

siendo iguales entre sí las velocidades angulares despues de la contraccion. La hipótesis hubiera sido quizás más acertada, teniendo en cuenta la accion atractiva de la masa solar sobre sus partes, y la diferente variacion de los diámetros polar y ecuatorial.

anómalas al parecer. Pero á más de estos movimientos irregulares, se observan en la proximidad del limbo unas aberraciones sistemáticas, cuya ley es definible: cerca del borde oriental parece que la mancha se aproxima al centro, aumentando su longitud, y cerca del borde occidental parece marchar en sentido contrario, aproximándose aun al centro, mientras que su longitud disminuye. Así, pues, en la parte oriental del disco los arcos diurnos se hallan aumentados, mientras están disminuidos en la parte occidental.

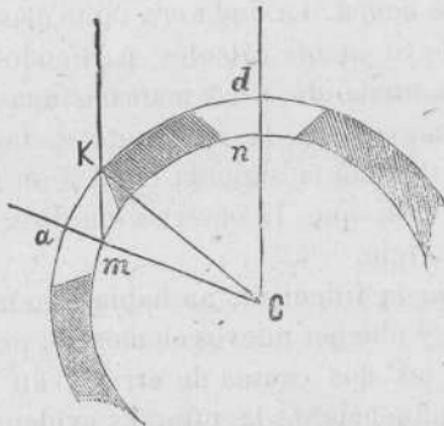
Después de haber examinado este hecho en las tablas de Carrington, buscamos su causa, y nos inclinamos á creerlo dependiente de la refracción de la atmósfera solar. Ya Carrington habia indicado esta causa de perturbacion, pero no la habia estudiado con la detencion que merece.

Si consideramos un punto de la fotosfera situado en la parte invisible para nosotros, pero cerca del contorno aparente del disco, y suponemos un rayo emitido por dicho punto oblicuamente á la prolongacion del radio, pero comprendido en un plano que pase por el ojo de un observador y el centro del Sol, este rayo al atravesar la atmósfera solar, si ésta tiene un poder refringente bastante, describirá una curva y podrá llegar al observador permitiéndole ver el punto luminoso ántes de franquear el contorno geométrico del Sol, que sin esta refraccion separaria la parte visible de la invisible: así, pues, las manchas se verán un poco ántes de lo debido geométricamente, y desaparecerán un poco después. Para los cálculos relativos á estos fenómenos, pueden usarse las fórmulas que sirven para valuar la influencia de la refraccion

de nuestra atmósfera en los ortos y ocasos de los astros.

Mientras examinábamos la influencia de la refracción debida á la atmósfera solar, Faye daba otra explicación de las irregularidades sistemáticas que se presentan cerca del limbo del Sol. Según su idea, estas anomalías se producen por el fenómeno que llama *paralaje de profundidad*, y que resulta de ser las manchas cavidades.

Fig. 9.<sup>a</sup>



Supongamos (fig.<sup>a</sup> 9.<sup>a</sup>) una mancha en forma de cavidad cónica. El que observa el centro del núcleo  $n$ , lo refiere siempre en sus valuaciones al punto  $d$ , en que su rayo visual  $dn$ , corta á la superficie de la fotosfera. Si la mancha ocupa el medio del disco, el punto observado se proyectará en el centro de la penumbra; pero cuando la mancha está cerca del limbo, el punto  $m$ , observado según la dirección  $Km$ , en vez

de referirse al punto  $a$ , extremo del radio solar  $Cma$ , parece proyectarse en  $K$ , punto en que el rayo visual encuentra á la fotosfera, y la mancha parece haberse aproximado al centro en la cantidad  $aK$ . Cuando se trata de calcular la influencia de este paralaje, se halla que produce un error proporcional á la tangente de la distancia heliocéntrica de la mancha, expresada por la misma fórmula trigonométrica que sirve para las refracciones. Era, pues, imposible determinar simplemente por los resultados numéricos de las fórmulas, la parte correspondiente á cada una de estas dos causas en la producción del movimiento aparente que nos ocupa. La duda era tanto más legítima, cuanto que Faye en sus cálculos, partiendo de su hipótesis, habia atribuido á las manchas una profundidad mucho mayor que la resultante de las medidas directas; puesto que la suponía igual á un radio terrestre, siendo así que la observación directa apenas le asigna un tercio.

Para zanjar la dificultad, no habia otro medio que observar más y obtener nuevos elementos, procurando evitar una de las dos causas de error á fin de poder apreciar la influencia de la otra. Es evidente que la refracción no se podia evitar; pero era de creer que, tomando las posiciones de los bordes de la mancha y calculando separadamente sus coordenadas heliográficas, podria eliminarse la *paralaje de profundidad*. Por fortuna, en 1866 se presentaron varias manchas muy regulares y dotadas de un pequeño movimiento en longitud, sobre todo la del 16 de Junio al 9 de Julio, y la del 14 al 23 de Julio. Las seguí dia por dia con el mayor cuidado, tomando medidas mi-

crométricas con el gran refractor, y obtuve los datos necesarios.

Después de haber evitado de este modo los errores debidos á la paralaje de profundidad, todavía se encuentran perturbaciones en el movimiento de longitud, y estas perturbaciones que siempre se manifiestan en el sentido indicado por la teoría, no pueden atribuirse más que á la refracción. Sin embargo, como su valor excede en muy poco los límites de los errores de observación, no obstante estar convencidos de la existencia de la refracción solar, no podremos valuarla hasta después de hacer muchas observaciones sobre manchas de una regularidad y estabilidad extraordinarias. (1)

Todo cambio de forma algo considerable, origina irregularidades en el movimiento en sentido de las longitudes, y gran número de medidas hechas con gran esmero, nos han dado á conocer que estos cambios ocurren con frecuencia.

La teoría de Faye sobre la paralaje de profundidad se ha comprobado de esta manera, y á su vez ha servido de confirmación á las ideas de Wilson. Las manchas son, pues, cavidades; ¿pero son resultado de erupciones, ó están formadas por torbellinos análogos á los ciclones? Ya trataremos del asunto cuando hayamos acopiado datos bastantes para resolverlo. Una circunstancia hay que desde ahora podría llevarnos á asimilarlas á los ciclones, y es que el máximum de manchas coincide con los límites de las zonas en que

---

(1) Véase *Comptes rendus* 1866, t. LXIII, p. 163 á 170.

se produce el cambio de movimiento en latitud; pero no nos apresuremos á sacar consecuencias que pudieran ser prematuras.

#### § V. RESÚMEN DE LOS MOVIMIENTOS DE LAS MANCHAS.

Por cuanto llevamos dicho hasta aquí, se viene en conocimiento de que, en vez de estudiar la rotacion del cuerpo solar, nos vemos precisados á observar los movimientos de su atmósfera. Nos encontramos en la misma situacion en que se hallaria un astrónomo que, colocado en la Luna, quisiera estudiar el movimiento de rotacion de la Tierra, y eligiese una nube como objeto de observacion: se veria obligado á determinar, ántes que nada, las leyes de la circulacion atmosférica; empresa bien difícil, por cierto, y casi imposible en tales circunstancias. Sin embargo, los conocimientos adquiridos hasta ahora nos permiten dividir en tres categorías los movimientos de las manchas:

La primera comprende todos los movimientos generales, y en ella el hecho más importante es la desigualdad de rotacion en los distintos paralelos; la velocidad angular tiene su máximo en el Ecuador y disminuye á medida que la latitud aumenta.

La segunda categoría abarca los movimientos aparentes debidos á la paralaje de profundidad y á la refraccion. Eliminada la primera causa por el método de observacion que hemos propuesto, queda solamente la segunda, cuya influencia no puede despreciarse, aunque no está suficientemente determinada.

La tercera encierra todos los movimientos irregulares y extraordinarios dependientes de las causas productoras de las manchas, causas desconocidas aun, y que lo serán probablemente por mucho tiempo.

Ya hemos hecho notar varias veces que estos movimientos se originan más comunmente en la época de la aparición, y que á menudo se forman varios centros, sin que sea posible preveer cuál de ellos persistirá y formará el núcleo de la mancha. También hemos dicho que las mismas irregularidades se presentan en el periodo de desaparición, y que las manchas más estables son aquellas que parecen más profundas.

En fin, es imposible explicar los movimientos sistemáticos de las manchas por la existencia de corrientes análogas á nuestros vientos alizos; porque esta hipótesis no explica la mayor velocidad angular en el Ecuador, hecho capital en la observación, ni tampoco los numerosos movimientos en latitud.

La hipótesis más sencilla es la de la contracción debida al enfriamiento: explica el mayor número de fenómenos, y muy especialmente el movimiento más rápido en el Ecuador. Pero cuando queremos entrar en un exámen minucioso, nos es imposible señalar las causas inmediatas de cada uno de los fenómenos que observamos. Aun admitiendo que sean las manchas torbellinos, debemos confesar nuestra ignorancia respecto á las causas que determinan su formación, porque fenómenos tan varios y caprichosos no son explicables sólo por causas generales y permanentes.

No conocemos el espesor de la capa gaseosa que estudiamos, pero considerando la alta temperatura

del globo solar, debemos suponer que esta capa flúida es muy gruesa, que no existe el núcleo sólido en el sentido que damos á esta palabra, y que en caso de existir, debe estar situado á gran profundidad bajo la superficie visible.

## CAPÍTULO VII.

### Variaciones seculares de las manchas.

#### § I. INVESTIGACION HISTÓRICA.

Después de haber estudiado la naturaleza y movimiento de la manchas, es natural preguntarse si las épocas de sus apariciones siguen alguna ley. Asunto es este que ha preocupado mucho á los astrónomos modernos. Los observadores antiguos notaron que no todos los años habia el mismo número de manchas, y que en ocasiones pasaban meses y aun años sin manifestarse ninguna. Aun suponiendo que esta última afirmacion sea un poco exagerada, y resultado quizás de falta de exactitud en la manera de hacer las observaciones é impotencia de los instrumentos entonces usados, no es por esto ménos cierto que el número de manchas varia de unos años para otros y que, en ciertas épocas, son en extremo raras.

W. Herschel fué el primero que se ocupó del asunto; y deseando relacionarlo con la meteorología terrestre, á falta de otro elemento lo comparó con el

precio del trigo; fácil es concebir que no pudo resultar nada de semejante trabajo. Sin duda alguna están ligados los fenómenos meteorológicos con las vicisitudes solares, de lo que veremos una prueba palpable; pero el término de comparación elegido por Herschel es demasiado complejo para tener ninguna relación directa é inmediata con el estado del Sol.

En nuestros días ha sido estudiado á fondo el asunto por Wolf, director del Observatorio de Zurich, y á su celo debemos un copioso é interesantísimo catálogo que contiene gran número de observaciones antiguas, que yacían sepultadas en los archivos y en los repertorios, y no ha limitado á esto su trabajo, sino que ha procurado coordinarlas, hacerlas comparables, y llenar, en cuanto le ha sido posible, los numerosos claros que existían entre las distintas series de observaciones.

Scheiner fué el observador más constante en la época del descubrimiento de las manchas; pero él mismo hizo constar que no las había tenido en cuenta todas, y que sólo consignaba las que eran capaces de suministrarle elementos para su trabajo sobre la rotación del Sol. Otros hicieron posteriormente varias series de observaciones, de las que unas se han perdido y otras tienen grandes claros. En Nuremberg, desde 1749 á 1799, observó con más constancia Juan Gaspar Staudacher; ántes que él, los Cassini, Maraldi y otros se ocuparon del asunto de un modo indirecto, limitándose á consignar lo más notable que observaban en el Sol, al tomar la meridiana. También Zucconi y Flaugergues nos dejaron buenas series, que Wolf ha utilizado haciéndolas comparables entre sí, é

introduciendo en ellas las correcciones más verosímiles. La principal dificultad consiste en que, no usando todos anteojos de igual potencia, los que tenían mejores instrumentos percibían y anotaban manchas que no distinguían los otros, no siendo por tanto comparables entre sí los números consignados en estos catálogos. La tarea de Wolf ha consistido en reemplazar estos números por los que habrían consignado los observadores, si todos se hubiesen servido de instrumentos comparables á un tipo determinado. De este trabajo ha resultado una crónica de las manchas, casi continua, desde una época bastante remota hasta la fecha en que volvieron á emprenderse estos estudios con gran actividad.

En estos tiempos el barón Schwabe de Dessau se ha ocupado de esto con más asiduidad y constancia. Desde 1826 á 1868 no ha dejado trascurrir un día, en que el tiempo lo permitiese, sin hacer observaciones. Esta serie tiene gran valor porque se enlaza con la de Carrington, y esta á su vez se liga con la de Spörer y con tantas observaciones fotográficas y de todas clases como al presente se hacen, formando un todo; pues no obstante estar hechas por muy distintos procedimientos, son de fácil reducción.

Recientemente muchas personas doctas se han ocupado y se ocupan en observar delicadamente las manchas, pero hoy como anteriormente son pocos los perseverantes. El método fotográfico es excelente, si no consumiera tanto tiempo y originara tantos gastos. El dibujo, aunque desacreditado injustamente por algunos, es más propio para que el observador continúe en el trabajo, y si se ejecuta en gran tamaño

por un hábil dibujante sobre proyeccion hecha por un instrumento movido por un aparato de relojeria, puede sostener como método el parangon con la fotografia. Con sentimiento hemos sabido que las observaciones fotográficas de Kew se han interrumpido; pero esperamos que se reanuden en Greenwich usando el mismo aparato.

## § II ESTADÍSTICA DE LAS MANCHAS SOLARES.

Al estudiar su larga série de observaciones el baron Schwabe, halló en ellas una periodicidad manifiesta: con intérvalo de diez á once años aparecian máximos y mínimos muy marcados. Cierto es que en tal estudio hay siempre algunos elementos defectuosos; porque desde luego no todos los dias permite la atmósfera que se observe el Sol, y estos dias aumentan el número de aquellos en que no hay manchas: además, el número de las manchas siempre es un poco arbitrario, porque á menudo hay grupos que por su subdivision se prestan á ser contados de distintas maneras; pero en una serie tan larga como la del baron Schwabe, todas estas diferencias se compensan y desaparecen en el resultado final. En efecto, está la ley tan manifiesta, que basta echar una ojeada sobre la tabla, para conocer que no hay objecion alguna que pueda desvirtuarla. Insertamos esta interesante tabla, anadiéndole los resultados obtenidos durante catorce años de observacion en el Colegio Romano. Tambien hemos aumentado una columna que contiene el resultado de las investigaciones hechas por la Rue

sobre las observaciones de Carrington y del observatorio de Kew.

Los diseños de Schwabe fueron hechos en escala muy pequeña; sólo tienen de 6 á 7 centímetros de diámetro; por lo que los resultados podían contener algunas inexactitudes, y había que ver si tenían la bastante exactitud para poderse comparar, por ejemplo, con las vistas fotográficas. Ahora bien, como esta serie se compenetra con la de Carrington y la de los astrónomos de Kew, pudo la Rue, aprovechando esta circunstancia, comparar los años comunes, y el resultado fué tan satisfactorio que, usando un coeficiente oportuno, puede darse á todas estas observaciones el mismo grado de exactitud. Hé aquí un extracto de la comparacion hecha entre los números de Schwabe y los de Kew. (*On solar Physics*, p. 9).

	<u>En Dessau.</u>	<u>En Kew.</u>
En 10 meses de 1862. . . . .	433	467
En 9 meses de 1863. . . . .	91	89
En todo el 1864. . . . .	430	445
TOTAL.. . . .	354	371

Las diferencias, como se vé, no son extremas, ni capaces de invalidar lo que vamos á exponer.

El método más exacto, el único racional, consiste en valuar la parte de superficie cubierta por las manchas; pero el sistema que consiste en apreciar el número de las manchas, ¿dará el mismo resultado, ó conducirá á consecuencias diferentes? Para resolver este problema ha hecho la Rue valuar la superficie

total de las manchas en millonésimas del hemisferio visible. Este cálculo ha sido hecho con admirable paciencia, sobre las tres series de Schwabe, Carrington y Kew, valuando separadamente el núcleo, la penumbra y el conjunto, y haciendo al propio tiempo la corrección debida á la deformación aparente que se manifiesta á medida que la mancha se aleja del centro del disco. El resultado de este inmenso trabajo está consignado en varios cuadros anejos á las notables memorias publicadas desde 1865 á 1870 en las *Philosophical transactions*, bajo el epigrafe de *Researches on solar physics* by W. de la Rue, Balfour Stewart, Benjamin Lœvy. De la última de estas memorias, pág.<sup>a</sup> 428, hemos extractado los números que el adjunto cuadro corresponden á los años comprendidos entre 1832 y 1868. La unidad empleada en la quinta columna es una millonésima de la superficie del hemisferio solar.

*Cuadro expresivo de manchas observadas en el Sol, durante 47 años.*

AÑOS.	Días de observacion.	Días sin manchas.	Número de manchas.	Superficie de las manchas	Colegio Romano.
1826	277	22	118	...	...
1827	273	2	161	...	...
1828	282	0	225	...	...
1829	244	0	199	...	...
1830	217	1	190	...	...
1831	239	3	149	...	...
1832	270	49	84	196	...
1833	267	139	33	73	...
1834	273	120	51	142	...
1835	244	18	173	837	...
1836	200	0	272	1407	...
1837	168	0	333	1236	...
1838	202	0	282	876	...
1839	205	0	162	817	...
1840	263	3	152	575	...
1841	283	15	102	340	...
1842	307	64	68	209	...
1843	312	149	34	108	...
1844	321	111	52	197	...
1845	332	29	114	396	...
1846	314	1	157	599	...
1847	276	0	257	1127	...
1848	278	0	330	1112	...
1849	285	0	238	755	...
1850	308	2	186	583	...
1851	308	0	141	658	...
1852	337	2	125	522	...
1853	299	4	91	350	...
1854	334	65	67	198	...
1855	313	146	38	82	...
1856	321	193	34	40	...
1857	324	52	98	227	...
1858	335	0	202	763	...
1859	343	0	205	1390	257
1860	332	0	211	1343	251
1861	322	0	204	1310	251
1862	317	3	160	1165	168
1863	330	2	124	749	165
1864	325	4	130	815	97
1865	307	26	93	549	86
1866	349	76	45	199	81
1867	312	195	25	188	32
1868	301	12	101	449	92
1869	179	0	...	...	198
1870	147	0	...	...	305
1871	380	0	...	...	304
1872	315	0	...	...	292

Este cuadro es á la vez interesante y muy instructivo. Sus cifras hablan bien claramente, y basta examinarlas con un poco de atencion para reconocer la exactitud de las conclusiones que vamos á sentar.

1.º A contar de la época en que se presenta un máximo ó un mínimo de manchas, hasta la repeticion del fenómeno transcurre un intervalo de tiempo comprendido entre 40 y 42 años. Para determinar el valor del periodo con más exactitud, algunos astrónomos han recurrido á las observaciones antiguas. Wolf, de Zurich, ha hecho con este motivo un interesante trabajo, que se encuentra en su obra sobre las manchas solares (*Mittheilungen der Sonnenflecken*), y ha podido establecer la cronología de las fases del Sol, á partir del descubrimiento de las manchas hasta nuestros dias. Sus cálculos le han llevado á valuar el periodo en 41 años y  $\frac{1}{9}$ . Lamont, por su parte, ha encontrado un valor de 40 años y 0,43; pero este número no representa con bastante exactitud las últimas observaciones.

2.º Todo máximo dista, en tiempo, ménos del mínimo precedente que del siguiente. Segun la Rue, por término medio el crecimiento dura 3 años 0,52, y la disminucion 7 años 0,55. La coincidencia casi completa de las observaciones es sorprendente, vista la diversidad de métodos empleados, puesto que los unos han valuado el número de las manchas y los otros sus superficies. No son, sin embargo, completamente idénticos los periodos, como puede verse en los trabajos de la Rue (1832 á 1868); pero se ha observado que, cuando un periodo de disminucion se acorta ó alarga, el siguiente de crecimiento se alarga

é acorta de igual manera. Con arreglo á esta observacion, la primera parte del periodo actual debia ser muy rápida, y en efecto así ha sucedido.

3.º De los trabajos de Wolf tomamos las séries de máximos y mínimos de manchas observadas y anotadas por distintos observadores, Al lado de cada una de estas fechas ponemos un número que indica el grado de aproximacion con que las conocemos. Como puede notarse, los limites de error son mucho mayores en las observaciones antiguas que en las modernas.

*Cuadro de las épocas de máximo y mínimo en las manchas solares por WOLF.*

MÁXIMOS.		MÍNIMOS.	
ÉPOCA.	LÍMITE DEL ERROR.	ÉPOCA.	LÍMITE DEL ERROR.
<i>Série antigua.</i>			
1615,0	± 1,5	1610,8	± 0,4
1626,0	± 1,0	1619,0	± 1,5
1639,5	± 1,0	1634,0	± 1,0
1655,0	± 2,0	1645,0	± 1,0
1675,0	± 2,0	1666,0	± 2,0
1685,5	± 1,5	1679,5	± 2,0
1693,0	± 2,0	1689,5	± 2,0
1705,0	± 2,0	1698,0	± 2,0
1717,5	± 1,0	1712,0	± 1,0
1727,5	± 1,0	1723,0	± 1,0
1738,5	± 1,5	1733,0	± 1,5
		1745,0	± 1,0
<i>Série moderna.</i>			
1750,0	± 1,0	1755,7	± 0,5
1761,5	± 0,5	1766,5	± 0,5
1770,0	± 0,5	1775,8	± 0,5
1779,5	± 0,5	1784,8	± 0,5
1788,5	± 0,5	1798,5	± 0,5
1804,0	± 0,1	1810,5	± 0,5
1816,8	± 0,5	1823,2	± 0,2
1829,5	± 0,5	1833,8	± 0,2
1837,2	± 0,5	1844,0	± 0,2
1848,6	± 0,5	1856,2	± 0,2
1860,2	± 0,2	1867,1	± 0,1

Wolf, para resumir la marcha de las variaciones anuales, ha construido una curva, y otra análoga Carrington, en la que las abscisas representan los años y las ordenadas el número de manchas. El estudio de la

curva de Wolf enseña dos cosas: 1.<sup>a</sup> que, como habíamos dicho, existe el periodo undecenal; 2.<sup>a</sup> que no es tan sencillo este periodo como pudiera creerse, y que en realidad hay dós periodos superpuestos, uno el ya dicho, otro semisecular; y aunque las observaciones antiguas no sean lo bastante exactas, para determinar la ley del segundo, no se puede dejar de conocer su existencia.

Los últimos trabajos de Wolf señalan á este periodo 55 años  $\frac{1}{2}$  de duracion.

3.<sup>o</sup> Es interesante comparar las épocas de máximos y mínimos dadas por Wolf con las señaladas por la Rue.

Las épocas de la Rue son las siguientes:

Mínimos.	Máximos.
1833,91	1836,97
1843,72	1847,87
1856,30	1859,67
1867,12	

#### INTÉRVALOS ENTRE LOS MÍNIMOS.

	Años.
1. <sup>o</sup> . . . . .	9,81
2. <sup>o</sup> . . . . .	12,58
3. <sup>o</sup> . . . . .	10,58
MEDIO. . . . .	10,99

#### INTÉRVALOS ENTRE LOS MÁXIMOS.

	Años.
1. <sup>o</sup> . . . . .	10,90
2. <sup>o</sup> . . . . .	11,80
MEDIO. . . . .	11,35

Estos números se acercan bastante al período medio de 11 años  $\frac{1}{3}$  hallado por Wolf, y con tan corto número no era posible esperar más aproximación.

4.º Hay, sin embargo, gran número de irregularidades en el pormenor de las séries, y en una curva dada por la Rue puede seguirse la marcha del fenómeno, (1) uno de cuyos accidentes más notables, quizás el más notable, es una recrudescencia muy sensible que se produce poco tiempo después del verdadero máximo.

5.º Los pasos del máximo al mínimo van acompañados de una circunstancia asaz curiosa. Situando según su longitud y latitud sobre un diagrama bastante unido las manchas, ha mostrado Carrington, que disminuye la latitud á medida que se aproxima al mínimo y que, pasado este, crece bruscamente para volver á disminuir. En el período trascurrido á partir del último mínimo, 1867, se ha verificado esta ley, como resulta de las observaciones de Spörer y de las nuestras. El siguiente cuadro puede servir para estudiar el hecho que acabamos de señalar.

---

(1) *Philosophical Transactions*, Pl. XXXI, 1870.

Tabla de las latitudes mayores y número relativo de las manchas observadas por SPÖRER.

AÑOS.	HEMISFERIO NORTE.		HEMISFERIO SUR.		AMBOS HEMISFERIOS.	
	Número.	Latitud.	Número.	Latitud.	Número.	Latitud.
1854	138	10.26 <sup>0</sup>	90	9.39 <sup>0</sup>	228	9.91 <sup>0</sup>
1855	46	7.2	48	8.35	94	7.79
1856	21	8.33	9	9.0	30	8.53
	3	31.7	32	28.72	35	28.97
1857	9	3.4	»	»	310	23.9
	144	23.56	157	24.36		
1858	236	20.67	526	20.57	762	20.60
1859	432	17.33	537	17.07	969	17.18
1860	712	17.80	695	16.76	1407	17.29
1861	622	14.22	563	14.48	1185	14.34
1862	373	12.74	400	11.98	773	12.34
1863	306	10.79	262	10.43	568	10.62
1864	283	11.07	244	10.16	527	10.66
1865	200	9.26	172	10.16	372	9.67
1866	101	9.36	83	8.40	184	8.93
1867	43	7.96	8	7.44	51	7.88
	13	26.84	52	22.92	65	23.71
1868	178	24.94	278	21.83	456	23.05
1869	428	21.68	479	21.63	907	21.65
1870	738	16.96	765	18.88	1503	17.94
1871	509	17.68	582	14.64	1091	16.06

La variación de las manchas trae á la memoria aquellos oscurecimientos del Sol que, al decir de los historiadores, han ocurrido en varias circunstancias: pero es preciso no partir de ligero. Gran número de estos fenómenos, que tanto han llamado la atención de las gentes, no han sido más que eclipses mal observados y mal descritos. (1) En otros casos el oscu-

(1) Roche, *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 384.

recimiento ha sido efecto de nieblas secas muy persistentes; tal debió ser el que, al decir de Kepler y Gemma-Frisius, ocurrió en 1547. Y no es imposible que alguno de estos fenómenos haya sido debido al paso de una nube de materia cósmica, ó á una cantidad enorme de pequeñas manchas, ó bien á una condensacion prodigiosa de materia absorbente sobre la superficie de la fotosfera; porque sobre esto nada podemos afirmar con certeza.

Así, según Virgilio, que se hizo eco de una tradición que se encuentra en la historia, el Sol se oscureció á la muerte de César.

*Ille etiam extinto miseratus Cæsare Romam  
Quum caput obscura nitidum ferrugine textit  
Impiaque aeternam timuerunt sæcula noctem.*

Y en los años de 553 y 626 de nuestra era, estuvo el Sol oscurecido durante varios meses; pero estos hechos, mal observados desde luego, y narrados sin duda con gran exageracion, han ocurrido en épocas al parecer independientes por completo las unas de las otras, mientras que las variaciones que acabamos de estudiar ofrecen una regularidad casi matemática.

### § III. INVESTIGACIONES SOBRE LA PERIODICIDAD DE LAS MANCHAS.

La existencia de un período tan bien marcado, debía naturalmente mover á los astrónomos á buscar la causa que pudiera producirlo. La sola presencia de las manchas en la region zodiacal hizo sospechar á Galileo una relacion de dependencia entre ellas y la

posicion de los planetas; (1) pero esta sospecha no tiene la justificacion bastante, y nada podemos afirmar sobre el asunto. Las causas determinantes de las manchas pueden ser internas en el cuerpo solar, y depender de circunstancias ocultas por siempre á nuestra vista. Pueden tambien ser externas, pueden depender de la accion de los planetas ó del medio que atraviesa el Sol; pero como esta hipótesis parece la ménos probable, vamos á examinar desde luego la referente á la accion de los planetas.

Segun Wolf, la atraccion es la causa real de la periodicidad que nos ocupa, produciendo en la superficie del globo solar verdaderas mareas que dán origen á las manchas, experimentando éstas los cambios periódicos correspondientes á las variaciones de posicion de los astros que las producen. Hasta se habia creido poder afirmar que el período principal coincidia con la revolucion de Júpiter; pero Carrington ha hecho ver que esta coincidencia puramente accidental en un período, no se reproducia en las siguientes, y por lo tanto, no podia sacarse de ella ninguna consecuencia. (2) Quizas sea más eficaz la accion de Vénus y la de Mercurio, siendo menor su distancia al Sol, y por consiguiente, mayor su accion; mas, por otra parte, su masa es tan pequeña que nos parece incapaz

---

(1) Segunda carta de Velsler.

(2) Nos sorprende, en verdad, ver citado á Carrington como favorable á la coincidencia del período de Júpiter con el de las manchas, cuando precisamente es él quien demostró que esta coincidencia era accidental y propia sólo de la época que se habia examinado.

de producir tales resultados. No es posible decidir la cuestión sin maduro exámen, y á los astrónomos geómetras corresponde estudiarla y resolverla mediante el análisis matemático.

Le Rue y sus doctos colegas Stewart y Lœvy, han estudiado laboriosamente este punto de física solar, y por lo que parece, han llegado á poner en claro que las conjunciones de Vénus y Júpiter tienen cierta influencia sobre el número de las manchas y sobre la latitud, y que esta influencia es ménos notable cuando está Vénus en el plano del Ecuador solar.

Para conocer mejor estas coincidencias y la importancia que puede atribuirseles, ha hecho la Rue otro trabajo en que ha analizado varios grupos de manchas, fijándose especialmente en las que han sido objeto de observaciones más constantes y completas, y sobre todo en aquellas en que las observaciones correspondieron á la parte central de la revolución. Después de haber examinado 794 grupos, ha llegado á formular las conclusiones siguientes:

1.<sup>a</sup> Si consideramos dividido el Sol en dos partes por un meridiano que pase por el centro del disco visible, representado por un diámetro perpendicular al Ecuador, se observa que la magnitud media de las manchas no es igual en las dos mitades del disco. Por lo que parece, no basta la corrección de perspectiva para explicar estas diferencias, y es necesario tener en cuenta otro elemento para que el tamaño de las manchas resulte igual en ámbos lados. No hay certidumbre completa sobre la explicación de este fenómeno: hé aquí la más probable. Las manchas están rodeadas de un resalte más elevado hácia la parte an-

terior que hácia la posterior, y que, al parecer, desaparece durante el trayecto; de esto resulta que las manchas deben parecer más pequeñas en la parte oriental, puesto que en ella encuentra la vista un obstáculo que las oculta parcialmente.

2.<sup>a</sup> Estudiando particularmente el mismo la Rue las manchas observadas en la época en que los planetas inferiores, Vénus y Márte, se hallan á distancias heliocéntricas de la Tierra iguales á 270, 180, 90 y 0 grados, y extendiendo el estudio á las correspondientes á posiciones muy próximas, porque naturalmente el número de las primeras es muy reducido, ha llegado á averiguar que las manchas son más grandes en la parte del Sol opuesta á Vénus y á Mercurio, y más pequeñas en el lado de los dos planetas. Usando los resultados de Carrington ó las fotografías de Kew, se obtiene el mismo resultado.

3.<sup>a</sup> No se ha observado que Júpiter tenga influencia análoga. Cierta que la revolucion de este planeta es de tan larga duracion que no ha podido aún recogerse un número considerable de observaciones, pero tambien es cierto que su influencia debiera notarse fácilmente; porque si se calcula la accion de los planetas como en el caso de las mareas, proporcionalmente á la masa é inversa al cubo de la distancia, la influencia de Júpiter excede con mucho á la de Vénus.

De todos modos, son dignos del mayor aprecio estos trabajos que tienden á ilustrarnos sobre las relaciones existentes entre las manchas y la posicion de los planetas.

Wolf cree percibir cierta influencia de Saturno;

pero, permítasenos decirlo francamente, es muy fácil forjarse ilusiones al agrupar y combinar los números, para que podamos admitir este último resultado.

Ha notado la Rue que las manchas grandes corresponden generalmente á los extremos del mismo diámetro: esta ley se observa con frecuencia tambien en el desarrollo de las grandes protuberancias, y esta coincidencia concuerda con la hipótesis de una accion análoga á la que producen las mareas.

Sea cualquiera el grado de probabilidad de estas explicaciones, no debe ocultársenos que todavía estamos bien léjos de una demostracion rigurosa. Si consideramos con atencion las variaciones periódicas de las manchas, no tardaremos en convencernos que es imposible relacionarlas directamente con ninguna funcion astronómica; porque se manifiestan de un modo súbito é irregular, que forma un contraste demasiado manifiesto con la accion progresiva y continua propia de las perturbaciones de la mecánica celeste. A esta objecion hay una sóla respuesta que oponer, y es, admitir que las manchas sean manifestaciones de la actividad periódica del Sol, la cual á su vez depende de la accion y posicion de los planetas; pues en este caso, la actividad solar puede variar de un modo continuo sin que exista la misma continuidad en sus manifestaciones, tal como vemos sucede en la Tierra con la sucesion periódica de las estaciones, dependiente de la accion solar, que se verifica con notable continuidad, y sin embargo los fenómenos meteorológicos resultantes aparecen irregulares y caprichosos. Por lo demás, pronto veremos que las personas peritas se inclinan cada vez más á pensar que las manchas son

efectos secundarios de causas más importantes y radicales.

Que hay en esto misterio, lo señala con evidencia el hecho, por demás curioso, de coincidir, por manera tan inesperada como exacta, el período de la variación undecimal de las manchas con el de la variación del magnetismo terrestre. Nos limitamos á señalarlo aquí, sin perjuicio de tratar del asunto más extensamente en tiempo oportuno.

Por más que ignoremos mucho respecto á las causas productoras de las variaciones observadas en la actividad solar, podemos á lo ménos sacar de lo ya expuesto, como consecuencia, que está léjos el Sol de haber llegado á un período de calma y tranquilidad; que, por el contrario, es asiento de una actividad inmensa, actividad sujeta á gran número de variaciones periódicas, que deben influir sobre la intensidad de sus radiaciones caloríficas y luminosas, y por lo tanto reaccionar sobre los planetas que reciben de él la luz, el calor y la vida.

---

---

## LIBRO TERCERO.

### De la atmósfera solar.

---

#### INTRODUCCION.

Hemos hablado con frecuencia, en los capítulos anteriores, de una atmósfera gaseosa y trasparente que envuelve al Sol, y cuya existencia resulta necesariamente de las ideas que hemos admitido respecto á la naturaleza de la fotosfera. Vamos á entrar ahora en el estudio de esta atmósfera y á examinar las pruebas directas de su existencia. Estas pruebas se obtendrán: 1.º de la absorcion sobre las radiaciones calorificas luminosas y quimicas; 2.º de los estudios espectroscópicos; 3.º de los fenómenos que se observan durante los eclipses totales. Este tercer libro se consagrará al exámen de los dos primeros puntos, y en el cuarto trataremos de los eclipses.

## CAPÍTULO PRIMERO.

## Absorción de las radiaciones por la atmósfera solar.

## § I. EXÁMEN HISTÓRICO.

Desde el principio de los estudios relativos al Sol, Lucas Valerius, de la Academia de los Lincei, hizo notar que la imagen del Sol es más brillante hacia el centro que hacia el limbo. Este importante hecho fué puesto en duda por Galileo (1), pero es cierto. Basta para convencerse, examinar sólo un momento, la imagen del Sol proyectada por un buen antejo, dentro de una cámara oscura, sobre un plano blanco: se vé inmediatamente que hacia el limbo es ménos luminosa. Algo de esto dijo Scheiner: *Sol circa margines fulvus est, et in medio clarior* (2). Notó que el color rojizo, característico de los bordes, es algo fuliginoso y vá desvaneciéndose hacia el centro sin presentar límite marcado. Bouguer, valiéndose de medios fotométricos, intentó determinar la relacion que existe entre el poder luminoso del centro del disco y el correspondiente á los puntos situados á los tres cuartos del rádio, y halló que era igual á 1:0,729;

---

(1) Galilée, *OEuvres*, t. VI, p. 198.

(2) *Rosa Ursina*, p. 621.

pero más cerca de los bordes la intensidad decrece con mayor rapidez.

Arago dudó de los resultados hallados por Bouguer, pero hoy día no hay quien los ponga en duda, y nosotros los hemos comprobado á presencia de personas muy competentes. Para hacerlo con toda exactitud, trasformábamnos en cámara oscura el domo en que estaba nuestra ecuatorial, y valiéndonos de un poderoso ocular, producíamos una proyeccion solar de un metro de diámetro próximamente; pero como así se obtiene una luz muy intensa que perjudica para las comparaciones fotométricas, colocábamnos un diafragma en el objetivo, y hacíamos reflejarse el rayo emergente sobre la hipotenusa de un prisma triangular rectángulo. La imágen que así obteníamos, correspondía á la mitad del disco solar, y recibiémdola sobre un plano negro, guarnecido de dos correderas que permitian dejar dos aberturas de un centímetro de diámetro en el lugar que se desease correspondiente á la proyeccion, podíamos hacer pasar al fotómetro, colocado detrás del plano negro, dos rayos luminosos tomados cada uno de ellos del punto apetecido.

Cuando ámbos rayos pertenecian á la parte central, se observaba que su intensidad era igual, con corta diferencia, y su color blanco: cuando uno de ellos correspondia al centro y el otro á un punto distante de éste más de un cuarto de rádio, la diferencia era sensible; pero cuando se seguia comparando el primer rayo con los procedentes de puntos cercanos al limbo, entónces no solamente se notaba diferencia de intensidad, sino de color: la luz emitida por esta parte del Sol tiene un tinte rojo ahumado, lo que

constituye un obstáculo serio para las mensuras fotométricas (1). Este fenómeno de la coloración del borde solar es de mucha importancia, porque explica perfectamente el color del horizonte en los eclipses, cuando el Sol lo ilumina solamente con su zona exterior.

Dispuesto el aparato como hemos dicho en el párrafo anterior, se tomó un rayo, ó con más propiedad, un haz de rayos, del contorno, y otro de un punto situado á la distancia de tres cuartos de radio del centro; el haz más brillante, que era este úl-

---

(1) Hay gran número de fotómetros, pero ninguno que sea verdadero instrumento científico. En todos se aprecia mediante la vista la intensidad de la luz, y como sus matices influyen de distinta manera en los ojos de cada observador, de aquí que, cuando se trata de luces de color diferente, los resultados carecen de fijeza. Uno de los métodos más usados consiste en examinar las sombras producidas por un objeto que intercepta el paso de los rayos de las luces que se comparan; se varía la distancia de una de las luces á la pantalla, hasta que las sombras sean igualmente oscuras. Midiendo entónces las distancias de los focos luminosos al objeto cuyas sombras se observan, y elevando al cuadrado los números obtenidos, se hallan otros que representan las intensidades relativas de ambas luces. Hay muchas disposiciones fundadas en el mismo principio. Otro fotómetro, debido á Whilstone, consiste en una bolita de acero pulimentada, que describe un círculo con una velocidad regulable á voluntad; exponiendo esta bola á la acción de las luces que se desea comparar, y poniéndola en movimiento, se

timo, se recibió en un prisma birrefringente, que originó otros dos haces, cada uno de ellos más brillante que el del contorno.

A fin de poder valuar más fácilmente la intensidad relativa de las luces, hicimos uso de un fotómetro de rueda movable, cuyas aberturas eran variables, y que podía girar rápidamente por medio de un engranage. De este modo hemos hallado que las intensidades luminosas de dos puntos situados respectivamente á 1 y 5 minutos del limbo, guardan entre sí la relacion de 1 á 3, y que la de este último punto era los  $\frac{2}{3}$  de la

observan dos vistas luminosas correspondientes á las dos luces y, variando la distancia hasta que tengan igual brillo, se procede como en el caso anterior. Ninguno de estos fotómetros es aplicable directamente á la medicion de la luz solar. El que indica el P. Secchi es análogo en su disposicion al fostoroscopo de Becquerel: consiste en un disco que tiene una abertura, cuya posicion puede variarse á voluntad. Sobre este disco cae un haz de rayos, y cuando está puesto en movimiento, lo deja pasar y lo intercepta durante ciertos tiempos, cuya relacion es fácil de calcular; alejando ó acercando al centro la abertura se hace variar esta relacion. Dicen algunos experimentadores que con esta disposicion consiguen graduar la luz á voluntad. No lo dudamos, pero sí de la exactitud de las comparaciones; no conocemos ninguna série de experiencias lo bastante concluyentes para asegurarnos de que no hay diferencia sensible en la accion fisiológica de la luz obrando de un modo continuo, ó tal como exige este fotómetro. De todas maneras, tratándose de medir la luz solar, hay pocos que escoger. (*N. del T.*)

central; de modo que la del primer punto valía 0,22 de la última. Tomando puntos más cercanos al limbo, la intensidad era menor, pero de muy difícil apreciación, por causa de la tinta rojiza propia de la región. Estos resultados no son iguales á los Bouguer (1), señalan mayores diferencias de intensidad; pero no creemos que sean exagerados, y probablemente si se repitiesen los experimentos, teniendo en cuenta los matices, aún serían mayores las diferencias. Ya es fácil explicar la falta de limpieza que se nota en el contorno del Sol durante las observaciones ordinarias; y más especialmente en los eclipses.

Imposible es dudar de la existencia de una atmósfera cuyo poder absorbente produce esta disminución de luz; lo que si cabe preguntar es, cómo está constituida. ¿Será tal vez como la nuestra, elevada y difusa, produciendo fenómenos de absorción en los rayos que la atraviesan?; ¿ó quizás de poco espesor y gran densidad, y obrando según ley diferente? Para resolver esta duda no bastan experiencias regidas por la acción fisiológica de los rayos luminosos, porque nuestros sentidos no son jueces competentes ni sus apreciaciones comparables; es preciso recurrir á otros medios más exactos y susceptibles de mayor delicadeza. (2)

---

(1) Probablemente por haber usado fotómetros de distinta clase, ó quizás por diferencia de acción de los colores en los ojos de ambos. *(N. del T.)*

(2) Todo el mundo conoce los efectos de la miopía y de la presbicia, y prácticamente la manera de evitarlos en parte. No son tan conocidos los efectos del daltonismo, ó falta de aptitud en el ojo para recibir

Por ahora sólo diremos que el rápido decrecimiento de la luz solar desde el centro á la circunferencia del disco, hace pensar en la existencia de una atmósfera de poca altura, pero muy absorbente.

A no existir esta absorcion, seria el Sol, como es la Luna, uniformemente luminoso; y áun podemos decir que el contorno seria más luminoso que el centro. Sabemos en efecto que la superficie de la fotosfera está sembrada de granulaciones muy marcadas que desaparecen cerca de los bordes, granulaciones que resultan de conos ó mamelones que se destacan sobre fondo oscuro y que, á medida que se alejan del centro, van proyectándose unos sobre otros y acaban por ocultar completamente el reticulo negro; por tanto, el borde deberia parecer más brillante, puesto que se compone de partes completamente luminosas, exentas del enrejado negro que se percibe en el centro. Verdad es que un astrónomo distinguido ha supuesto que el reticulo se eleva sobre los conos, en vez de estar más bajo que ellos; pero esta opinion es una hipótesis que no se basa sobre fundamentos bastante sólidos para que nos paremos á refutarla.

## § II. ABSORCION DE LOS RAYOS QUÍMICOS.

Tambien hay notable diferencia entre las radiaciones químicas procedentes de diversos puntos del

---

la impresion correspondiente á ciertos colores. Esta afeccion es mucho más comun de lo que se cree, y explica la existencia de los colores propios de ciertos pintores, la notable diferencia de gustos en la eleccion de los mismos, etc.

(N. del T).

disco solar, y pudimos convencernos de ello fijando sobre placas daguerreotípicas, varias fases del eclipse solar de 1851. En estas pruebas aparece completamente limpio el borde interior de la lunula, mientras que apenas se define el limbo del Sol. Cuantas observaciones fotográficas se han hecho desde entónces han confirmado este resultado.

Examinando una fotografía cualquiera del Sol, se reconoce, más ó ménos fácilmente, la disminucion del poder fotogénico: disminucion que es lo bastante grande para proscribir el uso de la fotografía de las investigaciones referentes á la magnitud del diámetro; porque en la imágen depende su tamaño del tiempo de exposicion. Con el objeto especial de determinar esta diferencia, hemos tomado vistas fotográficas; y cuando la exposicion duraba el ménos tiempo posible, podia apreciarse la disminucion de la luz en la prueba desde una distancia al centro igual á los dos tercios del rádio; pero cuando duraba bastante, el decrecimiento de la luz apenas era sensible en los mismos bordes. Además, el diámetro crece sensiblemente con el tiempo de exposicion. Hemos tomado dos pruebas arreglando la abertura de la corredera móvil de modo que la luz tuviese intensidades respectivas como 1 y 10, y estas dos pruebas que debieran tener el mismo diámetro, diferian en 2 milímetros; lo que, para un valor total de 144 milímetros, dá la enorme diferencia de 27 segundos. Esta clase de experiencias nos ha hecho saber tambien que las radiaciones químicas, procedentes de puntos situados á 13 segundos del limbo, son más débiles que las correspondientes á las penumbras, puesto que estas se distinguen en

las pruebas obtenidas por el procedimiento más rápido y no se reproducen los bordes.

Es, por lo tanto, muy imperfecta la determinacion que puede hacerse del diámetro del Sol por los procedimientos fotográficos, y no aconsejaban lo mejor aquellos que propusieron abandonar completamente las observaciones ópticas y reducirse á la fotografía. Ya hablaremos tambien de otros inconvenientes con que se tropieza en el procedimiento fotográfico, cuando se usa para estudiar las fases de un eclipse solar.

Si se quiere emplear la fotografía en el estudio del paso de Vénus en 1874, será preciso prevenirse contra estos inconvenientes. Cuando se quiera obtener pruebas con el contorno bien definido, la exposicion ha de durar un tiempo suficiente. Cierto es que entónces, y nosotros lo observamos en España, las manchas casi se disipan y las penumbras desaparecen por completo; pero la imágen de Vénus, que aparecerá como un círculo negro sobre el disco solar, no puede desvanecerse de igual modo: sin embargo, tal vez la difusion del poder quimico presente otras dificultades que no podríamos discutir en este lugar. De todos modos, los observadores han estudiado ya cuantas dificultades parece deben presentarse, y nosotros esperamos con la más viva impaciencia el resultado de estas remotas expediciones.

La desaparicion de las manchas en ciertas pruebas fotográficas concuerda perfectamente con las valuaciones fotométricas de Chacornac, que señalan para el limbo una intensidad luminosa próximamente igual á la que ofrecen las penumbras; pues no se definen

bien nunca los contornos hasta el momento en que las manchas aparecen casi borradas.

Á más del decrecimiento general que experimenta hácia el limbo la accion fotogénica, se observan regiones en que es distinta de unas para otras: sería cosa de sospechar que estas diferencias radican en la preparacion química impresionada, si la repeticion constante en todas las pruebas no mostrase que verdaderamente hay desigualdades en el poder fotogénico. Sin duda es difícil medir estas variaciones, y aun está por hacer la mensura. Más fácil es estudiar lo que se refiere al calor, y vamos á exponer los métodos que hemos usado para realizarlo.

### § III. ABSORCION DE LAS RADIACIONES CALORÍFICAS.

Para determinar la relacion entre las temperaturas de los diversos puntos del Sol, hemos hecho uso del aparato de proyecciones. El plano que sirve para recibir la imágen tenia un agujero en el centro, y detrás de él se habia colocado una pila termoeléctrica, muy sensible. El galvanómetro (1) estaba colocado

---

(1) Las pilas termoeléctricas consisten en un cierto número de barras de dos metales distintos, colocadas alternativamente y unidas mediante soldadura, á la manera que lo están las piezas de un metro articulado. Calentando desigualmente los dos extremos del paquete que forman las barras, se produce una corriente, cuya intensidad varia con la diferencia de temperaturas. El instrumento es, pues, un termómetro diferencial; *se conoce con el nombre de termomultiplicador de Melloni*. Hoy se conocen otras disposiciones, y parece la más perfecta la termopila de Edisson. (N. del T.)

sobre un soporte unido al muro, de modo que se evitasen todas las vibraciones que pudieran producirse por el movimiento del domo. (4) Un diafragma forrado de terciopelo negro estaba colocado detrás de la pila, á fin de impedir que ninguna radiacion extraña perturbase la experiencia; con el mismo objeto se habia cubierto el domo y el piso de paños negros. Una regla graduada en partes del diámetro solar, sobre el diafragma anterior, permitia conocer inmediatamente la posicion del punto observado con relacion al centro ó al contorno.

En la primer experiencia, hecha el 19 de Marzo de 1852, (2) la pila estaba completamente descubierta y la imágen medianamente ampliada. La desvia-

(1) Especie de torre cilíndrica, cubierta, giratoria, dividida en dos partes por una abertura, situada en un plano diametral, que permite dirigir el anteojo en todas direcciones. Generalmente esta torre es de madera; se encuentra colocada en la parte más prominente del observatorio, y tiene correderas que permiten limitar la longitud de la abertura. Es el punto donde se coloca el ecuatorial. *(N. del T.)*

(2) Señalamos la fecha, porque en los *Atti* de la Academia de los N. Lincei hay gran confusion en las fechas de las publicaciones. Ciertas experiencias posteriores á las nuestras, se han publicado con fecha anterior á la que les corresponde. Nadie, ántes que nosotros, se habia ocupado de estas investigaciones. Se ha dicho que Henry, de Washington, se nos habia adelantado; no es cierto, y el mismo Henry nos ha reconocido la prioridad. Henry y Arago habian pensado ocuparse del asunto, pero siguiendo procedimientos completamente distintos á los nuestros. Por lo demás, estos propósitos no se habian publicado cuando nosotros hicimos nuestras observaciones.

cion correspondiente al centro fué de 31 grados, la correspondiente á igual superficie cercana al limbo de 21 grados. Á fin de obtener resultados más exactos, se adaptó á la pila un diafragma, cuya superficie activa equivalia próximamente á un cuadrado cuyo lado fuese el arco de un minuto, y se arregló el instrumento de modo que los ángulos de desviacion de la aguja fuesen proporcionales á la variaciones de temperatura. Además, para hacer que los resultados fuesen comparables, se representó por 100 la radiacion observada en el centro, y así se obtuvo la siguiente tabla:

DISTANCIA DE LA PILA al centro del Sol, expresada en minutos. (1)	NÚMERO que representa la radiacion en cada punto.
+ 14,90	57,39
+ 11,31	88,81
+ 1,77	99,48
— 10,90	81,32
— 14,88	54,34

Estas observaciones se hicieron desde el 19 al 23 de Marzo de 1852. Los signos + y — indican en la tabla anterior las partes del disco situadas sobre y debajo del centro.

En esta série de experiencias no pudimos llegar á un minuto del limbo. Despues, repitiendo las mismas observaciones y usando el gran ecuatorial de Merz, hemos podido avanzar más, y hallamos un decreci-

(1) O más propiamente «Distancia entre el centro del Sol y el punto cuya radiacion se observa, medida con auxilio de la regla.»  
(N. del T.)

miento aun más sensible; porque á un minuto del contorno la intensidad no era [más que 0,52 de la del centro, y avanzando más hácia el limbo hemos visto que bajaba de 0,50. Pero al llegar á este limite, aun empleando los más perfectos medios de observacion, se tropieza con tales dificultades que es imposible superarlas por completo. Hay necesidad, so pena de obtener resultados irregulares en extremo, de dejar cierta abertura á la pila, y entónces no toda la región que actúa, posee igual radiacion. Á más, es imposible estudiar el borde aisladamente, porque los movimientos inevitables de la imágen no consienten se la retenga sobre el mismo punto de la pila. Por estas causas no pudimos obtener la exactitud que habíamos pensado, y cesamos en estas investigaciones; esto no obstante, los resultados obtenidos ofrecen bastante interés.

De los valores consignados en la tabla anterior se deducen las consecuencias siguientes: I. La temperatura, como la luz, disminuye en el disco solar del centro para la circunferencia: esta afirmacion, puesta en duda ántes, quedó sentada por nuestras experiencias. II. La distribucion del calor no es simétrica en ámbos hemisferios. Para explicar este hecho, que claramente manifiestan nuestros números, no pueden hacerse más que tres hipótesis: 1.<sup>a</sup> la diferencia se debe á la accion de la atmósfera terrestre; 2.<sup>a</sup> existe en el Sol, pero accidentalmente; 3.<sup>a</sup> existe de un modo permanente, y en este caso es digna de estudio.

Para examinar la primera, se observaron dos puntos situados simétricamente respecto al Ecuador solar, primero el inferior, despues el superior cuando

llegó á la altura en que habia sido examinado el primero, y de este modo, siendo igual en ámbos casos la accion de la atmósfera terrestre, no debia influenciar las diferencias de los resultados. Los obtenidos fueron iguales á los hallados anteriormente; por lo que la primera hipótesis carece de fundamento.

No fué ménos importante el exámen de la segunda, porque las observaciones continuaron durante varias revoluciones, sin que los resultados primitivos variasen.

Resta la tercera suposicion: «son, pues, permanentes las diferencias, y su causa reside en el Sol.» Pero cuál es? Hay en efecto diferencia de temperatura? No seria más bien efecto de la posicion del Ecuador solar, que se proyectaba entónces por debajo del centro del disco? Para resolver esta cuestion, continuamos las observaciones hasta el mes de Setiembre, época en que se proyecta el Ecuador sobre el centro, y los resultados fueron los siguientes: hasta Agosto se halló siempre mayor la temperatura del hemisferio superior, despues, y especialmente durante el mes de Setiembre, ocurrió generalmente lo contrario. La tabla adjunta contiene los medios de los resultados obtenidos desde el 8 al 15 de Setiembre.

Distancia al centro.	Radiacion en grados. (1)
+ 14,2	10,3
+ 10,5	14,6
centro 0,0	17,8
— 10,5	15,48
— 14,2	10,4

(1) Reducidos estos números á la unidad usada en las observaciones de Marzo, se convierten en 57,83; 76,4; 100; 86,96; 58,47. (N. del T.)

Estos números evidentemente no concuerdan con los del mes de Marzo. Comparando los resultados obtenidos en ambas épocas, se observa: 1.º que la temperatura es más alta en las regiones ecuatoriales; 2.º que el hemisferio Norte parece algo más caliente que el Sur.

Con objeto de estudiar el segundo resultado, que por su singularidad llamaba la atención, guiados por las consideraciones que expondremos, procedimos del modo siguiente.

Sean,  $bd$  (fig.<sup>a</sup> 2.<sup>a</sup> C) (1) el eje mayor de la elipse, según la cual se proyecta el ecuador en el mes de Mayo;  $ab$  y  $cd$  las cuerdas de dos paralelos, tiradas por las extremidades  $b$  y  $d$  de esta elipse. Si en el ecuador hay más temperatura que en las zonas inmediatas, los puntos  $b$  y  $d$  deben tenerla mayor que los  $a$  y  $c$ ; y cuando el eje de la elipse se proyecte según  $ac$ , estos puntos á su vez tendrán una temperatura más elevada que los  $bd$ . Haciendo las observaciones correspondientes cerca del meridiano, se puede en este caso evitar la influencia de la atmósfera terrestre. Así se hicieron en gran número, primero con el ecuatorial de Cauchoix, después con el de Merz. Los resultados constan en las Memorias de nuestro Observatorio, y todos fueron concordantes: los números siguientes son los términos medios.

1.º Para Mayo y Junio, posición del eje de la proyección del Ecuador.

$a$	$b$	$c$	$d$
17º,4	17º,8	16º,6	17º,6

---

(1) Véase página 39.

2.º Hacia el fin de Noviembre, posicion del eje de la proyeccion *cb*.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
20º,2	19º,7	21º,1	20º,0

Se vé claramente que el máximo de temperatura está sobre el ecuador. Además, si se compara con la del paralelo 30º, se verá que la relacion entre ambas temperaturas es de 16 á 15. Mayores diferencias se hallan tomando como términos de comparacion paralelos más cercanos al polo, pero no hacemos uso de ellas á fin de evitar las influencias de altura y refraccion. Nunca hemos observado diferencias de temperatura relacionadas con las diferencias en longitud; no es esto decir que no las haya, quizás se descubran en investigaciones posteriores.

Constantemente hemos encontrado menor temperatura en las manchas que en las regiones inmediatas; así tropezábamos con frecuentes anomalias cada vez que, en la série de nuestras investigaciones respecto á las leyes enunciadas, nos veíamos obligados á observar puntos cercanos á las manchas. Para esta clase de observaciones debe preferirse la época del minimum de manchas.

Hubiera convenido repetir de tiempo en tiempo estas observaciones para ver si las leyes indicadas son permanentes; no hemos podido hacerlo, porque otras atenciones nos han ocupado. Por lo demás, no es esta empresa tan fácil como pudiera creerse; pide mucha paciencia; el estado de la atmósfera dificulta á menudo el trabajo, áun en la mejor estacion; por lo que muchas séries quedan incompletas é inútiles.

Añadamos, en fin, que en los países cálidos durante el estío, que es cuando son más útiles y fáciles, son penosísimas las observaciones.

#### § IV. CONSECUENCIAS QUE RESULTAN DE LAS PRECEDENTES OBSERVACIONES.

De los hechos expuestos se deduce inmediatamente las consecuencias que siguen:

1.<sup>a</sup> Todas las radiaciones ofrecen una considerable absorcion, que aumenta desde el centro del disco á la circunferencia, donde es máxima.

2.<sup>a</sup> Las regiones ecuatoriales tienen superior temperatura que las situadas á más de 30 grados de latitud, y la diferencia es por lo ménos de  $\frac{1}{16}$ .

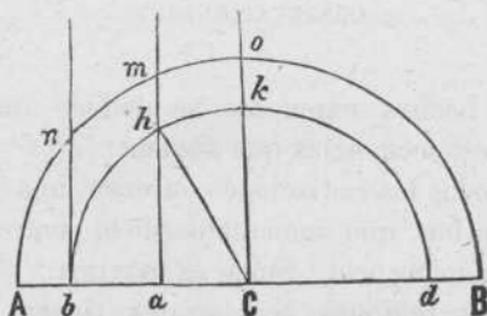
3.<sup>a</sup> La temperatura es algo mayor en el hemisferio norte que en el sur.

4.<sup>a</sup> Así como emiten ménos luz las manchas que las demás regiones, así tambien emiten ménos calor.

La primera conclusion permite demostrar rigurosamente la existencia de la atmósfera solar. Pero para comprender bien nuestro razonamiento, es necesario recordar los principios en que se fundan los astrónomos para analizar los efectos debidos á las atmósferas de los cuerpos celestes.

Sean *bkd* (fig.<sup>a</sup> 40<sup>a</sup>) la superficie del Sol, y *AoB* la superficie exterior de su atmósfera. Los rayos emitidos por el cuerpo solar en direccion á la Tierra, atravesarán un grueso de atmósfera tanto mayor cuanto diste más el punto que los emita de la línea que une los centros del Sol y la Tierra, *okE*. Así, el menor es-

pesor será  $ok$  para el rayo que parta del centro del disco; el mayor,  $bn$  para el rayo que salga del limbo, y tendrá un valor intermedio en los demás puntos, tal

Fig. 10.<sup>a</sup>

como  $hm$ . Si en el Sol hubiese observadores colocados en los puntos  $kh$  y  $B$ , verían la Tierra á distintas alturas zenitales, viéndose desde  $k$  en el zénit, desde  $B$  en el horizonte, y desde  $h$  á una distancia zenital medida por el ángulo  $hCk$ . Durante su trayecto se encuentran los rayos que salen del Sol en las mismas condiciones que los que entran en la atmósfera terrestre; así el máximo de absorción corresponde al limbo, y el mínimo al centro. Fácil será, pues, calcular según la teoría la absorción correspondiente á cada uno de aquellos puntos desde los cuales la Tierra se vería á cierta distancia zenital  $\theta$ , igual á la que el rayo dirigido á la Tierra formaría con la vertical del punto de emisión. Tomando el término medio de los valores consignados en nuestros cuadros, se obtienen los resultados siguientes:

<u>Distancia al centro.</u>	<u>Valor de <math>\theta</math>.</u>	<u>Intensidad luminosa.</u>
0,00	0. 0	100,00
11,10	43.55	85,06
14,92	68.38	55,86

Sustituyendo estos números en las fórmulas, se puede hallar la absorción correspondiente á cada punto del disco solar. Así, según este procedimiento, se encuentra para el punto correspondiente á los  $\frac{3}{4}$  del radio, un valor igual á 0.725. Bouguer habia hallado 0,729. No puede pedirse mayor concordancia.

Así se vé que la emisión del calor solar disminuye notablemente por la acción de su atmósfera; pero, como no es igual ésta en todos los puntos, naturalmente surgen los dos problemas siguientes: 1.º ¿cuánto vale la absorción en la radiación normal, esto es, para  $\theta=0$ ?; 2.º ¿cuánto vale la absorción total, y por lo tanto, cuál sería el valor de la radiación no existiendo la atmósfera? Pueden ambas resolverse haciendo uso de las fórmulas conocidas, porque si bien no son más que aproximadas, el caso del Sol está dentro de los límites adoptados por los astrónomos al establecerlas.

Los resultados están inscritos en el cuadro que sigue. En la columna primera se expresa la posición del punto que ha servido de base al cálculo; en la segunda, el valor del ángulo  $\theta$ , ó sea, la distancia zenital de la Tierra vista desde el Sol; en la tercera, la intensidad de la radiación normal (1) después de ha-

(1) Según la prolongación del radio solar.  
(N. del T).

ber sufrido la absorcion, suponiendo que la radiacion total vale la unidad; en la cuarta, en fin, la fraccion de esta unidad que sale realmente de la atmósfera solar y se esparce en el espacio.

POSICION sobre el rádio.	VALOR del ángulo $\theta$ .	INTENSIDAD DESPUES DE LA ABSORCION.	
		En el centro.	TOTAL.
0,666	43.35	0,2833	0,1019
0,750	48,34	0,2406	0,0794
0,875	68.49	0,5045	0,1711
Termino medio. . .		0,3095	0,1175

Los valores consignados en la última columna proceden de orígenes distintos: el primero y tercero provienen de nuestras observaciones termométricas; el segundo, de los datos de Bouguer. Tanto estos resultados como los inscritos en la tercer columna, debieran ser constantes y no lo son; los correspondientes á  $\theta=43^{\circ} 35'$  y  $\theta=68^{\circ} 49'$  difieren casi en un tercio, y esta diferencia es demasiado grande. Preciso es, pues, inferir que las leyes admitidas para la atmósfera terrestre no son aplicables á la solar. Ya nos habia indicado algo de esto la rapidez con que se producen las variaciones cerca del limbo, haciéndonos pensar que la mayor parte de la absorcion debe verificarse en ciertas capas muy bajas, relativamente dotadas de gran poder de absorcion.

A pesar de que estos números no son más que aproximados (1), nos manifiestan varias verdades patentes: 1.<sup>a</sup> en el centro del disco, ó sea perpendicularmente á la superficie de la fotosfera, detiene la absorcion los  $\frac{2}{3}$ , ó más próximamente los  $\frac{68}{100}$  de la fuerza integra; 2.<sup>a</sup> la accion total de esta envolvente es tan considerable que no deja salir más que 0,12 de toda la radiacion, ó dicho de otra manera; á no gozar la atmósfera del Sol del poder absorbente que tiene, este astro nos pareceria ocho veces más brillante y más cálido.

Esta maravillosa accion de la envolvente solar impide que la dispersion del calor sea muy rápida, y almacenando la fuerza viva de las radiaciones, contribuye á sostener su elevada temperatura. Esta absorcion no produce realmente pérdida alguna, no aniquila las radiaciones que intercepta, sólo impide una dispersion inútil y aún perjudicial para los planetas. En efecto, ¿qué sería de nuestro globo expuesto á una radiacion ocho veces mayor que la hoy existente? La experiencia nos enseña que en los países en que el aire es puro y el cielo despejado, no se resiste impunemente la accion de los rayos solares, aumentando su accion solamente con el reflejo de un espejo plano;

---

(1) Ha demostrado Plana, *Astron. Nachr.* número 813, que un pequeño error en los datos, produce otro de mucha más importancia en los resultados; y además, que el error negativo tiene más influencia que el positivo. Véase tambien Laplace, *Mecanique Celeste*, libro X, cap. XIII.

si los rayos octuplicaran su fuerza, no existiría criatura viviente sobre nuestro planeta.

Es preciso, por tanto, siempre que se trate de valuar la temperatura del Sol, tener en cuenta la absorcion atmosférica; porque si se prescindiese de ella, los resultados que se obtendrian serian ocho veces menores de lo debido.

Por lo demás, nada tiene de extraño esta enorme absorcion, porque la atmósfera terrestre, tan trasparente á nuestro parecer, absorbe la cuarta parte de los rayos que caen segun la vertical.

¿Posee la atmósfera solar un poder absorbente electivo y una termocrósis especial? Esta pregunta nos ha sido hecha directamente por Melloni, y para contestarla hemos intentado un crecido número de experiencias; hemos hecho pasar los rayos solares al través de diversas sustancias, el agua, el vidrio, el cuarzo ahumado, etc., sin obtener ningun resultado seguro. La causa de esto estriba en que á la accion de la atmósfera solar se une la influencia del ocular y el objetivo, con lo que hay suficiente para despojar á los rayos observados de los elementos ya conocidos como más termocróicos. Mas adelante veremos que las radiaciones solares no son homogéneas, ni aun viniendo por la vertical, y que sin duda existe la termocrósis; pero para estudiarla se necesitarian instrumentos mucho más delicados que los nuestros.

La existencia de una verdadera termocrósis se prueba por el interesante experimento de Tyndall sobre calorescencia, ó sea sobre la trasmision exclusiva de los rayos oscuros al través de una disolucion de yodo en el sulfuro de carbono. Ya nos ocuparemos

de esto al tratar de la composición de la atmósfera solar; por ahora creemos suficiente haber probado la existencia de la tal atmósfera y de su enorme poder absorbente.

## CAPÍTULO II.

### Análisis espectral de la luz solar.

#### PRELIMINARES.

Los métodos usados por los astrónomos para estudiar el cielo, dependen forzosamente del estado de la Física. Acabamos de exponer minuciosamente las observaciones hechas pocos años há, con el fin de conocer la naturaleza de la atmósfera solar. No era posible hacerlo de un modo más perfecto, ni adelantar más; pero despues, casi recientemente, adquirió la ciencia un nuevo medio, un instrumento poderoso que permitió profundizar más el conocimiento de la naturaleza íntima de los astros. Este instrumento es el espectróscopo. Con el auxilio de tan admirable aparato, á veces podemos reconocer, aun á distancia, la naturaleza química de los cuerpos y hasta cierto punto su estado físico. Él nos revelará, pues, con más seguridad la naturaleza y manera de actuar de la atmósfera del Sol.

Durante largo tiempo se limitaron los astrónomos á estudiar los movimientos, masas y volúmenes de los astros. El análisis espectral nos permite sobrepajar

los admirables descubrimientos de nuestros predecesores, dándonos medios de conocer la naturaleza de las sustancias de que están compuestos los cuerpos celestes. La luz es el único agente que nos pone en relación con estos apartados mundos, y sólo de ella debemos esperar noticias sobre su constitucion física y su composicion química.

La ciencia del análisis espectral se encuentra en la actualidad bastante difundida. Desde que apareció la primera edicion francesa de este libro, se han publicado varias obras especiales, entre otras el excelente trabajo de Schellen *Die spectral Analyse; las Lectures on spectrum analysis* de Roscöë; los *Spectres lumineux* de Lecoq de Boisbaudran. (1) Sin embargo, no podemos creernos dispensados de dar aquí una sucinta idea de los principios de esta nueva ciencia; así evitaremos al lector el trabajo de recurrir á otras obras. Por de contado, el estudio del espectro solar es la base del análisis espectral y de sus aplicaciones á la física celeste; por lo que se han imaginado para este estudio los más poderosos instrumentos, que no podemos tratar á la ligera en una obra destinada exclusivamente al Sol. El lector que desèe instruirse á fondo en esta ciencia y en sus métodos, puede consultar los libros especiales: aquel que conozca bien el

---

(r) Lecoq de Boisbaudran no trata del espectro solar, porque su libro está dirigido á las investigaciones de la química mineral. Esto, no obstante, hay entre los espectros que describe admirablemente, algunos cuyo conocimiento es muy útil y hasta indispensable para las investigaciones solares.

asunto, puede omitir la lectura de algunos de los párrafos siguientes; sin embargo de que hemos adquirido ciertos datos históricos que no dejarán de interesar hasta á las personas más instruidas.

### § I. PRIMEROS TRABAJOS SOBRE EL ANÁLISIS DE LA LUZ SOLAR POR MEDIO DEL PRISMA.

No parece sino que al ofrecer la naturaleza á nuestras miradas los brillantes colores del arco iris, nos invitaba á estudiar la composición de la luz y su esencia; sin embargo, este misterio no se aclaró de los primeros. Desde bien antiguo se conocia el *vidrio triangular*, nombre con que se designaba al prisma, y su propiedad de colorear los objetos más groseros convirtiéndolos en un monton de piedras preciosas; pero esto constituia más bien un objeto de recreo para el vulgo, que un motivo de estudio digno de la atención del filósofo. Uno de los que estudiaron el asunto con más delicadeza y éxito, fué el P. Grimaldi. Practicando un agujero en la pared de una cámara oscura, haciendo entrar por él un rayo, interceptándolo con un prisma y observando el espectro, pudo examinarlo detenidamente y dar de él una esmerada descripción. Despues de esta interesante experiencia, hizo otra sobre la trasmision de la luz á través de esferas llenas de agua, y propuso una explicacion del arco iris cuya teoría matemática dió Newton (Grimaldi, *Physico-mathesis de lumine*, prop. XXX y sig. p. 235 etc.) Newton repitió el experimento de Grimaldi, y reconoció además que cada uno de los rayos del

espectro puede sufrir la accion de otro prisma sin experimentar alteracion. (1)

El descubrimiento de la imposibilidad de descomponer un rayo que ha sufrido ya la accion de un prisma, es el verdadero descubrimiento de Newton; pero aun hizo más, recompuso la luz blanca, fijó los nombres de los colores y señaló las proporciones en que deben combinarse para producir una luz análoga á la del Sol.

Wollaston fué el primero, despues de Newton, que hizo dar un paso de importancia á este ramo de la óptica. Observando una abertura estrecha, á través del prisma, vió que el espectro no era continuo, que faltaba la luz en ciertos sitios, esto es, que tenia rayas negras en sentido de su latitud. Este descubrimiento pasó desapercibido, y siguió inútil para la ciencia hasta que Fraunhofer, queriendo determinar exactamente el índice de refraccion de los vidrios que empleaba, descubrió de nuevo el fenómeno é imaginó la manera de estudiar y dibujar las rayas, y tambien de fijar sus posiciones por medio de medidas exactas.

El experimento fundamental de Fraunhofer se hace del siguiente modo. Sobre un plano horizontal se coloca un prisma de cristal muy puro, de manera que sus aristas queden verticales; á cierta distancia

---

(1) En la biblioteca de Ginebra hemos descubierto el dibujo original que Newton envió á su amigo Arland al participarle su descubrimiento. Nosotros lo hemos dado á conocer, reproduciendo tambien la célebre frase *Nec variat lux fracta colorem.*

debe haber una abertura rectangular, estrecha, cuyos lados mayores sean paralelos á las aristas de las caras laterales del prisma, y por la cual pasen los rayos solares reflejados por el espejo de un heliostato. (1) Estos rayos atraviesan el prisma, y despues de haber sufrido la desviacion minima, (2) entran en el objetivo de un anteojo, mediante el cual se examinan las diversas partes del espectro. A fin de discernir bien

---

(1) Aparato cuyo objeto es sostener un rayo de sol en una direccion dada durante el tiempo que sea necesario. Consiste, fundamentalmente, en dos espejos, uno de ellos fijo, el otro movido por un mecanismo tal que describa una circunferencia en veinticuatro horas; este segundo espejo recibe el rayo solar y lo refleja sobre el primero, que á su vez lo envia en la direccion deseada. La inclinacion y demás pormenores dependen de causas locales. *(N. del T.)*

(2) Cuando la luz atraviesa un objeto cualquiera, si las superficies por donde entran y salen los rayos no son paralelas, tampoco lo son las direcciones de estos, de manera que entre la que traia el rayo incidente y la seguida por el emergente, ó sea, el que entra y el que sale, se forma un ángulo que se llama propiamente de desviacion, porque marca cuanto se ha desviado la luz de su direccion primitiva. La magnitud de este ángulo depende del que formen las caras de incidencia y emergencia, de la sustancia del objeto atravesado por la luz, del color de esta misma, y hasta de la inclinacion con que el rayo incidente hiere á la superficie. Para una luz y un prisma dados, las tres primeras causas son constantes, y el mayor ó menor valor de la desviacion depende de la cuarta. Hay por lo tanto en cada prisma, para cada rayo de luz, una direccion de incidencia que produce la menor desviacion. La posicion correspondiente á este caso es la que el autor dice debe buscarse al repetir el experimento de Fraunhofer. *(N. del T.)*

las rayas, es necesario enfilar bien la abertura con el antejo, moviendo el tubo del ocular hasta conseguir la posición de vista distinta; después se coloca el prisma interceptando el paso á los rayos, y se observa el espectro con el antejo alargando un poco el tubo, con lo que se consigue distinguir las rayas con claridad. Si el prisma es bueno y el antejo acromático, se verá considerable número de rayas en extremo finas. Fraunhofer designó las rayas principales por medio de letras de la siguiente manera: *A* en el rojo extremo; *B* en el rojo; *C* en el rojo anaranjado; *D* en el amarillo anaranjado; *E* y *b* en el verde; *F* al principio del azul; *G* en el añil, y *H* en el violeta. Estas letras se han conservado por casi todos religiosamente; algunas otras han sido añadidas, y para designar las demás rayas descubiertas, que son muchísimas, se han empleado números. Las rayas no guardan relación ninguna con los límites de los colores. (1)

---

(1) Los colores del espectro no varían bruscamente, como pudiera creerse por las últimas palabras del párrafo; muy al contrario, van degradándose y cambiando de un modo insensible. Los fundamentales son los siete citados por el autor al señalar la posición de algunas rayas, siendo su orden, empezando á contar por el que produce menor ángulo de desviación, el mismo en que han sido enumerados en el texto. La costumbre ha consagrado el número siete en los colores, y verdaderamente es preciso poner algo de buena voluntad para no ver más ó menos, especialmente en los extremos del espectro.

(N. del T.)

§ II. ESPECTRÓSCOPOS, Ó INSTRUMENTOS DESTINADOS  
 Á OBSERVAR EL ESPECTRO SOLAR.

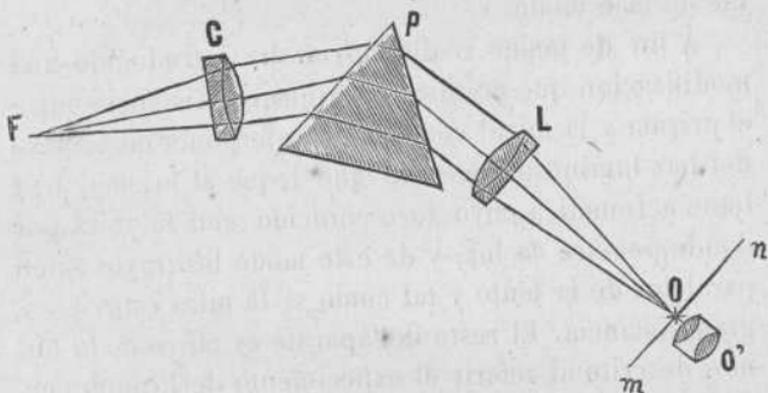
El método de Fraunhofer es aun el preferible en gran número de investigaciones; tiene, sin embargo, el inconveniente de exigir que la mira ó abertura esté situada á gran distancia; pues si esto permite obtener espectros bastante vivos y distinguir bien las rayas cuando se emplea la luz solar, no ocurre lo mismo con todas; cuando se examina la luz de los otros cuerpos celestes, el análisis es completamente imposible de este modo.

Á fin de poder realizarlo, se ha introducido una modificacion que permite disminuir la distancia entre el prisma y la mira: consiste en interponer en el paso del haz luminoso ántes de que toque al prisma, una lente acromática cuyo foco coincida con la mira por donde penetre la luz, y de este modo los rayos salen paralelos de la lente y tal como si la mira estuviese á gran distancia. El resto del aparato es tal como lo hemos descrito al referir el experimento de Fraunhofer. El sistema formado por la mira y la lente, dispuesto como queda dicho, recibe el nombre de *colimador*.

En la fig.<sup>a</sup> 44 puede verse con más claridad la modificacion indicada. *F*, mira de la abertura estrecha y rectangular, por donde penetra luz; *C*, lente acromática; *P*, prisma; *L*, objetivo del antejo; *O*, foco de la lente; *mn*, plano focal; *O'*, ocular del antejo.

La manera de proceder con este aparato así modificado es bien sencilla. Suponiendo que por la mira

del colimador penetra un haz de luz homogénea, caerá sobre la lente y saldrá de ella paralelo al eje óptico, penetrará en el prisma y lo atravesará formando un cierto ángulo de desviación, pero conservando el paralelismo de los rayos entre sí; este nuevo haz paralelo pasará á través del objetivo del anteojo, se reunirá en el foco y se lo observará con el ocular. Si la luz no fuese homogénea, claro es que cada rayo daría su foco sobre un punto distinto del plano focal del ocular (*mn* fig.<sup>a</sup> 11), y el conjunto constituiría un espectro.

Fig. 11.<sup>a</sup>

Debemos á Zantedeschi, de Padua, la idea de emplear el colimador en los espectróscopos ordinarios: Amici, de Módena, fué el primero que lo adaptó á los instrumentos destinados á observar las estrellas.

Modificado de esta manera el instrumento de Fraunhofer, se llama *espectróscopo*, y puede aumentarse su poder dispersivo anadiéndole otro prisma á continuacion del primero. De aquí la division de los

espectróscopos, en simples y compuestos. Todos se componen esencialmente de un colimador, uno ó varios prismas y un anteojo. Quitando los prismas y observando directamente la mira, se ve un rectángulo blanco y muy estrecho. Este rectángulo se verá bajo un ángulo tanto menor cuanto mayor sea la distancia focal del objetivo y de la lente del colimador. Si se colocan los prismas en su puesto y se observa la mira, se verá en su lugar una série de rayas brillantes y oscuras, tanto más finas cuanto más estrecha sea la abertura de la mira. El método más sencillo para ensayar el espectróscopo, consiste en observar la luz de un tubo de Geissler que contenga hidrógeno rarificado, ó la de una lámpara de alcohol salado. En el primer caso se ven muchas rayas finas, entre las cuales hay cuatro en extremo brillantes; en el segundo, dos rayas muy finas y completamente paralelas en el amarillo, y esto mismo se observa si se usa la luz de una bugia en cuya llama haya un poco de sal comun.

Es una de las condiciones esenciales para ver con claridad las rayas del espectro, que el prisma esté siempre en la posición correspondiente á la menor desviación; para esto es preciso que los rayos incidente y emergente formen ángulos iguales con las caras del prisma. Ahora bien, el fenómeno de la dispersión hace que, teniendo la misma incidencia, sean diferentes las emergencias de los rayos distintos; por lo que es preciso variar la posición del prisma, especialmente para los colores que siguen al verde. En rigor esta precaución puede omitirse cuando se usan instrumentos pequeños; pero es indispensable con todos los que poseen gran poder dispersivo.

Nosotros empleamos un aparato que, si bien no tiene más que un prisma, dá un espectro muy claro y bien espaciado, gracias al uso de lentes poderosas. Consiste en un colimador fijo y unido al anteojo por un brazo articulado cuyas dos piezas son iguales, y en el manguito en que se unen estas dos piezas hay una barra que sostiene el prisma. De esta disposición resulta que, haciendo variar el ángulo formado por el colimador y el anteojo, como la barra es siempre bisectriz de este ángulo, el prisma siempre ocupa la posición correspondiente á la menor desviación.

El primero que introdujo varios prismas en un espectróscopo fué Kirchhoff. El aparato de que se sirvió en las investigaciones necesarias para la construcción de las grandes tablas que pronto citaremos, se componía de cuatro prismas colocados sobre una plataforma, á la que se adaptaban potentes anteojos. Este espectróscopo tiene gran poder, pero también el inconveniente de exigir modificaciones constantes en la posición de los prismas para obtener siempre la desviación mínima, y esto es difícil de conseguir. Por mucho tiempo se ha buscado la manera de resolver el problema; todas las soluciones propuestas han sido imperfectas ó complicadas; parece, sin embargo, que actualmente se consigue sin mucha dificultad.

Es necesario establecer una división entre los espectróscopos destinados á la Química y los que deben emplearse en el estudio de los astros. Los primeros pueden ser todo lo pesados que se quiera, pueden sostenerse por fuertes apoyos y estar provistos de largos anteojos; pero los segundos no convienen con tales cualidades, porque en la astronomía es necesario

evitar todo aparato pesado, puesto que ha de adaptarse á los anteojos que sirven para las observaciones ordinarias. Á este fin se ha procurado construir instrumentos ligeros que permitan conservar fácilmente el equilibrio de las máquinas, haciendo uso de muchos prismas y anteojos cortos, lo que trae tambien otras ventajas en astronomía.

El aparato que ha servido á Lockyer para hacer sus admirables descubrimientos, se compone de seis prismas colocados sobre una plataforma, dispuestos de suerte que, sin tocarse, subtienden con sus bases un arco de  $270^\circ$ . El colimador y el anteojo forman entre sí un ángulo próximo á  $90^\circ$ , cuyo vértice cae hácia la bisectriz del arco que deja libre el sistema de los prismas. A más del colimador ya citado, hay otro pequeño que proyecta una escala graduada sobre la cara exterior del prisma situado frente al anteojo, escala que por reflexion se observa al mismo tiempo que el espectro producido por el sistema de prismas, y con su ayuda puede fijarse la posicion de cada raya, aproximadamente; cuando se apetece más exactitud, es preciso recurrir al micrómetro. Con objeto de colocar los prismas de modo que produzcan el menor ángulo de desviacion, existe un mecanismo, y tambien puede variarse la posicion del anteojo y del colimador pequeño. Este sistema es muy imperfecto y, además, no permite el uso de más de seis primas.

Combinando la reflexion con la refraccion, se ha conseguido obtener mucha más dispersion, empleando menor número de prismas. Janssen fué el primero que tuvo esta idea; con dos prismas y medio logró producir el mismo efecto que con cinco, segun el mé-

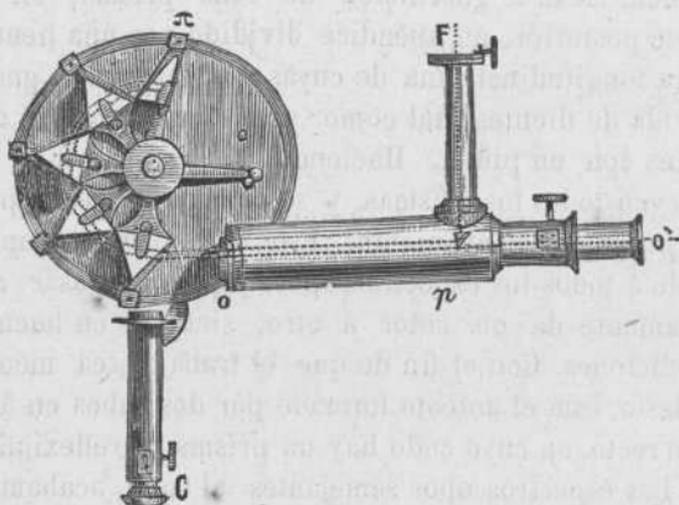
todo ordinario. Littron ha hecho uso de cuatro, que equivalen á nueve. Para obtener este resultado, se corta por la mitad el último prisma en el sentido del plano bisector, y se platea como un espejo la nueva cara. De este modo los rayos se reflejan, y vuelven por el mismo camino que trajeron, dispersándose más á cada refraccion. Secretan ha construido un espectróscopo de reflexion con cuatro prismas y medio, que ofrece algunas particularidades dignas de ser conocidas. La disposicion de los prismas y del colimador de la escala es análoga á la descrita al hablar del aparato citado por Lockyer; el último medio prisma está plateado y nada ofrece de particular; pero el colimador y el anteojo forman una sola pieza: al tubo de este último se une en ángulo recto otro en que está la mira, por donde penetra la luz hasta el anteojo: dentro de éste hay un prisma recto, en cuya hipotenusa se verifica una reflexion, y el haz luminoso cae sobre el objetivo, obteniéndose así el sistema del colimador. Este instrumento presenta algunas ventajas de verdadera importancia, pero es difícil de ajustar, y no se colocan los prismas fácilmente en la posicion del minimum.

La figura 42 dá una idea del espectróscopo de Secretan: *F*, mira del colimador; *p*, prisma de reflexion del mismo; *O*, objetivo del anteojo que sirve de lente al colimador;  $\pi$ , prisma cuya cara posterior está azogada; *O'*, ocular del anteojo; *C*, colimador auxiliar, que sirve para proyectar sobre el primer prisma una escala, los hilos de un micrómetro, etc.

Young de Darthmouth-College, en América, y Grubb, de Dublin, han imaginado otro procedimiento con el fin de que la luz vuelva á atravesar los pris-

mas. Unen á la cara posterior del último prisma otro rectangular, cuidando de que la union se verifique por la cara de la hipotenusa, y que las bases del un prisma queden en planos perpendiculares á los que sostienen

Fig. 12.



las del otro; de esta manera la luz que ha penetrado por el colimador, despues de atravesar todos los prismas, se refleja primero sobre un cateto del prisma adicional, despues sobre el otro, y penetrando nuevamente en el sistema de prismas, siguiendo una trayectoria más alta ó más baja que la descrita en su primer paso. Escusado creemos añadir que el colimador y el antejo están superpuestos.

Nosotros hemos hecho construir para nuestro uso un espectróscopo de reflexion cuya descripcion haremos, y hemos introducido pequeñas modificaciones para equilibrar fácilmente el aparato al adaptario al

anteojo. Los prismas, en número de seis, se unen unos á otros por medio de bisagras colocadas en los vértices interiores, y su posición es la correspondiente á la desviación mínima; pero como ésta varía según el rayo, ha sido preciso dejar á los prismas cierto movimiento. Para poder darles en cada caso la posición debida, tiene la guarnición de cada prisma, en su parte posterior, un apéndice dividido por una hendidura longitudinal, una de cuyas dos partes está guarnecida de dientes, tal como una cremallera, y engrana con un piñón. Haciendo girar este piñón se mueven todos los prismas, y se consigue que ocupen las posiciones convenientes. Este mecanismo es aplicable á todos los espectróscopos, y permite pasar rápidamente de un color á otro, siempre en buenas condiciones. Con el fin de que el trabajo sea ménos molesto, está el anteojo formado por dos tubos en ángulo recto, en cuyo codo hay un prisma de reflexión.

Los espectróscopos semejantes al que acabamos de describir tienen gran poder dispersivo, y son útiles en ciertos estudios; pero en la generalidad de los casos basta con instrumentos ménos poderosos. Cuando hayan de adaptarse á los anteojos, deben ser más ligeros y más cómodos.

El que usamos nosotros de ordinario, es de refracción solamente, y el número de prismas variable. El colimador se une al anteojo ecuatorial de tal modo, que puede girar sobre sí mismo, arrastrando en su movimiento el plano de los prismas y el anteojo del espectróscopo. En el tubo del colimador, por encima de la mira, hay otra que permite ver á la primera y á la imagen del Sol que se proyecta sobre ella. Esta mo-

dificacion es de importancia y la recomendamos, porque facilita en extremo el trabajo, especialmente cuando se examina el limbo solar. El ocular del anteojo tambien es lateral en este espectróscopo. El poder refringente del aparato es grande, tanto que, para el amarillo, el rayo incidente y el emergente son paralelos. Sin embargo, si se desease mayor dispersion, no hay más que interponer un prisma de vision directa entre el objetivo del anteojo y los prismas, y otro entre éstos y la lente del colimador.

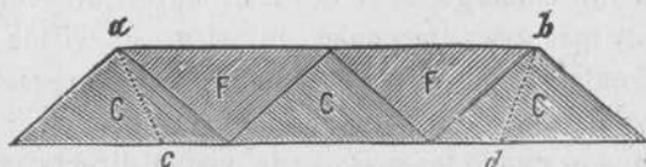
Hemos citado los prismas de vision directa; aparatos utilísimos en el análisis espectral, cuya invencion debemos al Sr. Amici, de Módena, y cuyo perfeccionamiento realizó inmediatamente Hofmann, de Paris. Consisten esencialmente en tres prismas de crown próximamente rectangulares, unidos á otros dos de flint, tambien rectangulares, tal como se ve en la figura 13. Los prismas acromáticos tienen la propiedad de desviar los rayos luminosos sin dispersarlos; los de vision directa producen el efecto contrario, esto es, dispersan sin producir desviacion. Usando estos aparatos, que son excelentes, se consigue producir una dispersion doble de la que producen los instrumentos ordinarios. Los espectróscopos que construye Hofmann con un sólo prisma son excelentes; los de Fauber y los de Merz, en que se combinan dos prismas, producen una dispersion extraordinaria.

La forma general de estos instrumentos es muy semejante á la de un anteojo terrestre. En la parte anterior está el colimador; en la media los prismas, y en la posterior el anteojo.

Rutherford, de New-York, ha propuesto un nuevo

sistema de prismas que no es de vision directa, pero que produce la desviacion correspondiente á tres prismas ordinarios. La parte limitada por las líneas *abcd*, (fig.<sup>a</sup> 13); representa esta disposicion: *FF* son dos

Fig. 13.



prismas de flint-glass (1) muy dispersivos, y los otros son prismas ordinarios. Los rayos emergentes salen con poca desviacion y muy dispersos, de modo que con muy pocos prismas de esta clase se consigue una dispersion muy considerable (2). Hofmann construye en la actualidad un sistema de gran poder dispersivo usando sólo tres prismas.

La dispersion no puede, sin embargo, aumentarse indefinidamente, porque la intensidad de la luz disminuye con ella, especialmente en los colores más refrangibles. El espesor del cristal llega pronto á ser considerable, sobre todo con los prismas de vision directa. Bajo este punto de vista cada sistema tiene sus inconvenientes particulares: en los espectróscopos ordinarios hay muchas reflexiones sobre las caras,

(1) Cristal con base de plomo.

(2) Para más pormenores puede verse *Monthly Notices of Astronomical Society*. Lóndres.

bajo ángulos considerables, y la luz trasmitada se debilita notablemente de este modo; en los prismas de vision directa hay ménos reflexiones, pero en cambio el espesor de cristal es mayor, y la pérdida de luz resulta equivalente. No nos es posible decidir cuál sistema es mejor, porque probablemente en éste, como en otros muchos casos, cada instrumento sirve para su cosa. A medida que vayan presentándose las ocasiones, indicaremos las ventajas de cada combinacion.

Combinando los prismas convenientemente, puede hacerse un excelente helióscopo. Colocando un prisma de vision directa en el paso de un rayo de Sol y á unos 20 ó 25 centímetros de la mira de un espectróscopo ordinario, se produce sobre ella un espectro confuso; si estrechando la abertura de la mira se examina el espectro, se verá una imágen del Sol con los colores del espectro, y en ella, con toda limpieza, se destacarán los bordes, manchas y fáculas, como si se observase con un vidrio de color. Si se pone el borde del disco solar cerca de la raya *C* del hidrógeno, ó de cualquiera otra de las rayas de la cromoesfera, se las verá brillantes en el exterior del disco, en toda la parte que corresponde á las protuberancias ó á la cromoesfera. Hasta puede medirse la altura de las primeras, valuando la distancia entre el limbo y el punto á que llega la raya invertida. La teoria del fenómeno es bien sencilla. El espectro confuso que se forma sobre la mira, está compuesto de varios espectros superpuestos, originados por distintos puntos del disco solar. El espectróscopo que recibe estos espectros, los separa y dispone segun el punto de donde emanan. De aqui la formacion de la imágen del Sol y sus

detalles en el campo del anteojo, tanto más perfecta, cuanto más estrecha sea la abertura.

Segun hemos tenido ocasion de ver, la imágen del Sol, próximo al horizonte, se ve de esta manera mucho ménos confusa y agitada que cuando se usan los cristales de color. Como este medio permite distinguir el disco de las envolventes que lo rodean, puede servir para determinar el punto preciso en que se verifican las erupciones, y tambien podrá utilizarse en el estudio de los eclipses y en el paso de los planetas, para observar los astros antes de proyectarse sobre el disco solar.

### § III. DESCRIPCION DEL ESPECTRO SOLAR.

Fraunhofer y Van der Willingen fueron los primeros que dieron una representacion del espectro situando algunas rayas, y ya hemos indicado anteriormente las letras con que las designaron. Pero estos trabajos no fueron más que un preludio de los que habian de hacerse en esta nueva y fecundisima ciencia. El primero extenso y completo lo debemos á Kirchhoff, cuyo espectro, que ha llegado á ser clásico, contiene no sólo las rayas solares, sino tambien otras muchas correspondientes á los cuerpos simples. Este trabajo, publicado primero en Berlin y despues en Lóndres, ha sido reproducido por los *Annales de Chimie et de Physique*, y contiene la parte más interesante del espectro, desde la letra *A* á la *G*, de Fraunhofer. El grupo más allá de la *A* cuenta 380 milímetros, la letra *G* corresponde á 2900; la longitud total es, pues, 2<sup>m</sup>,520. Thalen lo continuó hasta

la raya *H*, de manera que el espectro comprendido entre estos límites, abraza una extensión de 3<sup>m</sup>,370. Este trabajo monumental ha sido hecho con el excelente espectróscopo de Steinheil que hemos descrito en el § II; pero no en todas las determinaciones se usó el mismo número de prismas, habiendo sido preciso emplear menor número en los extremos que en el centro, por la falta de luz. El antejo espectral tenía un mecanismo provisto de un punzon grabador, mediante el cual pudieron marcarse las posiciones de las rayas sobre una plancha. De este modo ha sido posible estudiar cada raya de por sí, en todos sus detalles, clasificándolas según su grueso é intensidad; porque no solamente no tienen todas el mismo ancho, sino que también se nota, cuando se las examina atentamente, que no son igualmente oscuras; y además, aunque casi todas aparecen limpias, hay algunas difusas lateralmente. Se notan también ciertas rayas luminosas más brillantes: en el grupo del magnésio, en el punto correspondiente á una longitud de onda igual á 5165,5, hay un ejemplo manifiesto. En algunos lugares, especialmente en el violeta, se observan bandas brillantes muy estrechas. Con los instrumentos ordinarios se ven algunas bandas esfumadas, desvanecidas, y algunas realmente son como aparecen; pero otras muchas, empleando un espectróscopo de bastante poder dispersivo, se descomponen en gran número de rayas completamente distintas. En las rayas del grupo *B* se encuentra un ejemplo del primer caso.

Hofmann auxilió á Kirchhoff durante su trabajo, porque la vista de este no le permitió ejecutarlo todo

por sí. En el cuadro descriptivo de su espectro, del que pronto daremos un extracto, se marca el grueso de las rayas con las letras *a, b, c, d, e, f, g*, y el grado de oscuridad, con los números 1, 2, 3, 4, 5, 6. Pero es tanta la variedad de las rayas respecto al grueso, matiz y difusión, que nunca se conseguirá hacer una figura geométrica que represente el espectro más que de un modo grosero. El medio mejor que puede emplearse es reproducirlo fotográficamente, como lo hizo Rutherford, de New-York, y recientemente Draper.

Desgraciadamente el procedimiento no es aplicable más que á la parte del espectro que contiene radiaciones químicas, ó sea, desde F hasta los rayos ultra-violeta. El rojo, el amarillo y parte del verde, son incapaces de producir impresiones suficientes; sin embargo, esperamos que la ciencia vencerá esta dificultad: se nos asegura que ya lo ha conseguido Vogel, mezclando el colodion con sustancias rojas, tales como la anilina. (1) Mientras se realiza nuestra

---

(1) Creemos que el procedimiento fotográfico tiene por hoy algunos inconvenientes más, y como nuestra opinion no se funda en experimentos *ad hoc*, el lector podrá juzgar fácilmente. La absorcion en cada sustancia no es igual para todas las radiaciones: una prueba palpable de esto se obtiene comparando la posicion del máximum de temperatura en varios espectros obtenidos con prismas diversos. Haciendo la comparacion, puede verse que el máximum varia desde el infrarojo al anaranjado. Prescindiendo de otros muchos ejemplos análogos, y no contando aun para nada con la accion de los medios coloreados, basta con lo dicho para creer que con las radiaciones químicas ocurra algo de lo que vemos

esperanza, aprovechémonos de los trabajos hechos y de las descripciones que nos han legado aquellos incansables observadores; con esto tenemos bastante para la parte más práctica é interesante de la ciencia.

Los trabajos de Kirchoff, no obstante su mérito, tienen dos defectos notables. Desde luego se nota que su escala no debe ser constante en toda su extension, porque es muy difícil creer que sus prismas hayan tenido siempre la posición correspondiente al *minimum*. Además, siendo arbitraria la escala, es también difícil encontrar la relación y aplicarla á otros prismas de naturaleza diferente. Con el fin de perfeccionar este notable trabajo, han procurado los físicos modificarlo, adaptándole una escala invariable, basada sobre la amplitud de la onda que corresponde á cada

---

pasa con las caloríficas, esto es, que la sustancia del prisma influya en su distribución; y como estas radiaciones son las que han de fijar el espectro, hay motivos para sospechar que, aun en el caso más favorable, ha de estar influenciado el grueso de la raya y su intensidad por la sustancia del espectróscopo. Además, es seguro que en una prueba se manifiestan rayas propias de la radiación química, independientes en un todo de las correspondientes á las luminosas. Creemos, por lo tanto, que si dos espectros luminosos producidos por prismas de naturaleza distinta tienen algunas diferencias apreciables, como realmente ocurre, mucho mayores las han de tener cuando se comparan con la imagen correspondiente á las radiaciones químicas. Y aun prescindiendo del prisma y del refractor, como pudiera hacerse, siempre queda la falta de coincidencia de las absorciones en la atmósfera solar.

(N. del T.)

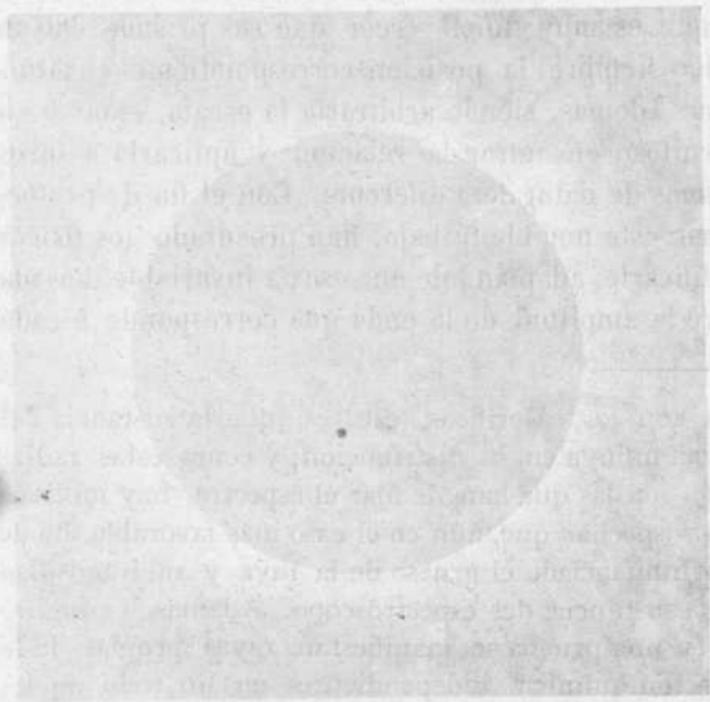
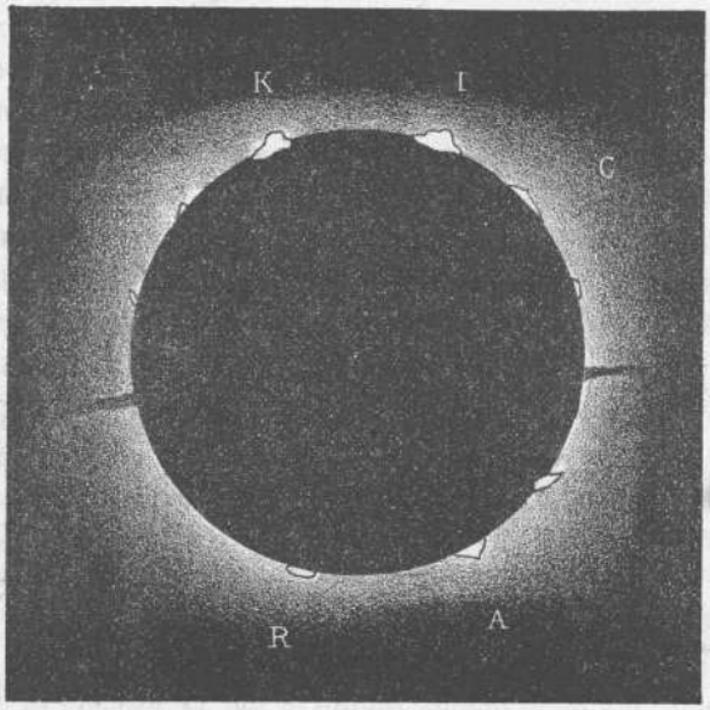


Fig 21<sup>a</sup>



rayo luminoso. Un espectro trazado de este modo seria absolutamente independiente de la naturaleza de los prismas y de su forma de combinacion, y tendria ademas la importantisima ventaja de ser idéntico en un todo al que se obtiene por las interferencias y con los reticulos.

Fraunhofer dió á conocer el medio de obtener espectros muy bellos, sin necesidad de recurrir á los prismas, utilizando el fenómeno de la difraccion. Cuando se hace pasar la luz al través de una estrecha hendidura, se obtienen unas bandas brillantes; este descubrimiento se debe á Grimaldi: si en vez de una hendidura se disponen varias paralelas, aumenta la amplitud y la limpieza de las bandas. Fraunhofer obtuvo estas hendiduras, primeramente, trazando con un diamante sobre un cristal dorado una série de rayas paralelas muy próximas, y llamó á esta disposicion *reticulo*; despues reconoció que la capa de oro era inútil, y trazó las rayas directamente sobre el cristal. Para obtener los espectros por difraccion, se apunta un buen antejo á una mira lejana ó á su imagen formada en el foco de un colimador, despues se interpone en el paso del haz luminoso el cristal rayado; tambien puede recibirse en el antejo la luz reflejada por la superficie rayada, que en este caso puede ser metálica. Tanto de un modo como de otro, se vé, en lugar de las franjas de difraccion, una série de espectros en que pueden distinguirse las rayas, como si proviniesen de un prisma.

Entre los espectros de refraccion y de difraccion hay una diferencia; porque los primeros son contrahechos, tienen el rojo y los rayos menos refranjibles condensa-

dos, el violeta y las radiaciones análogas dilatadas desmedidamente. Los retículos, tanto por reflexión como por trasmisión, producen espectros cuyas desviaciones son exactamente proporcionales á las longitudes de las ondas, y por lo tanto, aparecen más extensos en el rojo y más condensados en el violeta que los formados por refracción al través de los prismas.

Estos espectros de difracción, aunque conocidos por los físicos, no habían sido empleados jamás por los astrónomos, á causa de la dificultad que había para encontrar retículos de buena construcción y tamaño suficiente. Esta dificultad acaba de desaparecer: Rutherford, hombre de ciencia, distinguido y hábil artista, ha conseguido grabar, no solo sobre cristal, sino sobre el metal de los espejos, retículos que contienen cuatro mil líneas rigurosamente paralelas, en una superficie de una pulgada cuadrada próximamente. A la generosidad de Rutherford debemos dos de estas placas, cuya estructura es intachable, una de vidrio, la otra de metal.

Los rayos reflejados por los retículos metálicos producen magníficos espectros. El de primer orden (1) es muy vivo, y equivale, cuando ménos, al obtenido con dos buenos prismas de flint; el de segundo, es doble, y el de tercero triple, equivalente, por tanto, al que se forma con seis prismas. Por desgracia no es fácil pasar del segundo orden, porque en los más avanzados se superponen parcialmente los espectros

---

(1) Reflexion.

(N. del T).

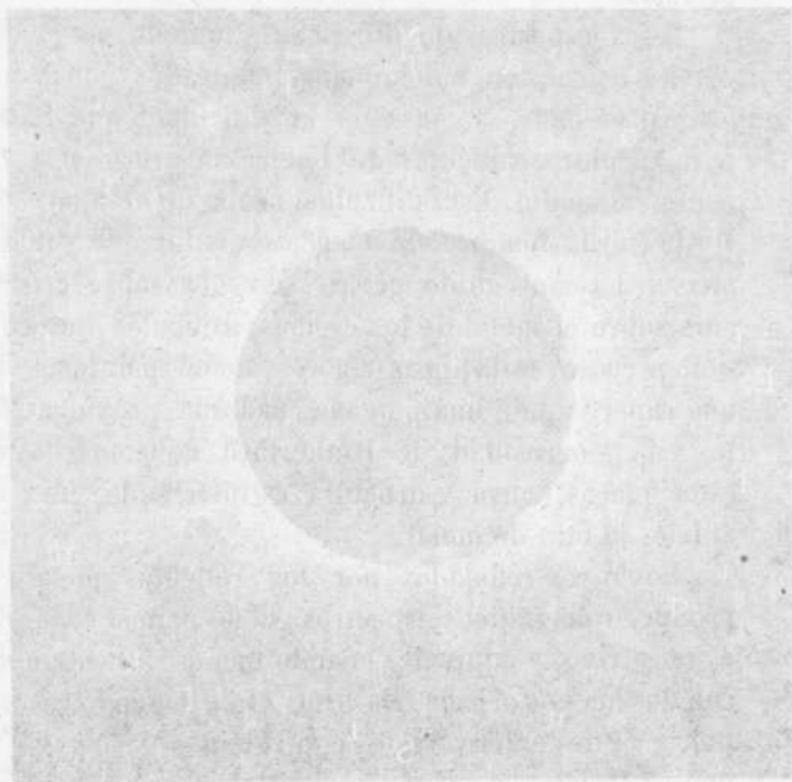
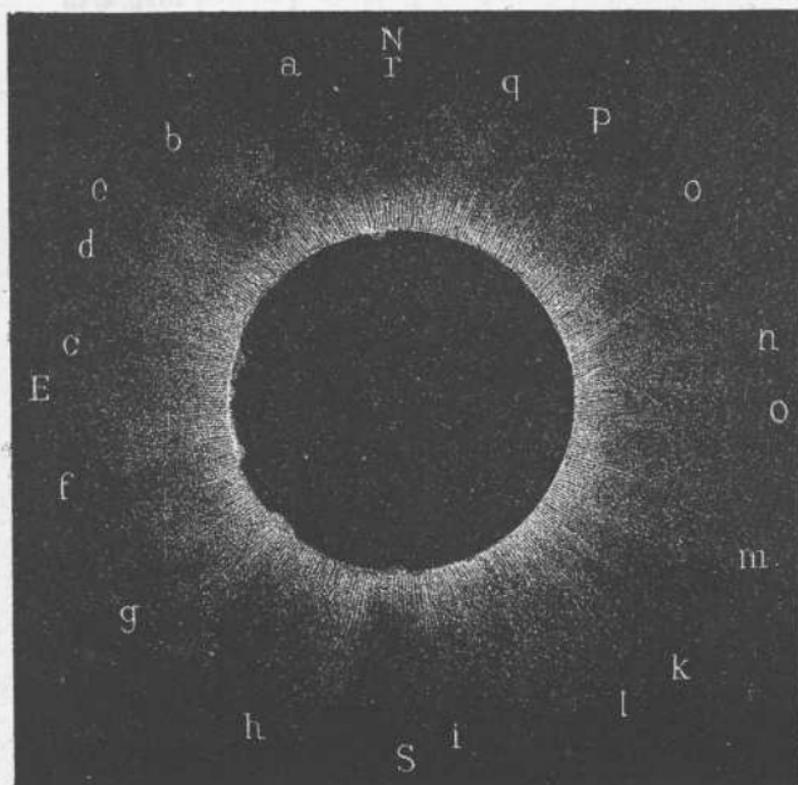


Fig 22 <sup>a</sup>



y los colores, y las rayas se confunden: el violeta de primer orden y el rojo de segundo se mezclan, y para separarlos es necesario usar vidrios de color. En los espectros de orden superior, se produce el curioso fenómeno de ver dentro de un campo pequeño dos rayas de posición muy distinta, tales como la *C* y la *F*; claro es que estas rayas pertenecen siempre á dos espectros superpuestos, y es posible que sea útil esta particularidad en algun caso.

Aparte los inconvenientes que resultan de la superposición, son excelentes estos espectros para el estudio de las protuberancias solares, y tambien muy ventajosos siempre que se haga uso del procedimiento fotográfico, porque en la reflexión no pierden los rayos químicos como al través de los prismas.

Hemos hecho uso de este procedimiento en las observaciones solares, y hemos podido reconocer sus ventajas; pero el inconveniente que ofrece la oxidación del espejo, impedirá siempre su empleo como método habitual. Por esto, no obstante el peso de los prismas y la absorción que producen, seguirán usándose con preferencia los retículos metálicos. Por lo que hace á los de cristal, tienen demasiado poco poder reflector.

Hay siempre gran ventaja en servirse de un espectro construido según las longitudes de las ondas, tal como el llamado *espectro normal*. Angström fué el primero que ejecutó uno con ciertas condiciones. Para conseguirlo, comenzó por reconocer las rayas de Kirchhoff, determinando la longitud de las ondas correspondientes, y después fué formando unas tablas por orden de longitudes. El trabajo de Angström

terminaba en la raya *H*, pero los de Cornu se han prolongado hasta las radiaciones químicas (1).

En algunas reproducciones de estos interesantes trabajos, y nosotros hemos hecho una, se indican, según el método de Kirchhoff, las rayas que corresponden á cada sustancia, uniendo las múltiples por un trazo horizontal. También se señalan las rayas debidas á la absorción atmosférica, y las propias del aire.

Tiene este espectro, cuando se compara con los de refracción, el inconveniente de que las escalas no son concordantes; porque los intervalos en el rojo son mayores, y menores en el violeta. Pero en la práctica desaparece esta dificultad; pues no viéndose en el campo de los instrumentos poderosos más que un corto número de rayas, basta orientarse respecto á una, para darse cuenta de las distancias relativas.

Con objeto de facilitar al lector la comparación entre el espectro de Kirchhoff y el normal, insertamos el siguiente cuadro, donde al lado de los números de las designaciones de Kirchhoff, ponemos la longitud de las ondas según las han dado á conocer los muy doctos Van der Willigen y Angström. Hemos conservado, siguiendo á Kirchhoff, los nombres de las sustancias á que corresponden ciertas rayas, y las indicaciones del grueso é intensidad de éstas. Para obtener mayores datos, pueden verse los trabajos de Van der Willigen (Museo Teyler, vol. I, fasc. II,

---

(1) Ultravioleta.

(*N. del T.*)

pág. 59), y el espectro normal de Angström (*Actas de la Sociedad de Upsal*, 3.<sup>a</sup> série, t. IV).

Para la inteligencia de la última columna de nuestro cuadro, remitimos al lector al siguiente capítulo, en que trataremos de la teoría de los espectros luminosos y de la coincidencia de las rayas brillantes, características de ciertos cuerpos, con las rayas oscuras del espectro solar.

Cuadro de las longitudes de las ondas correspondientes á las rayas principales del espectro solar, segun las mensuras de VAN DER WIL-  
LLINGEN, comparadas con las de ANGSTRÖM y KIRCHHOFF.

Letras de Fraunhofer.	Números y letras de Van der Willigen.	Longitud de la onda, en millonésimas de milímetro		Números del dibujo de Kirchhoff	Intensidad y grueso segun K.	Sustancias correspondientes.	
		segun V. der W.	segun Angström.				
A	1 $\alpha$	763,36	»	»	»	Difusa por los bordes.	
	1 $\beta$	760,92	761,2	404,1	6		
	2 $\alpha$	728,13	»	»	»		
	2 $\beta$	724,38	»	»	»		
	3 $\alpha$	718,97	»	»	»		
B	3 $\beta$	718,86	»	»	»	Dif <sup>a</sup> por los bordes	
	4 $\alpha$	687,48	687,5	592,6	6 c		
C	4 $\beta$	687,12	»	»	»	Hidrógeno.	
	5	656,56	656,8	694,1	6 c		
	6	651,94	»	711,5	»		
	7	649,77	»	719,5	»		
	8 $\alpha$	628,11	»	»	»		
	8 $\beta$	628,00	»	»	»		
	...	625,90	»	»	»		Atmosférica. Muy fuerte. C <sup>o</sup> de Brewster.
	9	619,45	619,2	849,7	3 c		Hierro.
D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	10	616,49	616,3	863,9	5 b	Calcio.	
	...	»	614,3	874,3	4 b	Bario.	
	11	613,96	613,9	877,0	4 c	Hierro.	
	12	612,52	612,4	884,9	4 b	Calcio, cobalto.	
	13	610,52	610,5	894,9	2 c	Calcio.	
	14 $\alpha$	589,86	590,0	1002,8	6 b	Sodio.	
	14 $\gamma$	589,26	589,4	1006,8	6 b		
	15	562,70	»	1200,4	»	Hierro.	
	16	561,80	561,80	1207,3	5 g		
	17	553,19	»	1280,0?	»		
18	547,86	»	1324,0?	»			
E	19	545,83	546,0	1343,5	6 c	Hierro.	
	20	537,38	537,4	1421,6?	5 b	Hierro.	
	21	533,05	533,2	1463,0	5 c	Hierro. Doble.	
	22 $\alpha$	527,24	527,4	1522,7	6 c	Hierro. Calcio.	
	22 $\beta$	527,04	527,3	1523,7	6 c	Hierro.	
	23	523,50	523,7	1569,6	5 c	Hierro.	
	24	522,96	»	1577,5	»	Magnesio.	
25	518,63	518,8	1634,1	6 g			

Cuadro de las longitudes de las ondas correspondientes á las rayas principales del espectro solar, segun las mensuras de VAN DER WIL-  
LLINGEN, comparadas con las de ANGSTRÖM y KIRCHHOFF.

Letras de Fraunhofer.	Números y letras de Van der Willingen.	Longitud de la onda, en millonésimas de milímetro		Números del dibujo de Kirchhoff.	Intensidad y grueso segun K.	Sustancias correspondientes.	
		segun V. der W.	segun Angström.				
F	b	26	517,51	517,7	1648,8	6 f	Magnesio.
		27 $\alpha$	517,14	517,3	1653,7	6 b	Hierro. Niquel. Difusa en los bordes.
		27 $\beta$	517,07	517,2	1655,6	6 c	Hierro. Magnesio. Dif. en los bordes.
		27 $\gamma$	516,96	»	»	»	
		28	510,18	»	1750,4?	»	
		29	508,27	»	1777,4?	»	
		30	504,37	»	1834 ?	»	
		31	496,01	496,1	1961,0	4	Hierro.
		32	489,38	489,5	2041,4	6 b	Hierro. Doble.
		33	487,46	487,4	2066,6	5 c	Hierro. Doble.
		34	486,39	486,5	2080,0	6 g	Hidrógeno.
		35	467,00	»	2309	»	
		36 $\alpha$	453,75	»	2489,4?	»	
		36 $\beta$	453,39	»	»	»	
		36 $\gamma$	453,06	»	»	»	
		37	438,58	438,6	2721,6	6	Hierro. Muy gruesa.
		38	434,28	434,3	2798,6	6	Hidrógeno. Difusa, gruesa.
	G	39	432,74	432,8	2821,9	6	Hierro.
		40	431,12	431,0	2854,4	6	Hierro.
41		427,52	427,5	»	»	Hierro.	
42		426,27	426,2	»	»	Hierro.	
43		422,87	422,9	»	»	Calcio. Doble.	
44		414,55	414,7	»	»	Doble.	
45		413,51	»	»	»		
46		410,38	410,4	»	»	Hidrógeno. La 4. <sup>a</sup> en las estrellas del primer tipo.	
47		407,96	407,5	»	»	Hierro. Fuerte.	
48		406,75	406,6	»	»	Hierro. Fuerte.	
H <sub>1</sub> H <sub>2</sub>	49	404,79	404,8	»	»	Hierro. Fuerte.	
	50	403,61	»	»	»		
	H <sub>1</sub>	51 $\alpha$	397,13	397,2	»	»	Calcio.
	H <sub>2</sub>	56 $\beta$	393,76	393,6	»	»	Calcio.

## CAPÍTULO III.

## Teoría general de los espectros luminosos.

## § I. COMPARACION DE LA LUZ SOLAR CON OTRAS LUCES.

El único medio que hay de llegar á conocer la naturaleza y causa de las rayas oscuras del espectro solar, consiste en estudiar, bajo este punto de vista, otras luces tanto naturales como artificiales. No ofrece gran dificultad este estudio, y ya lo habian emprendido algunos. Fraunhofer examinó el espectro de la llama del alcohol salado, y reconoció que se compone sólo de dos rayas amarillas situadas en el grupo *D* del espectro solar; John Herschel, Fox Talbot y Brewster, estudiaron diferentes llamas, y hallaron que sus espectros eran discontinuos, formados por varias rayas separadas é independientes, pero iguales siempre para la misma sustancia. Así, Brewster afirmó que podia reconocerse la naturaleza de un cuerpo por la inspeccion del espectro que produce. Tambien nosotros, así como Wheatstone, Masson y Brewster, hemos estudiado el espectro de la luz eléctrica, pero todos estos trabajos estaban esparcidos y carecian de unidad. Era preciso, pues, coordinarlos y comparar cada espectro con el de la luz solar, y este trabajo fué realizado, primero por Bunsen y Kirchhoff, despues por Hofmann y Thalén. Para hacer la comparacion no se necesita más instrumento que el espectróscopo de

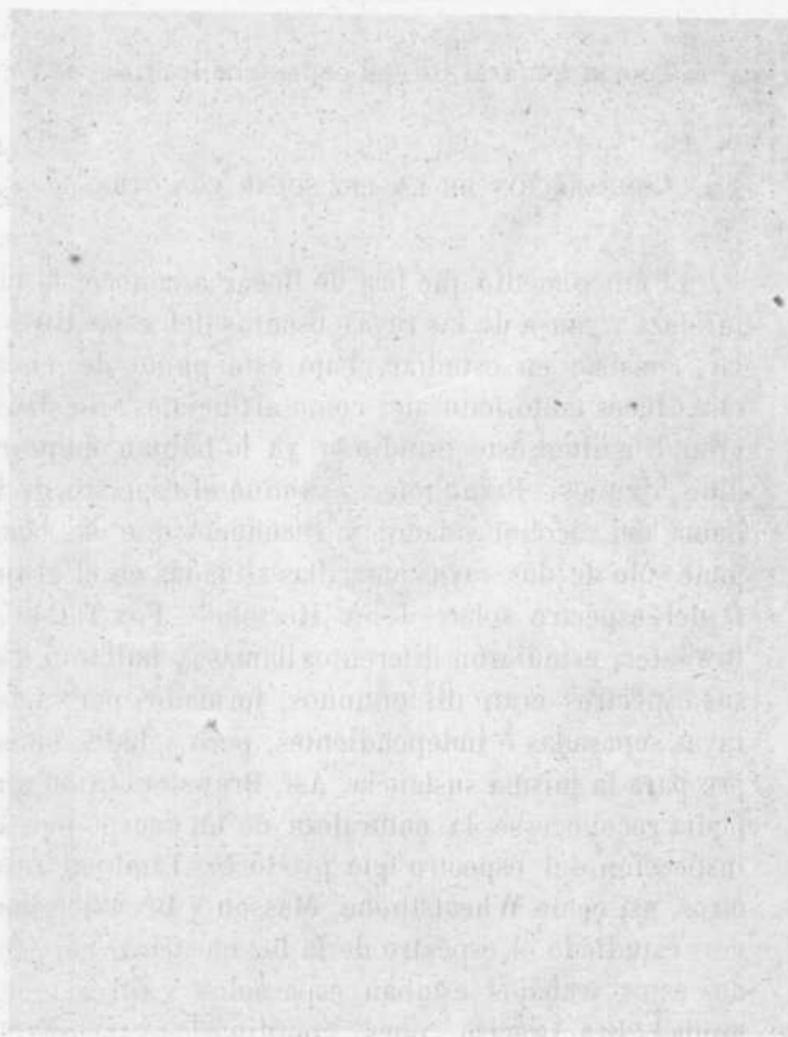
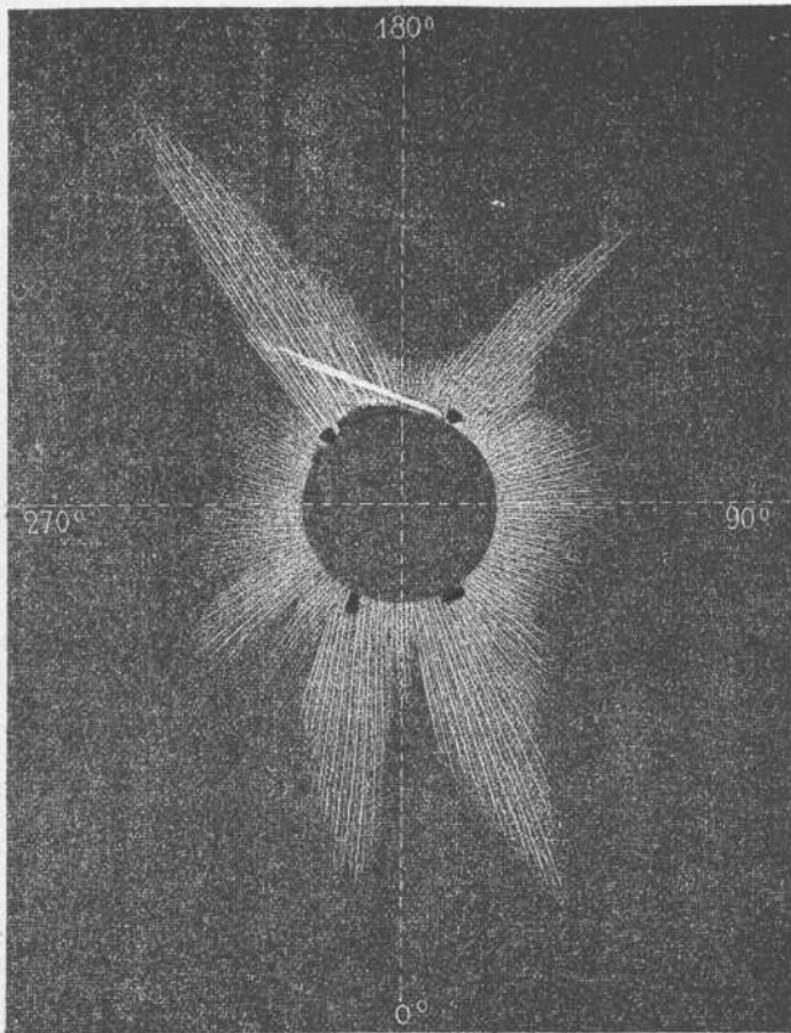


Fig 23<sup>a</sup>



que ya se ha hablado; y basta poner el foco luminoso que se quiere estudiar delante de la abertura del colimador, y adoptar una disposicion cualquiera que permita introducir en el aparato un rayo de luz solar al mismo tiempo que el que se va á examinar. El medio usado para conseguir esto último, consiste en poner un prisma pequeño delante de la abertura del colimador, de modo que cubra la mitad de la mira y refleje sobre sus caras en direccion al eje del instrumento el rayo que va á analizarse, y hacer al mismo tiempo que por la otra mitad de la mira penetre un haz solar. Se sobreentiende que la línea divisoria está en sentido de la anchura de la mira. De esta manera, y mediante la accion del prisma ó de los prismas, se ven en el campo del anteojo dos espectros distintos y yuxtapuestos: uno debido á la llama que se estudia, y otro á la luz solar. Ahora bien, como las dos partes de la mira constituyen una sola recta, dos rayas que tengan el mismo indice de refraccion, deben ocupar igual posicion en ámbos espectros, y aparecer la una exactamente en la prolongacion de la otra. Cuando el asunto exige mayor exactitud, se hacen entrar de igual manera los dos rayos por la misma abertura, superponiéndolos así perfectamente. No siempre es posible emplear este medio; pero cuando se consigue ver los espectros superpuestos de este modo, es preferible al primer procedimiento.

Procediendo de esta suerte, se han obtenido los resultados siguientes:

4.º Cuando se examinan cuerpos incandescentes, nada más que incandescentes, tales como los carbones del arco voltáico, un hilo de platino atravesado por

una corriente eléctrica, la cal, la magnesia ó la zircona caldeadas en la llama del gas oxihidrico, el carbon en suspension en la llama de una lámpara, ó una bugia, etc., se obtiene siempre un espectro continuo, sin raya alguna brillante ó negra.

2.º Siempre que al quemarse un cuerpo, á la presion ordinaria, dá origen á un compuesto gaseoso, la luz de su llama produce un espectro discontinuo: así, la llama de una bugia en su parte más brillante dá origen á un espectro continuo, pero la parte azulada de la base, lugar de la combinacion del carbono y el oxigeno, origina un espectro formado principalmente por tres grupos de rayas verdes y azules, separadas perfectamente unas de otras y dotadas de gran brillo. Estas rayas se deben, bien al carbono, bien á sus compuestos, y su conjunto forma una escala preciosa para el estudio de ciertas luces.

Tambien puede obtenerse este espectro examinando la llama del cianógeno ú otro compuesto del carbono; y aun pueden verse perfectamente las rayas analizando el arco azulado que se produce entre los dos carbones de un regulador de luz eléctrica, cuando se hace uso de una pila poderosa. Asi, mientras que los carbones, simplemente incandescentes, dan un espectro continuo, el arco voltáico dá un espectro en que las rayas brillantes van acompañadas de ciertas bandas desvanecidas en forma de acanaladuras. Para estudiar la luz del arco voltáico, es necesario tener la precaucion de recibirla sobre una lente convergente, y proyectar por medio de ella la imágen del arco sobre la abertura del colimador; de lo contrario, como cada polo dá un espectro distinto, el prisma recibe

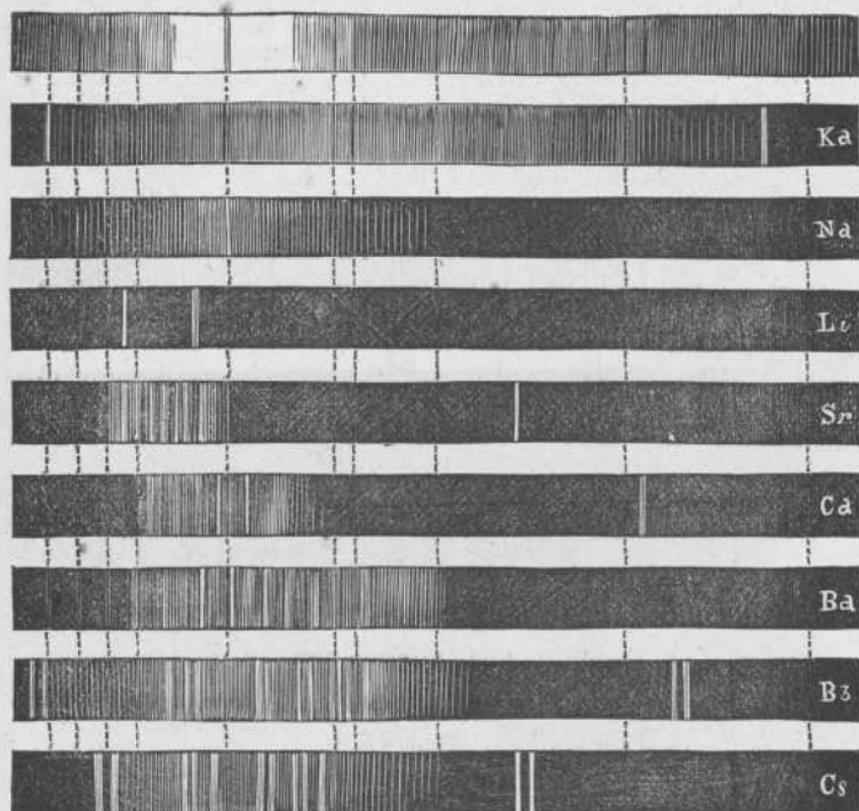
tambien los rayos procedentes de los carbonos, y el espectro aparece casi continuo.

Para estudiar las rayas producidas en la combustion de los metales, hay varios medios: quemarlos introduciéndolos en una llama de temperatura suficiente; quemar una sal, como se hace en los fuegos artificiales; ó bien recurrir á la chispa eléctrica. Cuando se quema en una lámpara una disolucion alcohólica de sal marina, se obtiene, observando con el espectróscopo, la raya amarilla del sódio, muy aparente, y si el instrumento tiene algun poder, se puede dividirla en dos. El cloruro de cobre, el nitrato de estronciana y el carbonato de litina, incorporados á la mecha de una lámpara, dan rayas verdes y rojas que sirven para caracterizar á estos metales. Las lámparas de alcohol no producen bastante temperatura para poder usarlas con los metales más refractarios; para éstos se emplea el mechero de Bunsen, en el cual se quema una mezcla de gas del alumbrado y aire atmosférico, produciendo una temperatura muy alta y una llama azulada, que no produce el espectro continuo de las llamas blancas.

Cuando se utiliza la descarga eléctrica, se recurre, ya á una fuerte pila, ya á un carrete de induccion, y se hace saltar la chispa entre dos reóforos hechos del metal que se desea estudiar. Permaneciendo constantes todas las demás circunstancias mientras se verifica la combustion ó la combinacion química, *cada sustancia dá las mismas rayas, siempre que se encuentra á la misma temperatura.* En la fig.<sup>a</sup> 14 se pueden ver las rayas principales que se desarrollan al quemar los metales alcalinos: (K) potasio, (Na) sodio, (Li) litio,

(Sr) estroncio, (Ca) calcio, (Ba) bario, (Rb) rubidio, y (Cs) casio.

Fig. 14.



3.º Si se hace variar la temperatura ó el grado de combustion del compuesto, se obtienen espectros muy diferentes. Cuando se opera con gases, tambien ejerce gran influencia la presion á que se encuentran en el momento de la combustion. Algunos que á bajas presiones dan rayas muy limpias, á presiones considerables producen espectros continuos: resultado que se atribuye á la mayor temperatura.

Fig. 15<sup>a</sup>

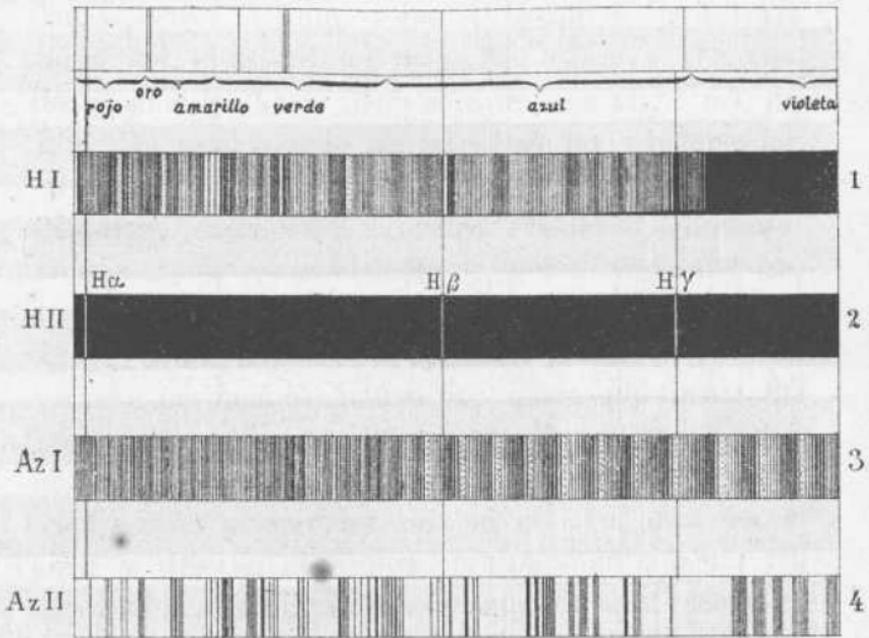
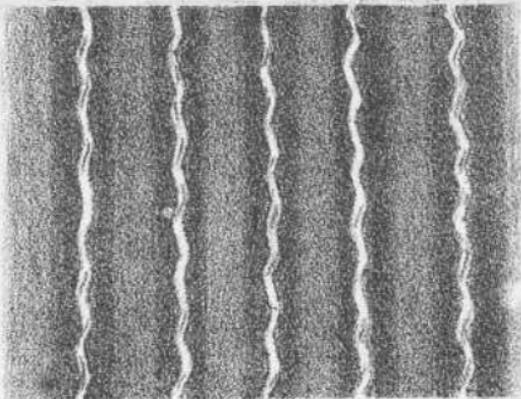


Fig. 18<sup>a</sup>





Generalmente se ensayan los gases rarificados, dentro de unos tubos conocidos con el nombre de *tubos de Geissler*, á los que se hace pasar la descarga de un carrete de induccion. Cuando se hacen estos experimentos, se observa que la mayor parte de los gases dan espectros distintos segun la tension de la descarga: asi, el ázoe dá un magnífico espectro acanalado, cuando la chispa tiene poca tension (fig.<sup>a</sup> 45, Az I, n.º 3); pero cuando se introduce un condensador en el circuito, que aumente mucho la tension de la descarga, entónces el espectro resulta discontinuo, compuesto de rayas aisladas, y muy distinto del anterior (Plücker, fig.<sup>a</sup> 45, Az II, n.º 4). Lo mismo ocurre con el oxígeno, el carbono, el azufre, etc. En estos experimentos actúan los gases próximamente como los vapores metálicos; pero, por término general, su espectro es más complejo: asi, el hidrógeno dá cuatro rayas principales, una en el rojo, otra en el azul y dos en el violeta, presentando, además, un gran número de rayas ménos notables, que crecen en intensidad á medida que la tension de la descarga vá siendo más fuerte (fig.<sup>a</sup> 45, H I, n.º 1). Si se eleva la temperatura lo bastante, las bandas difusas desaparecen y quedan solas las cuatro rayas principales (fig.<sup>a</sup> 45, H II, n.º 2). (1)

---

(1) Si la combinacion produce compuesto distinto, por ejemplo, óxido de carbono ó ácido carbónico. La temperatura es tambien distinta en estos casos, á no ser que se empleen medios adecuados para disminuir la superior.

(N. del T).

Pero si la presión aumenta, las rayas vivas (1) indicadas se ensanchan y convierten en bandas (Wüllner), y al fin acaba por dar un espectro continuo bajo grandes presiones (Frankland). Este hecho habia sido anunciado por Frankland, que lo habia observado al examinar el espectro debido á la explosion de una mezcla de oxígeno é hidrógeno, y ha sido confirmado plenamente por los experimentos de Cailletet, hechos á la presión de 50 atmósferas. A esta presión los espectros del ázoe y del hidrógeno aparecian brillantes y continuos. No pudo aumentarse la presión porque, á causa de la alta temperatura, el vidrio se convirtió en conductor de la electricidad y la luz desapareció súbitamente. El paso del espectro lineal al continuo no es brusco: primero se ensanchan progresivamente las rayas poco luminosas á la presión ordinaria; á 45 atmósferas parecen esfumadas; despues, y á medida que crece la presión, se ensanchan más y más hasta llenar los intervalos que las separan. Cuando el espectro es continuo, con una chispa de un tercio de milimetro (2) la luz es bastante viva para iluminar un vasto laboratorio, (Cailletet).

Mucho se ha discutido sobre los espectros múltiples de los gases: algunos creen que cada gas tiene realmente distinto espectro, segun las circunstancias; otros, por el contrario, opinan que á cada sustancia

---

(1) La cuarta raya no se ha representado en la lámina. (N. del T.)

(2) Debe tenerse presente que las dimensiones de la chispa disminuyen cuando aumenta la presión.

(N. del T.)

corresponde un solo espectro, y que si una ofrece varios, es debido á las impurezas que contiene. Tambien ha sido objeto de exámen saber si los cambios que presentan los espectros se deben á las diferencias de presion ó á las de temperatura. Por lo que parece, la última causa tiene influencia predominante, no produciendo más efecto el aumento de presion que exigir tambien un aumento de temperatura. Cuando la descarga de un carrete atraviesa un tubo cuyo diámetro no es constante, puede verse el espectro de la parte más ancha formado de bandas, y el de la más estrecha sólo por líneas. Estos fenómenos son muy importantes: nosotros no hacemos más que señalar las leyes que los rigen; sobre su explicacion no están conformes todos los físicos; pero parece que gana terreno la idea de la posibilidad de espectros distintos para una sustancia, segun su temperatura.

4.º Casi todos los metales dan origen á espectros discontinuos, formados de rayas brillantes separadas por bandas oscuras. Estos espectros son inversos al solar, en que domina la parte luminosa. Hay, sin embargo, ciertas sustancias que producen gran número de rayas; el hierro, por ejemplo, sobre todo empleando una poderosa pila de Bunsen. Haciendo uso de una de cincuenta elementos, hemos contado nosotros, y tambien Angström y Thalén, hasta quinientas rayas. En el espectro del titano ha hallado doscientas Thalén. A primera vista parece que algunos metales dan un espectro continuo con algunas rayas brillantes; tal ocurre cuando se quema el magnésio. En este caso las rayas brillantes son del metal, y el espectro continuo proviene del óxido incandescente que, como só-

lido, en estado de incandescencia produce radiaciones de todas clases.

Cailletet ha reconocido que, bajo fuertes presiones, las rayas de los metales se esfuman y ensanchan, tal como ocurre en las de los gases, y sin duda llegarían á dar espectros continuos si pudiesen combinarse convenientemente las grandes presiones y las altas temperaturas. Cuando se quema sódio en gran cantidad, en el arco voltáico, se ven dilatarse las rayas notablemente; parece, por lo tanto, que el ancho de las rayas puede depender no sólo de la presión, sino también del espesor más ó ménos grande de la capa de vapor.

Cuando se estudian los espectros de los metales, sirviéndose de la chispa eléctrica, es necesario tener en cuenta que muchas de las rayas visibles proceden del aire atmosférico ó del gas en que se opera: cuando la chispa es pequeña y aparece rodeada de una aureola, dominan las rayas del gas, y las del metal cuando la chispa adquiere la longitud suficiente.

5.º Yuxtaponiendo al espectro solar otros, tal como hemos dicho, se obtienen los resultados más sorprendentes, puesto que con un gran número de sustancias hay perfecta coincidencia entre las rayas oscuras del espectro solar y las brillantes del otro espectro: así, las rayas producidas por el hidrógeno en el rojo, en el azul y en el violado, coinciden con las C y F, y con la treinta y seis y cuarenta y ocho de Van der Willigen, (véase el cuadro final del capítulo precedente). Las rayas del hierro también corresponden á otras bien determinadas de la luz solar: Kirchhoff halló sesenta coincidencias, y Angström

más de cuatrocientas noventa. En el cuadro ya citado, hemos indicado los nombres de las sustancias cuyas rayas coinciden con las solares; pero estas indicaciones son incompletas, y habríamos podido añadir gran número de nombres de metales, si nuestro objeto fuese hacer un tratado de espectroscopia.

Estudiando el espectro de Kirchhoff, se puede obtener mayor suma de indicaciones (1). Las partes inferiores de las escalas parciales representan las rayas metálicas correspondientes á las rayas negras del espectro solar. A continuacion insertamos la lista de las rayas cuya coincidencia está probada, segun Angström.

Hidrógeno. . . . .	4
Sodio. . . . .	9
Bario. . . . .	44
Calcio. . . . .	75
Magnésio. . . . .	4+(3?)
Aluminio. . . . .	¿2?
Hierro.. . . .	490
Manganeso. . . . .	57
Cromo. . . . .	18
Cobalto. . . . .	19
Niquel.. . . .	33
Zinc. . . . .	2
Cobre. . . . .	7
Titano.. . . .	200.

Pudiéramos añadir algunos nombres á esta lista: Lockyer ha reconocido, recientemente, en el Sol la presencia del estroncio, el cadmio, el plomo, el cerio

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3.<sup>a</sup> série, t. LXVIII, Mayo, 63, y 4.<sup>a</sup> série, t. I, Abril, 64.

y el urano; se encuentran, pues, allí todos los metales correspondientes al grupo del hierro. El oro, la plata, el mercurio y demás metales cuyos óxidos se descomponen fácilmente, han sido en vano buscados por Lockyer, que tampoco ha encontrado el cloro, el bromo, etc. Nosotros habíamos reconocido ya la presencia del plomo.

## § II. ESPECTROS DE ABSORCION.

La coincidencia de las rayas negras del espectro solar con las líneas brillantes de los espectros metálicos, es demasiado sorprendente para que dejase de excitar la atención de los físicos; pero aunque estas coincidencias, á lo ménos las del sodio, fuesen conocidas desde el tiempo de Fraunhofer, no se habían podido explicar satisfactoriamente. Foucault había notado que cuando se quema sódio en gran cantidad en el arco voltaico, en vez de dar como de ordinario la línea amarilla, produce, en ciertas circunstancias, un espectro más extenso, casi continuo, en el cual aparece una línea negra ocupando la posición correspondiente á la amarilla. Este hecho singular permaneció sin explicarse y aislado, hasta el momento en que Kirchhoff lo encuadró dentro de su teoría general. Según él, la línea negra resulta de la absorción ejercida por el vapor de sódio sobre la radiación procedente del punto brillante.

Hé aquí un experimento bien sencillo que evidencia la absorción producida por el vapor de sodio. Se toman dos lámparas en que arda una disolución alco-

hólica de sal comun, y se colocan de modo que para el observador, las llamas se proyecten parcialmente una sobre otra; mirándolas entonces, se nota que la llama posterior, en la parte en que están superpuestas, aparece fuliginosa: este efecto es debido á la absorcion de los rayos de una llama por el vapor de sodio existente en la otra.

Cuando se quema el sodio en gran cantidad, se obtienen, como observó Foucault, en el lugar de las rayas brillantes, otras oscuras, bien marcadas y dilatadas sensiblemente. El fenómeno se explica igualmente por la accion del vapor metálico sobre los rayos luminosos emitidos por la llama. Esta inversion de las líneas del sodio ofrece la importante circunstancia de extenderse la absorcion á un lado y á otro, permaneciendo la raya distinta en el interior, pero dilatándose sus bordes hasta formar verdaderas bandas, en iguales circunstancias que las rayas brillantes; la anchura de las bandas sombrías es proporcional al grueso que ofrecerian las líneas, si no se hubiese verificado la inversion. Parece, pues, que en ciertas circunstancias, puede el sodio originar bandas en vez de las líneas bien determinadas que se observan de ordinario. El talio y otros metales ofrecen fenómenos semejantes.

Varios casos de absorcion por los vapores se conocian desde hace tiempo, como cuando atraviesan los rayos solares al través de una capa de ácido hipohírico, ó de vapor de yodo, en cuyo caso se observan ciertas rayas que ántes no existian. Tambien puede verse el fenómeno haciendo pasar por los mismos medios la luz procedente de una llama blanca ordinaria,

cuyo espectro es continuo sin la accion de los vapores.

Tienen tambien los gases de nuestra atmósfera gran poder absorbente, y pueden dar origen, absorbiendo ciertas radiaciones, á algunas de las rayas espectrales. Siendo la absorcion atmosférica tanto mayor cuanto mayor es el espesor atravesado por la luz, el espectro debe variar, siendo las rayas más ó ménos oscuras segun la posicion del Sol, y más numerosas cuando este astro está cerca del horizonte que cuando está próximo al zenit. Estas diferencias son fáciles de observar con un solo prisma, ó con el espectróscopo de bolsillo de Hoffmann. La influencia atmosférica se manifiesta especialmente en algunas regiones del espectro: en el rojo extremo se desarrollan ciertas fajas oscuras, que no se ven cuando el Sol está á bastante altura; en el anaranjado, sobre todo entre la *C* y la *D*, cerca de la raya  $8\beta$  de Van der Willigen, se forma una linea, designada por Brewster con  $C^6$ , acompañada de otras paralelas. Entre  $C^6$  y *D* se forma de ordinario gran número de rayas, y se ensanchan algunas que suelen verse siempre.

Entre 94,3 y 403,2 de Kirchhoff hay un grupo de rayas mucho ménos aparentes en invierno que en verano. En esta última estacion aparecen más oscuras que la *D*, y el conjunto de la parte sombría es mayor que el fondo luminoso del espectro. Tambien se distinguen estas rayas mejor cuando el aire está brumoso ó húmedo.

Más allá de la *D* se forma una gran banda, designada por Brewster con la letra  $\delta$ , compuesta en invierno de lineas muy finas, que en verano se refuerzan y apenas dejan intervalos entre sí. En fin, tam-

bien en el verde se vé un grupo próximamente en la mitad del espectro, que separa la *b* de la *F*, y en el violado algunas más.

Algunas de estas rayas resultan, sin duda, de la accion de los gases que constituyen nuestra atmósfera: los grupos del verde, en particular, corresponden al azoe; los del amarillo y el rojo son debidos casi exclusivamente al vapor de agua. Nosotros hemos podido cerciorarnos de ello examinando el espectro en diferentes circunstancias atmosféricas, notando como aparecian las rayas á medida que el Sol se aproximaba al horizonte, y analizando durante la noche la luz procedente de las llamas situadas á considerable distancia. Además, tambien hemos visto aparecer estas mismas rayas en el momento en que algunas nubes ligeras pasaban por delante del Sol, lo que muestra la influencia del vapor de agua que contenian. Janssen ha confirmado esta explicacion examinando la llama de un gas al través de un tubo lleno de vapor de agua á alta presion. Podrá ocurrir, sin embargo, que ciertas rayas correspondan á sustancias de nuestra atmósfera, desconocidas aun, y más especialmente en la estacion del calor, en que tan cargada está de vapores de origen vegetal, todos ó casi todos en extremo absorbentes. Creemos, no obstante, que la mayor parte de estas rayas tienen por origen la accion del vapor de agua; como hemos probado haciendo simultáneamente las observaciones espectrales é higrométricas.

### § III. INVERSION DE LOS ESPECTROS.

Resulta de lo expuesto que un espectro puede aparecer discontinuo por dos causas muy distintas:

1.<sup>a</sup>, porque en realidad los rayos del foco luminoso no sean continuos, tal como ocurre con la luz eléctrica, la de los metales volatilizados, etc.; 2.<sup>a</sup>, por la acción absorbente de un gas ó de un vapor, que puede ser el de la misma sustancia luminosa. Siendo muy absorbentes los vapores metálicos, como hemos visto lo es el del sodio, podría muy bien ser que, actuando sobre la luz solar, originasen las rayas oscuras del espectro. Esta fecunda idea se presentó como consecuencia natural de cuanto acabamos de decir. Añadamos que no es preciso estén los vapores en estado incandescente para producir la absorción, basta con que su temperatura sea suficiente para que afecten la forma de fluidos elásticos, temperatura variable de unos para otros. Así, Kirchhoff ha podido observar la absorción producida por el sodio operando con tubos llenos de hidrógeno, que contenían vapor de este metal á una temperatura bastante baja.

El hecho puede comprobarse, mediante un experimento bastante sencillo: se prepara el espectróscopo como para una observación solar ordinaria, y delante de la abertura del colimador se coloca una llama suficientemente grande, de alcohol salado; dispuesto el aparato de esta manera, se verá como las rayas D se oscurecen y difunden, si el vapor metálico es abundante. Con más facilidad aun se obtiene este resultado, colocando sobre la mecha un poco de sodio ó de carbonato de sosa, en vez de usar la disolución alcohólica.

Cuando en el arco voltaico se queman ciertos metales, como el sodio, el talio, el magnesio, etc., las rayas que aparecen brillantes cuando la llama es pe-

queña, se convierten en oscuras rodeadas de una luz muy viva, si la llama aumenta de intensidad, de manera que la raya brillante parece estar dividida en dos por una raya negra finisima. Esta inversion central se produce por la pequeña atmósfera de vapor que rodea á la chispa. (1) Este experimento, debido á Cornu, es análogo á aquel de Foucault de que ya hemos hablado, en que se sometia al análisis espectral la luz producida por la combustion de una masa más considerable de sodio. Nosotros hemos repetido el experimento con el sodio, el magnesio, el hierro, el talio, etc.

Como condicion esencial figura, en cuantos experimentos llevamos indicados, la de que la capa absorbente ha de tener ménos temperatura que el foco luminoso. De aqui resulta el principio fundamental de estas investigaciones: *Un vapor absorbe á baja temperatura, precisamente los mismos rayos que emitiria si estuviese incandescente.* Así produce el vapor de sodio las líneas oscuras en el mismo lugar en que aparecen las luminosas durante la combustion del metal. Generalizado este hecho, constituye lo que se llama *inversion de los espectros*, y puede enunciarse como principio general del siguiente modo: *Un vapor absorbe precisamente los rayos que es capaz de emitir si estuviera incandescente; de manera que los poderes emisivo y absorbente son complementarios el uno del otro.* Esta regla presupone siempre como condicion indispensable, ménos temperatura en el vapor absorbente que en el cuerpo radiante.

La teoría física de estos fenómenos es fácil de es-

---

(1) *Comp. rend.*, t. LXXIII, p. 33.

tablecer por simple comparacion entre la óptica y la acústica, comparacion á que nos conducen naturalmente las ideas hoy dominantes, segun las cuales la luz resulta de la vibracion de un medio etéreo.

Gran número de cuerpos sonoros, por efecto de su forma, no son capaces de emitir más que ruidos, resultantes de una multitud de sonidos coexistentes, teniendo cada uno de ellos longitud de onda distinta; hay, por el contrario otros cuerpos, en mejores condiciones, que producen sonidos musicales perfectamente definidos, originados por vibraciones isocronas, que se propagan por ondas de magnitudes iguales, y que sólo van acompañados de sus armónicos, tales como la quinta, la octava, etc.

Cosa análoga ocurre con los cuerpos luminosos. Los simplemente incandescentes, ligados por las acciones moleculares, emiten ondulaciones de todas clases y magnitudes, cuyos índices de refraccion tienen todos los valores posibles entre dos límites extremos; de lo que resulta necesariamente un espectro continuo. Las mismas sustancias reducidas á vapor y libres de la cohesion, vibran con más libertad y emiten ondas luminosas, cuya longitud depende únicamente de la masa vibrante y de su fuerza viva. Estas ondas son en pequeño número y bien definidas, acompañadas á lo más de algunas otras que pudiéramos llamar sus *armónicas*, y cuyas longitudes están en relacion comensurable con la longitud de la principal. Por ejemplo, las rayas C y F del hidrógeno corresponden á rayos cuyas longitudes de onda están casi exactamente en la relacion de 4 á 3, relacion que caracteriza en acústica el intervalo del *do al fa*; la di-

ferencia es sólo de  $\frac{1}{87}$ . La tercera raya del violeta y la C también, con muy corta diferencia, dan la relación de  $\frac{9}{8}$  á  $\frac{5}{3}$ , y haciendo abstracción de esa diferencia, se encuentra la relación característica de *re* á *la*. Las rayas correspondientes á varias sustancias, aparecen reunidas en grupos (hierro, manganeso, carbono, etc.). Ahora bien, según Hinrichs, si se estudian todas las rayas que dá una sustancia, se halla que las longitudes de las ondas respectivas pueden representarse por los términos de una progresión aritmética, siendo, como es preciso, constante la razón en cada grupo; y siempre puede expresarse por un número sencillo, que depende de la forma y volumen de los átomos. Debemos añadir que este pequeño número de ondas distintas y esta sencillez en la vibración, no se realizan más que entre ciertos límites de temperatura y presión; fuera de ellos, las vibraciones se complican, el número de ondas de amplitudes distintas aumenta, y al fin termina por formarse un espectro continuo. Esto es lo que ocurre en los experimentos de Cailletet y Plücker, y lo que se vé también en las combustiones vivas del sodio, talio, etc.

Estas teorías podrán ofrecer alguna dificultad en los pormenores; pero el principio fundamental es incontestable: las moléculas libres de los gases deben vibrar de una manera sencilla y perfectamente definida, absolutamente como los cuerpos de forma y masa determinada que se emplean en acústica para producir sonidos musicales de gran pureza.

Ocurre con frecuencia que ciertos cuerpos capaces de producir sonidos musicales bien determinados, vibran por *simpatía*; basta para que esto suceda pro-

ducir cerca de ellos su nota propia, ó alguna de sus armónicas. Por esta causa pueden vibrar las cuerdas de un arpa ó de un violin sin haber sido tocadas, y solo por la influencia de las ondas aéreas. Cuando se habla delante de un piano abierto, se oye el débil gemido de las cuerdas, que pueden formar acorde con el tono de la voz. Los bellos experimentos de Meyer han probado que estas vibraciones se transmiten á diapasones colocados á bastante distancia, y que puede hacerse visible el fenómeno por medios muy sencillos.

Las moléculas de los gases deben experimentar algo semejante con relacion á la luz. Cuando las moléculas sufren la accion de las ondas etéreas, pueden no experimentar cambio notable alguno por ser incapaces de vibrar al unison; pero si entre las vibraciones hay alguna cuya amplitud de onda es igual á la que el gas puede producir, ó tiene una relacion sencilla con ésta, entónces experimentará la molécula una accion semejante á la que sufren las cuerdas, en el caso de las vibraciones aéreas. Pero como para ponerlas en movimiento es necesario que se consuma la fuerza viva de la onda, es evidente que el rayo luminoso así absorbido dejará de propagarse. Una masa gaseosa, pues, es capaz de absorber los rayos simpáticos, esto es, aquellos cuya onda es igual á la que el gas produciría vibrando por si, ó lo que es lo mismo: una sustancia gaseosa absorbe precisamente las mismas radiaciones que emitiría si estuviese incandescente. Cierto es que por el hecho de la absorcion, aumenta la fuerza viva de la masa gaseosa elevándose la temperatura y haciéndose radiante á su vez, lo que

tiende á sustituir la raya negra por otra brillante; pero la línea oscura no podrá desaparecer hasta que la nueva radiacion iguale en intensidad á la primitiva, lo que no se verifica si la masa gaseosa tiene algun espesor. De esta depende que las rayas no se vean nunca completamente negras, como puede observarse fácilmente.

Ocurre algunas veces, que una masa incandescente emite rayos situados fuera del límite de las ondas normales, y entónces dá un espectro cuyas rayas luminosas aparecen desvanecidas, como ocurre cuando se queman en el arco voltáico sódio, talio y otros metales. En este caso, el vapor no se limita á producir una absorcion lineal, sino que extiende su accion á distancia, y las líneas negras aparecerán tambien ensanchadas y con los bordes desvanecidos. Nosotros hemos tenido ocasion de comprobar el hecho en el caso de los metales citados.

Puede ocurrir tambien que la absorcion se deba á un gas que, en vez de dar una onda igual á las que intentan atravesarlo, sólo produzca alguna de las armónicas, y en este caso no serán completamente negras las rayas, pero siempre lo suficiente para distinguirse del resto del espectro.

La teoría que acabamos de exponer, se admite actualmente por todos los físicos, y se puede decir que está confirmada por las diferencias que se observan en la absorcion producida por los gases, comparada con la que originan los sólidos y los líquidos. En el caso de estar las sustancias absorbentes en los estados que acabamos de citar, la absorcion se manifiesta por zonas nebulosas, anchas y mal definidas, incapaces de

resolverse en rayas distintas unas de otras; cuando la sustancia absorbente está en estado de fluido elástico, por el contrario, las rayas son limpias, bien definidas é independientes; solo cuando la presión comienza á ser considerable es cuando empiezan las rayas á ensancharse y difundirse. Parece, pues, evidente que todo es efecto del mayor ó menor poder de la atracción molecular, enérgica en los sólidos y en los líquidos, poco ménos que nula en los gases, sin acción sensible más que bajo presiones grandes.

Esta teoría es general, y puede aplicarse á otros casos más que al de la absorción espectral producida por los vapores de los cuerpos simples: puede aplicarse, por ejemplo, á la absorción del calor radiante por los gases compuestos, y verse en este caso que no es solo el poder de la cohesión molecular el que contribuye á determinar la naturaleza de las absorciones, sino también la acción química y el estado de la combinación. Así se vé que una mezcla de hidrógeno y azoe, en las proporciones precisas del amoníaco y ocupando el mismo volumen que si estuviese en estado de tal, absorbe mucho ménos calor, sesenta veces ménos, que absorbería si realmente fuese amoníaco; y otro tanto puede decirse de la mezcla de oxígeno é hidrógeno, comparada con el vapor de agua. Los gases simples en general poseen un poder absorbente muy débil, y por consecuencia emiten también muy poca luz, aun cuando tengan una temperatura muy elevada (1); por esto la mezcla de oxígeno é hidróge-

---

(1) Algunos físicos opinan que el poder absorbente de los gases depende de la complicación de sus moléculas.

no da una llama tan pálida, aunque de tan alta temperatura.

Además de la radiacion luminosa, emite el Sol tambien la química y la térmica, de que ya nos ocuparemos; ahora vamos á aplicar los principios expuestos al estudio de la fotoesfera y de su constitucion.

## CAPÍTULO IV.

### Aplicacion de los principios precedentes al estudio de la constitucion del Sol.

#### § I. EXPLICACION DE LAS RAYAS OSCURAS DEL ESPECTRO SOLAR.

Antes de los descubrimientos debidos al espectróscopo, se habia intentado varias veces explicar las rayas descubiertas por Fraunhofer, atribuyéndolas, ya á interferencias entre rayos contíguos, ya á falta de continuidad en los indices de refraccion de las ondas étereas nacidas del Sol. Desde que el espectróscopo nos enseñó las condiciones en que se produce el fenómeno, la explicacion se ha hecho mucho más fácil. Las rayas no son más que los huecos hechos por la absorcion, debida á los vapores metálicos que cons-

---

las, y citan entre otros ejemplos los perfumes. Hay quien opina tambien que la absorcion depende no sólo de la masa molecular, sino de la forma. (*N. del T.*)

tituyen la atmósfera solar: cada una de las rayas es realmente el espectro invertido de una de estas sustancias, desconocidas en su mayor parte. Si la luz llegase á nosotros tal como parte de la fotosfera, seria continuo el espectro, como el de la llama de una bujía, porque á causa de la gran presión que las capas solares soportan y de su elevada temperatura, todos los vapores que las forman deben ofrecer un espectro continuo, como en las experiencias de Frankland y Cailletet; pero como sobre las masas luminosas hallan las radiaciones una capa de vapores que atravesar, en ella experimentan la absorción. Estos vapores, si bien están á menor temperatura que la fotosfera, tienen la bastante para aparecer luminosos en ciertas circunstancias.

Si nos fuese dado separar del Sol la capa atmosférica y proyectarla, no sobre la fotosfera, sino sobre el fondo negro del espacio, veríamos entonces con ayuda del espectróscopo, aparecer líneas brillantes de distintos colores en las mismas posiciones en que actualmente observamos las rayas negras. Tal es lo que la teoría indica y la observación confirma, como veremos.

Kirchhoff, á quien debemos la explicación que acabamos de reproducir, pensaba que la atmósfera solar debia tener gran espesor, y creia hallar la medida de su magnitud en la extensión de la corona que rodea al Sol durante los eclipses. No hay tal cosa; la capa absorbente es en realidad muy delgada, como veremos en el libro cuarto.

En el capítulo primero de este libro hemos estudiado en general la absorción de los rayos luminosos

salidos del Sol, y este estudio nos condujo á admitir la existencia de una atmósfera cuya naturaleza ignorábamos. Al presente sabemos que está compuesta de vapores metálicos, algunos de los cuales conocemos, y son de los que estudiamos en la tierra, mientras que otros, el mayor número, son de naturaleza desconocida. Este resultado no debe sorprender á nadie, porque es opinion comun que la materia que compone el universo debe ser próximamente la misma en todas partes, y por de contado, la temperatura del Sol suficiente para volatizar todas las sustancias conocidas. Nosotros habremos de ocuparnos de la temperatura del cuerpo solar; mas desde ahora, y ateniéndonos á las valuaciones más bajas, podemos decir que esta temperatura basta para volatilizar todas las sustancias cuyas rayas invertidas se observan en el espectro.

En la fabricacion del acero por el procedimiento Bessemer, se observan ciertos fenómenos que sirven para hacer comprender nuestro pensamiento. El procedimiento consiste en decarburar la fundicion, lanzando una corriente de aire comprimido al través de la masa en fusion. Al principio de la operacion dá origen la llama á un espectro continuo, en el que algunas veces se presentan las rayas del sodio, debidas á fragmentos de materia vegetal y á polvo atmosférico; algo despues, habiéndose quemado el carbon casi por completo, y elevándose la temperatura, reaparecen las rayas del sodio; más tarde, y á medida que la operacion adelanta, pierde poco á poco su continuidad el espectro, y se destacan las rayas brillantes del hierro, del carbono, del calcio, del magnesio, y de otra porcion de sustancias que no ha eliminado por completo el

tratamiento metalúrgico. Cuando se llega á este punto, el espectro es magnífico, y según la valuación de las personas competentes, la temperatura no excede de 3.000 grados: bien puede admitirse, en vista de esto, que hasta una temperatura de algunos miles de grados para volatilizar los metales ménos fusibles, y comunicar á su vapor un poder absorbente y otro emisor, análogos á los que posee la atmósfera solar.

Tenemos, pues, derecho de admitir que la atmósfera solar contiene vapores metálicos, y que éstos, por su poder absorbente, dan origen á la discontinuidad de radiaciones que constituye las rayas de Fraunhofer. Y tanto más fundada es esta inducción, cuanto que la coincidencia de las rayas oscuras con los espectros de los vapores metálicos, bastaría por sí sola para probar la tesis que estamos exponiendo. Coincidencia por otra parte inexplicable, si no supiéramos que una sustancia es capaz de absorber precisamente la misma radiación que puede emitir, formando así una raya negra que tiene el mismo índice de refracción que su luz propia.

Esta teoría se basa en dos aserciones fundamentales: 1.<sup>a</sup>, bajo la capa absorbente existe otra luminosa produciendo radiaciones de todas clases, que darían origen á un espectro continuo á no experimentar modificaciones: 2.<sup>a</sup>, la temperatura de la envolvente que contiene los vapores metálicos, es inferior á la del foco luminoso.

La aserción primera puede entenderse de dos modos: ó bien la fotosfera está compuesta, como las nubes, de una especie de niebla debida á la condensación de los vapores metálicos, consistente en un

conjunto de gotitas líquidas, ó en polvo sólido cristallino, y que posee, tambien por efecto de la condensacion, un gran poder emisivo y dá origen á un espectro continuo, como creia Wilson; ó bien está formada de gases que, por la gran presion á que están sometidos y la alta temperatura que poseen, gozan de la propiedad de emitir rayos de todas clases, y originan, por tanto, un espectro continuo. Concuerta mejor la primer inteligencia con el espectro de las manchas y con las observaciones expuestas en los capítulos anteriores; la segunda se funda en la hipótesis de una gran presion, cuya existencia no aparece demostrada respecto á la superficie visible del Sol, por más que á cierta profundidad deba ser en extremo considerable. Por otra parte, resulta de todos los trabajos hechos hasta el dia, que la atmósfera trasparente del Sol produce muy poca refraccion sobre los rayos que la atraviesan, y no es posible conciliar esta debilidad del poder refringente con la densidad que hace suponer la idea de una gran presion. Por último, las rayas del hidrógeno conservan su limpieza solo hasta la presion de 440 milímetros, y van difundiéndose á medida que la presion crece (Wüllner).

Estas ideas se confirman plenamente por los trabajos de Lee y Lockyer sobre la comparacion de las rayas formadas por los gases encerrados en tubos á la presion atmosférica, ó á débiles presiones: en el primer caso aparecen difusas, mientras que en el segundo se destacan con limpieza. En vista de esto, podria creerse fácil determinar la presion á que está sometida la atmósfera, estudiando la dilatacion del espectro. Por desgracia el procedimiento sería defectuoso, y

llevaría á conclusiones erróneas; porque, dependiendo la dilatacion de las rayas de la presion y de la temperatura á un tiempo, el problema es completamente indeterminado. Para dar idea de los errores á que se expondría quien sacase consecuencias prematuras, citaremos un experimento de Lee. Cuando atraviesa la descarga eléctrica un tubo que contiene un gas convenientemente rarificado, las rayas aparecen perfectamente determinadas; pero si en el circuito de la corriente se interpone otro tubo conteniendo un gas á bastante presion, el espectro del gas rarificado aparece difuso desvaneciéndose las rayas. La causa de este fenómeno consiste en que, para producirse la chispa en el segundo caso, tiene la descarga que ser más fuerte y desarrollar, por lo tanto, mayor temperatura. Se vé, pues, cuán falsa sería la determinacion de las presiones de los gases, sirviéndose solamente de las indicaciones espectrales:

Por tanto, aunque el estudio del Sol nos muestra las rayas del hidrógeno un poco difusas y rodeadas de una nebulosidad sensible, que parece indicar cierta densidad, como esta misma apariencia puede producirse por un aumento de temperatura, nos es imposible adoptar ninguna opinion definitiva. Ciertamente es que la pesantez es en el Sol veinte y ocho veces mayor que en la superficie de la Tierra; pero ¿la fuerza expansiva del calor no compensará con creces su efecto? Asunto es este que necesita nuevas investigaciones para esclarecerse; por el momento debemos limitarnos á exponer los hechos.

Examinando Frankland, con el auxilio del espectróscopo, la llama producida por la explosion de una

mezcla de oxígeno é hidrógeno, se cercioró de que en tales circunstancias se produce un espectro continuo, y creyó poder asegurar de aquí que los gases dan un espectro de tal clase, siempre que la presión y la temperatura sean suficientemente grandes. Estas afirmaciones no estaban exentas de toda objecion, porque Frankland habia realmente analizado el espectro del vapor de agua y no el del hidrógeno. Cailletet ha reanudado estos trabajos y examinado los espectros de los gases bajo presiones crecientes hasta llegar á la de 50 atmósferas; se ha cerciorado de que, á las 14, ya las rayas se difunden y comienzan á desvanecerse, creciendo el efecto con la presión; y á las 50, el espectro es uniforme, y tan brillante que basta una chispa de un tercio de milímetro, producida por un carrete de 30 centímetros de longitud, para iluminar un vasto laboratorio. A tal presión, las mismas rayas del sodio aparecen difusas y esfumadas. Cree Cailletet que, á presión conveniente, también los metales darían espectros continuos. En la superficie del Sol, la presión de 50 atmósferas equilibraría la de una columna de mercurio de 1<sup>m</sup>,34 de altura, suponiendo que el mercurio conservase en tal lugar las propiedades físicas que posee en nuestros laboratorios. Ahora bien, para reemplazar la acción de esta columna de mercurio por la de otra de hidrógeno en condiciones de producir rayas limpias, sería necesario tuviese ésta una altura que, vista desde la Tierra, no pasase de algunos segundos. La falta de datos impide determinar estos límites con más exactitud.

Segun Hirn, la fuerza químico-molecular que mantiene unidos los elementos constitutivos del agua,

equivale á una presión de 4.600 atmósferas. Si se supusiese actuando sobre la superficie del Sol una columna formada por un gas que poseyera próximamente la densidad del aire atmosférico en condiciones normales de presión y temperatura, y que produjese tal presión, debería tener una altura que, vista desde la Tierra, subtendería solamente un ángulo de 14 segundos.

Recordemos ahora los experimentos de Cagniard de la Tour y Andrews, y veremos cuán difícil es adoptar una opinión. Buscaban estos experimentadores el punto en que se confunden, respecto al agua, los estados líquido y gaseoso. En sus ensayos, llegando la temperatura á 415 grados, no pasó la presión de 400 atmósferas. La temperatura del Sol, siendo mucho más alta, hace suponer un límite mucho más elevado que la presión. La coexistencia de las dos variables, presión y temperatura, hace indeterminado el problema, y nos impide resolverlo adoptando una opinión plausible sobre el estado físico de la materia que compone la fotosfera. Agreguemos con Lee esta otra consideración, que contribuye á dificultar la resolución del problema. Constantemente procuramos comparar los fenómenos de la atmósfera solar con los de nuestros laboratorios: ¿es propia esta comparación? Para que lo fuera, sería necesario que las condiciones que concurren en ámbos casos fueran iguales. ¿Sucede así? No podemos afirmarlo, porque las corrientes eléctricas á que nos vemos precisados á recurrir, podrían tal vez producir perturbaciones en el período de oscilación de las moléculas, y el fenómeno entonces sería distinto del que tratamos de estudiar mediante la com-

paracion. No obstante las dificultades que hemos apuntado, volveremos sobre el asunto cuando hayamos estudiado al pormenor los fenómenos que ofrece la atmósfera solar.

Exige nuestra teoría, como segunda condicion, que la envolvente atmosférica en que se encuentran los vapores metálicos, posea ménos temperatura que la fotosfera. Nada hay más natural ni de más fácil justificacion. Siendo la capa trasparente la más distante del centro y la más inmediatamente sometida á los efectos de la radiacion, es muy natural sea la que se enfrie con más rapidez, y por lo tanto, tenga menor temperatura que las capas inferiores. No por esto dejará de ser gaseosa, á causa de su temperatura y de la naturaleza de las sustancias que la componen. Cuando los vapores lleguen al estado de saturacion, se condensarán parcialmente, quedando siempre una cierta cantidad en estado de flúido elástico, como pasa en nuestra atmósfera, donde se encuentra vapor de agua en las regiones superiores á las nubes.

La fotosfera emite, pues, rayos de todas clases, y por lo tanto debe dar un espectro continuo; pero como estas radiaciones no pueden llegar hasta nosotros sin atravesar la capa absorbente, sea cualquiera el punto á que dirijamos el espectróscopo, siempre aparecerá el espectro lleno de rayas oscuras.

Cuantos razonamientos llevamos hechos son inútiles desde el momento en que la observacion directa nos mostró la presencia de las rayas brillantes en la superficie del Sol, en cuya virtud podemos afirmar, con certeza, que en la atmósfera de este astro hay, en estado de vapor, todos los metales cuyas rayas inver-

tidas aparecen en el espectro solar: el sodio, el magnesio, el hidrógeno (1), el calcio, el bario, el cinc, el cobre, el cromo, el manganeso, el titanio, el níquel, el cobalto, etc. A pesar de la diferencia de sus densidades, estos vapores tienden á mezclarse, como los gases propiamente dichos, en virtud de su poder difusivo. Sin embargo, los más densos abundan en la parte baja de la atmósfera. En efecto, observando con el espectróscopo el limbo solar proyectado sobre el oscuro fondo del cielo, tal como se hace en los eclipses, se reconoce con facilidad que las rayas oscuras se invierten convirtiéndose en brillantes. Entre todas, las del hidrógeno son las más fáciles de observar, y mediante ellas se reconoce que este gas se eleva considerablemente sobre la fotosfera, formando una capa continua encima de los demás vapores metálicos. Creemos conveniente anticipar algunas ideas sobre lo que después hemos de estudiar; con estas ideas será más comprensible la exposición histórica de los descubrimientos; mas ántes de relatarlos, daremos á conocer una observación en que conseguimos ver sobre el limbo solar un espectro continuo; y como esta observación es muy delicada, vamos á explicarla detenidamente.

Hacemos uso de nuestro gran ecuatorial, de 25 centímetros de abertura: la imagen ampliada con el objetivo de un microscopio de Amici, se proyectaba

---

(1) Contado entre los metales por muchos químicos en razón á sus afinidades, y á las propiedades de sus compuestos que tienen gran analogía con los del zinc.

(N. del T).

claramente sobre la mira del colimador. El espectrósco-  
 copo se componia de tres prismas de flint pesado,  
 muy dispersivo, y habíamos agregado un prisma de vi-  
 sion directa, equivalente á otros dos. Estando la  
 abertura del colimador paralela al limbo, se arregló  
 el movimiento de relojería de modo que permitiese  
 al disco solar aproximarse lentamente al campo del  
 antejo. Dispuesto así el aparato, observamos los fe-  
 nómenos siguientes: 1.º á corta distancia del limbo, la  
 luz exterior era lo bastante viva para dar origen á  
 un espectro rayado de negro, en el cual podian verse  
 hasta las rayas más finas; 2.º á menor distancia se  
 vieron aparecer las rayas brillantes del hidrógeno;  
 3.º continuando el movimiento, fué disminuyendo la  
 intensidad luminosa de estas rayas, y llegó un mo-  
 mento en que desaparecieron todas, á excepcion de  
 las más fuertes, tales como D y b; 4.º el espacio que  
 produjo este espectro continuo fué muy estrecho, por-  
 que bien pronto apareció el espectro rayado que  
 anunció la presencia del disco solar.

El fenómeno observado en el tercer periodo puede  
 explicarse de dos maneras: ó bien la capa visible en-  
 tónces, es la que rádia directamente y produce el es-  
 pectro continuo, ó es la que invierte parcialmente el  
 espectro de ciertos metales, como la capa rosa in-  
 vierte el del hidrógeno. En este último caso, teniendo  
 poco poder para hacer brillar las rayas sobre que ac-  
 túa, no producirá más que una inversion parcial, es  
 decir, la desaparicion de las mismas, como ocurre  
 con el hidrógeno más allá de las protuberancias. Esta  
 última explicacion es la verdadera, y se halla confir-  
 mada por las observaciones hechas durante los eclip-

ses. Tambien veremos como el Sr. Tacchini, bajo el hermoso cielo de Palermo, puede casi diariamente observar invertidas las rayas del magnesio; y por último, cómo Young ha confirmado nuestra observacion, repitiéndola sobre el monte Sherman.

No debe causar admiracion ver persistir las rayas oscuras D y b, porque los vapores metálicos (sódio y magnesio) que las emiten, tienen muy poca densidad y gran poder absorbente. Despues del hidrógeno y los gases propios, son estos vapores los de menor peso específico: necesariamente se elevan á gran altura, y como son muy absorbentes, aunque esten en pequeña cantidad, deben dar origen á rayas casi negras. La experiencia prueba, en efecto, que basta un espesor de pocos metros para que el vapor de sodio invierta el brillante espectro de la luz eléctrica. En lo sucesivo tendremos ocasion de citar otras inversiones, que completarán el estudio del espectro solar.

La observacion que acabamos de describir es muy delicada y difícil de hacer; requiere circunstancias excepcionales y grandes precauciones. La imágen solar ha de ser muy limpia y completamente tranquila; debe emplearse una amplificacion considerable, y usarse un espectróscopo de gran potencia.

El fenómeno acabado de indicar concuerda perfectamente con lo que observamos durante el eclipse de 1868. Despues de la desaparicion del limbo, notamos una capa atmosférica muy blanca y muy brillante; inmediatamente despues apercibimos la capa rosa y las protuberancias. Ahora bien, parece que esta parte brillante que vimos entre el limbo y la capa rosa, es la misma que produce el espectro continuo.

La atmósfera solar debe contener vapores de todas clases, mezclados segun las leyes de la difusion. Sin embargo, segun su densidad se elevan á diversas alturas, tanto mayores quanto son más ligeros. Puede reconocerse esto examinando el siguiente cuadro, en que aparecen ordenadas segun sus pesos atómicos (1), las diversas sustancias cuya existencia en el Sol está reconocida. Hemos insertado tambien el aluminio, el potasio y el silicio, aunque no consta con entera evidencia que existan en la atmósfera solar.

Hidrógeno.. . . .	4
Sodio. . . . .	23
Magnesio. . . . .	24
Aluminio. . . . .	27
Silicio. . . . .	28
Potasio.. . . .	39
Calcio. . . . .	40
Cromo. . . . .	52
Manganeso. . . . .	52,5
Hierro.. . . .	56
Cobre. . . . .	63,5
Zinc. . . . .	65
Bario. . . . .	137 ó 68,5×2.

Si un gran número de cuerpos, considerados por los químicos como simples, y especialmente los me-

---

(1) El peso atómico de un cuerpo está representado por la relacion de los pesos correspondientes á un volumen de vapor del tal cuerpo y á otro igual de hidrógeno, tomados en circunstancias determinadas, iguales para ambos. El orden de los pesos atómicos es, por lo tanto, el de las densidades de los vapores. (N. del T.)

tales preciosos, no se han encontrado aún, no quiere esto decir que no existan allí; porque este resultado puramente negativo puede explicarse por la densidad considerable de sus vapores, que por lo mismo se mantienen en regiones profundas é inaccesibles al análisis espectral.

En cuanto acabamos de decir, se ha supuesto que las sustancias contenidas en la fotosfera sólo pueden dar espectros continuos; pero es posible existan en ella cuerpos capaces de dar directamente rayas luminosas que no experimenten absorción ninguna, ya por la altura que alcance su vapor, ya porque sobre ellos no haya capa alguna más fría compuesta de la misma sustancia, capaz por lo tanto de absorber las ondas. Quizás á esta causa debamos atribuir la existencia de bandas y líneas más brillantes que las demás que se observan en ciertas regiones del espectro. Cerca del grupo  $b^{IV}$  del magnesio, y con una amplitud de onda igual á 516,55, aparece una, y varias en el amarillo, en el verde y en el violado. No nos es posible entrar en más pormenores sobre el asunto, y remitimos al lector á las numerosas comunicaciones que hemos dirigido al Instituto de Francia, que han sido insertas en las *Comptes rendus des seances de l'Academie des Sciences* en 68 y 69.

## § II. ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS MANCHAS SOLARES.

El análisis espectral ordinario nos dá á conocer el conjunto de radiaciones que emanan del Sol y atraviesan su atmósfera; pero hay motivo para preguntar-

se si todos los lugares del Sol emiten rayos iguales que den origen á espectros idénticos, porque parece en extremo difícil que superficie tan vasta sea perfectamente homogénea. Al hacerse esta pregunta, naturalmente se fija el pensamiento en las manchas, dudando si tales regiones, tan diferentes de las demás bajo otros puntos de vista, presentarán ó no tambien particularidades notables respecto á las radiaciones que emitan.

Para resolver esta duda, no basta dirigir el espectróscopo sencillamente hácia el Sol; es necesario analizar al pormenor las radiaciones procedentes de cada una de las partes del astro. A fin de hacerlo así, se recibe en el plano de la mira la imágen solar producida por el objetivo, y se hace caer sobre la abertura misma la parte que se desea examinar; pero como de ordinario es muy pequeña la imágen que forma un objetivo en su foco, no es posible examinarla por partes, y por lo tanto, conviene ampliarla cuanto sea posible: sin adoptar este medio, es muy difícil separar los distintos fenómenos, y por no haber empleado aumentos suficientes, muchas observaciones han fracasado. Nosotros hicimos uso del gran antejo ecuatorial de Merz, y colocamos á poca distancia del foco el objetivo acromático de un microscopio de Amici; obtuvimos así una imágen del Sol que, proyectada sobre el plano de la mira, habria tenido un diámetro de  $0^m,22$  á  $0^m,23$ . De esta manera adquirian las imágenes de las manchas una magnitud considerable, y como por fortuna hubo muchas durante los meses de Abril y Mayo de 1869, pudimos estudiar el asunto completamente, siguiendo con buen éxito las distintas fases

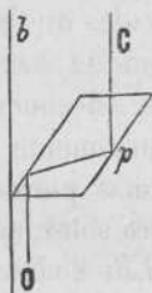
que presentan. Las imágenes de las manchas llegaron algunas veces á adquirir un diámetro de  $0^m01$ , de modo que, reduciendo el ancho de la abertura á  $0^m,002$  por medio del diafragma, se pudieron explorar sucesivamente las diversas partes del núcleo y la penumbra. Hicimos uso á más de prismas muy poderosos, cuyo número varió de tres á cinco. Las medidas se tomaron, ya mediante una escala graduada sobre cristal, ya adaptada al ocular, ya con auxilio de hilos micrométricos. En el trascurso de nuestro trabajo, todas las rayas fueron comparadas á las de Kirchhoff, pero cuidaremos ahora de referirlas también á las de Van der Willigen, que son más fáciles de reconocer. El S.<sup>r</sup> Donati, en Florencia, ha empleado este método de observacion recientemente, usando su espectróscopo de veinte y cinco prismas, y ha comprobado, de un modo completo, nuestras deducciones.

Hé aquí los resultados que hemos obtenido, y que tenemos la satisfaccion de haber visto confirmados, primero por Lockyer, despues por Young, de Dartmouth-College, y últimamente por el S.<sup>r</sup> Donati. El lector puede obtener más pormenores en nuestra Memoria sobre el espectro solar, inserta en las *Atti della Società italiana de XL di Modena*, série 3.<sup>a</sup> T. II, p. 4.

4.<sup>o</sup> Examinando con el espectróscopo todas las regiones del disco solar, siempre se encuentran las mismas rayas principales; en cuanto á las secundarias, no podemos afirmarlo de igual modo: en ciertos lugares desaparecen, pero esta desaparicion puede ser efecto de poseer mayor brillo estos lugares. Cerca del limbo son, sin embargo, muy considerables las variaciones: hay sistemas de líneas en extremo finas que,

percibiéndose difícilmente en el centro, son entonces muy aparentes, ofreciendo al propio tiempo un espectro indefinido, nebuloso, y de contornos indecisos. Las rayas del sodio son de las que se desvanecen de este modo. Para hacer una comparación rigurosa, es necesario yuxtaponer los espectros correspondientes á dos puntos distintos, y ver de este modo si las diferencias dependen sólo de la intensidad de la luz, ó si se deben á la posición y naturaleza de las rayas. Así ha procedido recientemente el astrónomo americano Hastings, que ha imaginado un aparato muy sencillo para obtener este resultado. Se coloca, cubriendo la mitad de la abertura de la mira, un prisma paralelepipedo  $p$  (fig.<sup>a</sup> 16); los rayos emanados del centro del

Fig. 16.



disco solar  $C$ , sufren dos reflexiones totales para entrar en el espectróscopo, mientras que los rayos procedentes del limbo  $b$  entran directamente por la otra mitad de la abertura. De este modo se yuxtaponen los dos espectros, y puede examinárselos reunidos en el campo del mismo anteojo. Excusado parece decir, que

las dimensiones del prisma deben ser calculadas según la magnitud de la imagen que produce el antejo objetivo del telespectróscopo. La intensidad de los rayos que atraviesan el prisma, disminuye tanto por la absorción como por las dos reflexiones que sufren; pero se dispone el aparato de modo que reciba los procedentes del centro del disco, y así esta disminución, en vez de perjudicar, favorece, porque permite obtener dos haces de igual intensidad.

Antes de hacer uso de este instrumento, habíamos hecho constar que los efectos observados no pueden producirse por la disminución de luz solamente. No es posible, pues, explicarlos más que por la influencia de la envolvente atmosférica que atraviesan los rayos, y que es más gruesa cerca de los bordes. Las rayas *D*, particularmente, se difunden de tal manera que es imposible desconocer el efecto de la absorción. Hay que convenir también en que, no siendo considerable esta absorción más que muy cerca del limbo, debe tener la capa absorbente un espesor relativamente pequeño.

2.º En la proximidad de las manchas, principalmente sobre las fáculas que las rodean, aparecen siempre poco oscuras las rayas del hidrógeno; á veces no se ven, y otras parecen invertidas. La *C* es, entre todas, la que sufre más variaciones; la *F* nunca se borra por completo, y parece acompañada de otra raya negra que no pertenece al hidrógeno. Las mismas particularidades ofrecen otras líneas, y más especialmente las del magnesio. Pronto veremos que este fenómeno es producido por inmensas erupciones de gases metálicos, entre los cuales domina el hidrógeno. Es-

tas masas gaseosas, si estuviesen aisladas, darian origen á líneas brillantes; pero estando inundadas por la luz solar, llegan á veces á neutralizar la accion de la atmósfera absorbente, y cuando su luz es bastante viva, manifiestan su existencia por medio de rayas brillantes.

Cuando una mancha está muy cerca del limbo, con frecuencia se vé á las rayas brillantes del hidrógeno invadir el disco solar y prolongarse hasta el núcleo oscuro, donde cesan bruscamente. Sin embargo, si la mancha está atravesada por puentes, ó tiene el núcleo cubierto de velos rojos, no se vé entonces invertida la raya *C*, y en caso de verse, aparece muy disminuida.

3.º El espectro solar procedente del interior de las manchas, aparece profundamente modificado. La armonía general no es ya la misma, y la relacion de las intensidades luminosas está cambiada completamente. Ciertas líneas, apenas visibles de ordinario, son muy negras y muy gruesas; otras aparecen desvanecidas por los lados, y algunas permanecen sin modificación alguna. Los espectros de las manchas pueden ser extraordinariamente complejos.

Es evidente que, modificaciones tan profundas y de tal importancia, no pueden atribuirse á una simple disminucion de la intensidad luminosa, y que existe una absorcion especial, electiva, ejercida por ciertas sustancias que se hallan en el interior de estas manchas. Vamos á intentar el análisis de estos fenómenos.

4.º Se distinguen en el espectro solar varios sistemas de líneas muy finas, equidistantes unos de

otros, designados, á causa del aspecto que presentan, con el nombre de *persianas*. Estas rayas aparecen nebulosas y difusas en las manchas, y pueden observarse cerca de las líneas 6, 7, 8, 9, 14 y 15 de Van der Willigen (711,5, 749,5, 864, 1006,8 y 1204 de Kirchhoff). En la region comprendida entre C y D, las rayas de estos sistemas, bastante distintas, pero de apariencia nebulosa, son de intensidad creciente, ó creciente y decreciente pasando por un máximo. En la region del verde, hay muchas que aparecen muy oscuras en las manchas, mientras que apenas son visibles en el resto del disco. Estos sistemas no son creaciones nuevas; corresponden de ordinario á rayas muy débiles indicadas por Kirchhoff, pero en las manchas se desarrollan de un modo extraordinario, constituyendo así un fenómeno bien marcado y completamente característico. Aun son desconocidas las sustancias que producen las persianas; ciertamente son gaseosas, y parece probable que el vapor de agua tenga en el fenómeno alguna parte, porque se ha visto que las nieblas y ciertas nubes ténues producen el mismo efecto al pasar por delante del Sol.

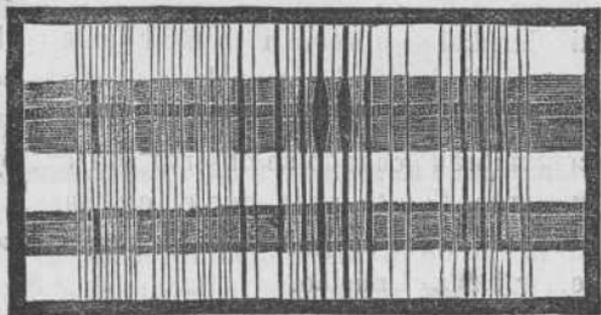
Disminuyendo la intensidad de la luz solar por medio de diafragmas en el antejo, no hemos podido producir fenómenos semejantes á los que acabamos de describir, por lo que creemos imposible explicarlos por el solo hecho de la disminucion de la luz; es más, tal explicacion nos pareceria inconciliable con la existencia de las bandas brillantes que se observan en medio del fondo oscuro. El brillo de estas bandas es puramente relativo, y resulta de que sobre los ra-

yos correspondientes no ha actuado la absorcion de igual manera que sobre los inmediatos. Debemos consignar que ciertas manchas insignificantes al parecer, dan á veces espectros que indican una absorcion poderosa; pero en general, debe esperarse mejor esto de las manchas circulares, profundas y bien negras en el centro.

5.º Ciertas rayas metálicas se dilatan notablemente, conservando su limpieza. Es fácil comprobar el hecho sobre las rayas 10, 11 y 12 de Van der Willigen (864, 877 y 895 de Kirchoff). En el verde hay algunas que, cuando las manchas son redondas y profundas, adquieren un grueso tres ó cuatro veces mayor. Nosotros hemos observado el fenómeno sobre gran número de lineas, cuya enumeracion seria demasiado larga; sólo indicaremos aquí las del hierro y el calcio, en las que el fenómeno es más aparente.

6.º Las rayas del sodio se dilatan tambien, pero á diferencia de las demás, se hacen difusas y verdaderamente nebulosas. En la fig.<sup>a</sup> 17 se representa un

Fig 17.



espectro que atraviesa dos manchas. Por los experimentos de Cailletet se ha probado que las rayas del

sodio se hacen nebulosas y difusas cuando la presión del vapor es considerable, lo cual dá derecho á admitir que la dilatación referida es efecto de la gran densidad que posee el vapor. Otros metales, además del sodio, ofrecen igual fenómeno: en el verde, sobre todo entre b y F, hay líneas que se esfuman; pero en el sodio es donde se manifiesta con más poder, hasta el punto de desaparecer completamente, en algunos casos, el intervalo que separa á dos líneas consecutivas.

7.º Las rayas se ensanchan progresivamente desde el borde exterior de la penumbra hasta el núcleo, de manera que terminan en puntas agudas. Debe inferirse de aquí que la capa absorbente vá aumentando de espesor desde el contorno exterior de la penumbra hasta la proximidad del núcleo. Este fenómeno nos trae á la memoria una cosa que con frecuencia hemos tenido ocasión de notar al hacer nuestras observaciones, y es que, cuando se hace uso de ampliaciones grandes, no aparece bien marcada la línea divisoria entre la fotosfera y la penumbra, como ocurre con la que separa á ésta del núcleo. Esta particularidad se observa más fácilmente en las fotografías ampliadas de las manchas, donde el contorno exterior no presenta nunca esa limpieza á que se está acostumbrado cuando se observa con anteojos de poco aumento. Consta, pues, que el espesor de la capa absorbente crece progresivamente desde el contorno exterior hasta el núcleo.

8.º A más de estas modificaciones características que experimentan las rayas, se vé variar también la intensidad luminosa de ciertas partes del espectro,

sobre todo en el rojo, el amarillo y el verde. Se forman bandas sombrías, principalmente entre las líneas B y C, y en las inmediaciones de la D. Cerca de la raya 16 W. (1207 K.), se forma una banda notable, y otra en las inmediaciones de la 8 W. (719,5 y 850 K.) Hay también gran número de bandas muy finas entre 17 y 20 W. (1280 y 1421,6 K.) Todas estas variaciones de intensidad son fáciles de reconocer, pero muy difíciles de valuar, porque no aparecen bien definidas. Esto no obstante, el fenómeno es incontestable é independiente de la dilatación de las rayas negras, porque el espacio comprendido entre 9 y 13 W. (850 y 895 K.), permanece brillante á pesar de la dilatación de las líneas del calcio y del hierro. Hagamos constar de paso que estas bandas tienen gran semejanza con las que se observan en los espectros de las estrellas rojas.

9.º A pesar de ser tan considerable la absorción en el interior de las manchas, hay rayas que no sufren la menor variación en su intensidad, continuando perfectamente brillantes, y se hallan en lugares donde Kirchhoff no coloca línea alguna, ó sea entre 14 y 15, 16 y 17, 17 y 18, 19 y 20, 21 y 22 de Van der Willigen. En el espectro de Kirchhoff pueden reconocerse perfectamente estos lugares por la carencia de toda raya secundaria, y corresponden á las posiciones siguientes:

De 1207,2 á 1217,5	}	98,4
De 1306,5 á 1315,9		123,
De 1430,5 á 1438,9		102,7
De 1533,3 á 1541,6		120,9
De 1762,1 á 1771,5		113,0
De 1876,8 á 1884,5		

Por el cuadro anterior se vé que estas bandas están próximamente equidistantes, y que su anchura corresponde á unos diez grados de la escala de Kirchhoff. El espectro de las estrellas rojas presenta, en la region del verde, rayas en un todo semejantes á las que acabamos de describir; parece, pues, que si toda la superficie solar estuviese recubierta de una atmósfera gruesa, tal como la existente en el fondo de las manchas, su espectro sería semejante al de las estrellas rojas.

40.º Entre la absorcion producida en las manchas y la que se observa cuando el Sol está cerca del horizonte, hay gran analogía; pero no se alteran las mismas líneas en ambos casos. Así, por ejemplo, la raya C<sup>6</sup> de Brewster engruesa mucho cuando el Sol está cerca del horizonte, y no experimenta alteracion en las manchas. Siguiendo atentamente las variaciones que experimenta esta línea cerca del horizonte, hemos visto que las *persianas* se forman en ambos lados de la C<sup>6</sup>, estando situadas las rayas telúricas hácia la C y las solares en la parte de la D, por lo que no deben tener el mismo origen.

Las rayas que se forman cerca de la 7 W. (719 K.),

son más visibles cerca de las manchas que en las manchas mismas. La banda situada más allá de la línea D, que Brewster designa por la letra  $\delta$ , aunque producida por la atmósfera terrestre, existe también independientemente de ella. La absorción atmosférica puede, sin embargo, reforzarla, porque cuando el Sol está cerca del horizonte, puede observarse sobre los núcleos, no siendo aún visible sobre ningún otro punto del disco. También creemos que las rayas nebulosas comprendidas entre 7 y 8 W. (749 K.), son debidas al vapor de agua, porque se marcan mucho más cuando el Sol está muy poco elevado; y además, el paso de un simple cirrus por delante del disco basta para reforzarlas.

No obstante la alta temperatura del Sol, no dudamos en admitir la existencia del vapor de agua en su atmósfera, porque cerca de su limbo se notan los mismos matices y las mismas bandas difusas que se observan cuando el aire está cargado de humedad, ó en el momento en que una nube traslúcida pasa por delante del disco solar.

### § III. CONSECUENCIAS QUE SE DESPRENDEN DE LOS HECHOS EXPUESTOS.

Los pormenores en que hemos entrado, no son más que una pequeña muestra del inmenso trabajo que aún resta por hacer para completar el estudio espectral de la superficie del Sol. El examen hecho, por más que sea imperfecto, nos ha suministrado al-

gunos principios fecundos de que vamos á sacar gran número de consecuencias.

Las manchas son unas regiones caracterizadas por un aumento considerable en el poder absorbente, y el refuerzo que reciben las rayas en el contorno del disco, depende de la misma causa. Hay, sin embargo, gran diferencia entre estos órdenes de fenómenos; pues, mientras en las inmediaciones del limbo parece deberse la absorcion á verdaderos gases, en las manchas se produce principalmente por la accion de los vapores metálicos. Cuando son superficiales las manchas, solamente engruesan las rayas D, que corresponden al sodio; si son de profundidad media, se verá como tambien se refuerzan las del calcio, sin modificarse empero las del hierro, y sólo se ensanchan estas últimas, aunque siempre ménos que las anteriores, cuando la mancha aparece muy negra y, por lo tanto, muy profunda al parecer. Segun esto, debe estar llena la region de las manchas de vapores metálicos bastante densos, tales como son los del sodio, el calcio, el hierro, etc. Las rayas del sodio y el calcio, metales cuyo peso atómico es pequeño, son las que primero se dilatan, mientras que las de otros, el plomo, el cobalto, el cromo, por ejemplo, no presentan alteracion alguna: hecho que nosotros atribuimos á la mayor densidad de sus vapores, que los obliga á permanecer en capas más profundas. Y sin duda esta es la causa que ha impedido reconocer la existencia de los metales preciosos, cuyos vapores son aún más densos. Reflexionando sobre estos hechos, hay motivo para creer que los vapores metálicos están en las manchas colocados por orden de densidad: los más

pesados abajo, los más ligeros arriba, y sobre todos el hidrógeno, formando una capa continua y envolviendo el globo solar entero.

En el espectro de las manchas no hay ninguna raya que no se observe en el resto de la fotosfera; sólo si aparecen más ó ménos reforzadas, por lo que no debe haber en ella sustancia alguna nueva, indicando el refuerzo solamente más densidad en los vapores. Además, sabemos que en las manchas se disuelve constantemente la materia fotosférica, y si hubiera diferencia en las sustancias de ambos elementos, la absorcion electiva deberia variar al mezclarse.

Esta conclusion no varia si, en vez de considerar la fotosfera como una niebla que se disuelve en las manchas, admitiésemos que está formada por una masa gaseosa, sometida á una presion bastante para que produjera un espectro continuo. En este caso, al mezclarse el gas incandescente con la masa de vapor más frio, que constituye el núcleo de la mancha, bajaría de temperatura, se haría ménos luminoso, por lo tanto, oscuro relativamente, y produciría las rayas de absorcion que le correspondiesen. Ahora bien, como no hay variacion en las rayas, debemos admitir que la fotosfera se compone de las mismas sustancias que la capa gaseosa que la rodea.

De los hechos expuestos podemos tambien venir en conocimiento de que, la profundidad de las manchas no puede servir para medir el espesor de la fotosfera, como se había creído, hasta en estos últimos tiempos. Esta profundidad no es más que el grueso de la capa densa y absorbente que ocupa la parte inferior de las manchas. En la Tierra vemos cómo los ga-

ses más pesados que el aire, forman en ciertas cavidades una atmósfera irrespirable; ejemplo de esto, el ácido carbónico en la gruta del perro; pues del mismo modo, los gases metálicos, no obstante su poder difusivo, ocupan en el Sol el fondo de las cavidades que constituyen las manchas, sin que por esto dejen de mezclarse un poco con el resto de la atmósfera, como vemos ocurre en el aire que nos rodea con el ácido carbónico y el vapor de agua.

Por último, la parte oscura que ocupa el interior de las manchas, no puede ser explicada, ni por un núcleo sombrío que esté en el centro del globo solar, ni por escorias, ni por otro cualquier cuerpo sólido que flote sobre un líquido. Esta oscuridad se debe á masas *transparentes* y muy *absorbentes*, formadas de vapores metálicos que, en razon á su considerable densidad, ocupan los puntos más bajos de las desigualdades de la superficie luminosa, y llenan los huecos é intersticios que á veces dejan entre si las masas que nos alumbran.

Con lo expuesto, hemos completado lo que hemos dicho en los capítulos precedentes sobre la estructura interior de las manchas, que consideramos como masas oscuras invadidas por la materia luminosa; el espectróscopo ha confirmado esta opinion, y nos ha hecho saber que las masas oscuras son gaseosas.

No dejará de ser útil resumir aquí lo que hemos dicho acerca de las cuatro afirmaciones que desde ahora debemos considerar como probadas: 1.º, la materia oscura y la luminosa son de igual naturaleza; 2.º, el núcleo oscuro de las manchas no puede ser un cuerpo sólido: resulta de la absorcion que producen

los vapores en la parte central de la mancha, á donde no pueden llegar las corrientes luminosas; 3.º, la materia brillante penetra en la masa absorbente, se disuelve en ella y cesa de ser luminosa; 4.º, la masa oscura no puede resistir esta accion continua, y el núcleo se va recubriendo progresivamente de la materia luminosa que le rodea. La desaparicion de una mancha podrá retardarse por una renovacion de las causas que acumulan la materia oscura, pero no pudiendo reproducirse el fenómeno indefinidamente, la mancha desaparecerá falta de alimento.

#### § IV. RESPUESTA Á UNA OBJECION.

¿Cómo es que no observamos en el Sol ni el oxígeno, ni el ázoe, ni ninguno de los demás gases que deben existir en él como en la Tierra? Este problema ha sido planteado y no es fácil resolverlo. Desde luego, estos gases podrán existir en la atmósfera solar sin que nos sea dado reconocerlos, porque á la temperatura á que se encuentran, no presentan las mismas rayas que ofrecen á las temperaturas á que los estudiamos ordinariamente en nuestros laboratorios. Realmente tienen los gases varios espectros, segun la temperatura á que se hallan y las combinaciones que forman. Que se tome un tubo de Geissler formado en dos partes cuyos diámetros sean uno capilar y otro considerablemente mayor, y haciendo pasar la

corriente, se observarán dos espectros distintos, uno en cada parte, no obstante contener ámbas el mismo gas. El hecho puede observarse con el bromo, el cloro y el hidrógeno. El ázoe ofrece, segun las circunstancias, tres espectros perfectamente definidos. Pero aun hay más, algunas veces, y á temperaturas intermedias, dos espectros distintos se superponen.

Los experimentos de Chautard nos han hecho saber que, cuando se someten los tubos de Geissler á la accion de imanes poderosos, dan espectros distintos de los que darian sin esta circunstancia. En este experimento quizás la accion del magnetismo se reduzca á producir indirectamente un cambio de temperatura. El gas encerrado en el tubo puede ser magnético ó diamagnético, y así será atraído ó rechazado por el iman. Esta accion atractiva ó repulsiva comprime el gas contra la pared del tubo, y haciéndose la seccion menor, el gas se calienta más por el paso de la corriente, y el espectro por lo tanto se modifica. (1)

No ignoramos que estas diferencias se atribuyen á

---

(1) Si la causa que el autor atribuye al fenómeno es cierta, sería fácil comprobarla. Para que, por razon del magnetismo, pueda considerarse variada la seccion, será preciso suponer un aumento de densidad en algun punto, que equivalga á la variacion supuesta, porque el tubo no crece ni mengua; y si en algun lugar crece la densidad, en otro debe disminuir, y esta disminucion ejercer su influencia sobre el espectro. Observando, pues, cuidadosamente la luz emanada de cada uno de los puntos del tubo, podría examinarse la asercion.

(N. del T.)

impurezas de los gases ó á causas desconocidas; pero estas objeciones no nos parecen aplicables á fenómenos observados en muy diversas circunstancias, y nosotros tenemos por cierto que tanto los gases como los vapores metálicos ofrecen espectros distintos según sus temperaturas.

Los espectros de primer orden son en general poco brillantes, y por lo tanto no se destacarían bastante sobre el fondo luminoso del Sol. Además, si se exceptúa el hidrógeno, se necesita una temperatura muy elevada para obtener el espectro de segundo orden, único que presenta rayas vivas comparables á las que producen los vapores metálicos: la chispa eléctrica, que basta para producir el espectro de estos últimos, raras veces es capaz de comunicar á los gases una temperatura bastante elevada para que den un espectro brillante.

Se necesita, pues, que el gas esté á muy alta temperatura para que podamos reconocer su presencia en el Sol, y es posible que la envoltura exterior no tenga el calor necesario para dar origen á los espectros de segundo orden. El mismo hidrógeno dá en el Sol un espectro que corresponde á una temperatura moderada; pues las rayas terminadas en punta aguda que en su espectro se observan, indican que experimenta un enfriamiento bien marcado en las capas lejanas del centro y en las protuberancias. En este caso, reducida la absorción á los espectros de primer orden, origina solamente bandas más ó menos difusas, que no es posible distinguir de la multitud de rayas correspondientes á sustancias desconocidas.

No puede decirse, sin embargo, que falte por com-

pleto el oxígeno en la atmósfera solar; porque nosotros hemos reconocido las señales del vapor de agua en las manchas, y por lo tanto del oxígeno. Es posible que en las regiones más elevadas se enfrie el hidrógeno lo bastante para poder combinarse con el oxígeno, combinación realizable en una temperatura bastante mayor de 4.500 grados, y que el vapor de agua, así formado, descienda y sea descompuesto por disociación en regiones más bajas, originándose de aquí una verdadera circulación. También es posible que se encuentre el ázoe en la atmósfera solar y que sea el que dé origen á las líneas oscuras que rodean á la raya C en el exterior del disco, puesto que esta raya debe corresponderle, á no ser que provenga del carbono. Quizás deba atribuirse al ázoe gran número de persianas que se observan en el interior de las manchas.

La espectrometría es una ciencia naciente, y es preciso no sacar consecuencias prematuras de sus indicaciones.

Zöllner ha dado otra solución hipotética, que vamos á exponer en pocas palabras. Basándose en los principios de la teoría mecánica del calor, y teniendo en cuenta la elevada temperatura de la superficie solar, los pesos específicos y demás propiedades de los distintos gases, ha llegado á reconocer, por un procedimiento de cálculo, que una atmósfera de hidrógeno capaz de producir una presión de 180 milímetros, puede ser reemplazada, bajo este punto de vista, por una capa de oxígeno ó ázoe en extremo delgada; y como estos gases son muy poco absorbentes, sería muy difícil percibir esta delgada capa, cuya acción es

casi nula comparada con la correspondiente á los vapores metálicos. (1)

Como vemos, la dificultad que hay para formarse idea del estado físico del Sol, consiste en la carencia de datos acerca de la temperatura de este astro, y de la presión que se desarrolla en su atmósfera. Si consiguiéramos determinar estos elementos, podríamos decidir de plano si debemos considerar la fotosfera como un gas incandescente, ó como una niebla luminosa; pero, por ahora, no tenemos datos para juzgar del asunto.

Para hacer palpables las dificultades que entraña esta cuestión, propongamos como ejemplo un problema sencillo. Se desea saber qué altura debe tener una capa de materia solar, para producir una presión de 4.070,000 atmósferas. (Elegimos esta presión porque es la que, según Zöllner, reduciría el hidrógeno al estado líquido). (2) Si la capa de que se trata tuviese

---

(1) Los valores dados por Zöllner son: para el azoe  $\frac{303^{\text{mm}}}{10^{78}}$  y para el oxígeno,  $\frac{124^{\text{mm}}}{10^{88}}$  (Véase *Nuovo Cimento*, Agosto 1870, y *Philosophical Magazine*, Noviembre de 1870.)

(2) Esta liquefacción es hipotética, porque Cailletet elevando la presión hasta 800 atmósferas, no ha notado que la ley de la compresibilidad se separe de la correspondiente á los gases perfectos. (a)

(a) Hr. Natterer, profesor de Física en Viena, ha sometido el hidrógeno á la presión de 2790 atmósferas, sin que tampoco haya variado la ley de compresibilidad en el sentido que corresponde á la proximidad de la liquefacción. Cailletet y Pictet han conseguido liquidar

en toda su extension la densidad media del Sol, 1,46, su altura seria de 989010 metros, y vista desde la Tierra, subtenderia un ángulo de  $4''$ ,383, magnitud muy inferior á la profundidad de las manchas. Ya hemos dado á conocer otros ejemplos de estos resultados, que nos parecen tan extraordinarios, porque involuntariamente los comparamos con los fenómenos que pasan en nuestro pequeño planeta.

Es el Sol un mundo tan distinto del que habitamos, que con razon pudiera calificarse de temerario el empeño que ponemos en estudiarlo. Mas no por esto debemos desalentarnos; desde hace algun tiempo ha progresado mucho la ciencia, y los que nos sucedan no dejarán de hacerla avanzar áun más.

---

el hidrógeno á la temperatura de  $-140^{\circ}$  centígrados, bajo una presion de ménos de 700 atmósferas. Segun las ideas teóricas del fisico últimamente citado, la liquefaccion es imposible á ciertas temperaturas, sea cualquiera la presion que se desarrolle. Véase *Archive des Sciences physiques et naturelles*, LXI. (N. del T).

---

## LIBRO CUARTO.

### Los eclipses.

---

#### CAPÍTULO PRIMERO.

Fenómenos que se observan durante los eclipses.

##### § I. OJEADA HISTÓRICA.

Los eclipses de Sol, que en algun tiempo fueron objeto de terror entre las gentes supersticiosas é ignorantes, han venido á ser en el dia para la ciencia manantial de enseñanzas valiosas respecto á la constitucion de la atmósfera solar. Nō iluminada la nuestra entōnces por el astro del dia, nos permite estudiar ciertos fenómenos curiosos, instructivos y utilísimos al fin que nos hemos propuesto. No podemos, pues, dejar de estudiar este punto, y hemos de examinarlo en todos sus pormenores, tan complejos al par que interesantes. Pero ántes de comenzar realmente, expongamos algunas nociones generales, absolutamente necesarias.

Siempre se han observado con solicitud y descri-

to con entusiasmo los eclipses de Sol; pero no hace más de un tercio de siglo que se los estudia racionalmente. La perfeccion de las tablas solares y lunares, y la exactitud de los datos geográficos, ha permitido desde esa fecha á los astrónomos calcular de antemano rigurosamente la marcha del cono de sombra que proyecta la Luna sobre nuestro planeta, su anchura exacta y la duracion precisa del fenómeno, lo cual ha hecho posible ir á colocarse con seguridad en los puntos convenientes para la observacion, sin riesgo de perder el viaje.

Las observaciones en los eclipses se reducian en otro tiempo á determinar exactamente el momento de la ocultacion, y los resultados que se hallaban servian para corregir las tablas del Sol y de la Luna, y para conocer con más certeza la relacion de los diámetros de ambos astros. Como estos cálculos pueden hacerse bastante bien usando los elementos obtenidos en los eclipses parciales, no habia interés alguno especial en emprender largas expediciones para situarse en la zona de la totalidad. Pero hoy dia en que el objeto principal de estudio en estos fenómenos es la parte propia de la fisica solar, investigable gracias á los descubrimientos recientes y á la perfeccion de los instrumentos, es necesario colocarse en la zona privilegiada, en que la ocultacion es total.

En el año de 1842 fijaron por vez primera las personas doctas su atencion en este asunto; se observaron fenómenos inesperados è inauditos, que fueron como una revelacion: un horizonte nuevo pareció descubrirse en el mundo de la ciencia, y no se perdonó medio alguno para explorarlo. Desde esta época

gran número de astrónomos emprendieron simultáneamente viajes, algunos bien largos, para observar cada uno de los eclipses que iban ocurriendo. Estos viajes han producido notables ventajas. Desde luego, multiplicando los puntos de observacion y escogiéndolos convenientemente, se evitan los contratiempos que el estado del cielo puede hacer sufrir á un observador aislado; luego, se puede distinguir con exactitud lo que es accidental en el fenómeno y lo que es independiente de los observadores y de las circunstancias de la observacion; en fin, mediante una inteligente division del trabajo, pueden observarse estos fenómenos tan completamente como se desea, no obstante su corta duracion: por todo esto, ha bastado un muy corto número de eclipses para hacer avanzar rápidamente el estudio de la constitucion fisica del Sol. Indiquemos los principales.

1.º Debemos contar en primer lugar el de 1842, que fué observado en Francia por los astrónomos franceses; en Italia por los ingleses é italianos, y en Austria por los alemanes. Arago discutió las observaciones en una notable Memoria, inserta en el *Annuaire du Bureau des Longitudes* 1846, y Baily dió una admirable descripcion en las *Memoirs of the R. Astr. Society*, t. XV, 1846.

2.º El eclipse de 1851, observado en Suecia por los ingleses, los alemanes y los rusos: una preciosa coleccion de observaciones se publicó en el tomo XXI de las Memorias de la Sociedad Astronómica de Londres.

3.º Tambien América ha dado su contingente. El eclipse de 30 de Octubre de 1853 fué observado por

Moesta; el de 7 de Setiembre de 1858 por Gillis y por los brasileños; el de 1867 por el P. Cappelletti; el astrónomo Moesta y otros. Estas observaciones sirvieron para asegurar la generalidad de ciertos fenómenos, que por este carácter adquirieron mucha mayor importancia.

4.º En 1860, los más hábiles astrónomos de Europa se dieron cita en España, y el gran número de observaciones que se hicieron, sobre todo las fotografías que se sacaron en dos lugares distintos, hicieron de este eclipse uno de los más importantes y más fecundos en resultados.

5.º En el observado en 18 de Agosto de 1868 se sobrepujo á todos los éxitos anteriores. Ofrecia el eclipse la favorable circunstancia de durar seis minutos y veinte segundos, casi la duracion máxima posible, y por ello los Gobiernos se decidieron á hacer gastos de consideracion, y los astrónomos se animaron á sufrir las fatigas de largos y rudos viajes á fin de irse á instalar en países apenas civilizados. Estos sacrificios recibieron su legitima recompensa, como pronto veremos al estudiar los descubrimientos fecundos que produjeron, especialmente bajo el punto de vista de los estudios espectrales.

6.º El eclipse del 7 de Agosto de 1869 fué observado en la América del Norte, principalmente por los americanos, y sus observaciones, tan llenas de interés para la ciencia, han confirmado y generalizado los descubrimientos hechos en 1860 por la fotografia, y en 1868 por el análisis espectral.

7.º El eclipse del 22 de Diciembre de 1870, visible en España, en Sicilia, en Africa y en gran parte

de la costa del Mediterráneo, debía rivalizar con el de 1860 por el número de las estaciones y por la comodidad de instalarlas en medio del mundo civilizado: así se organizaron gran número de expediciones. Los italianos se instalaron en Augusta, en Catania y en Reggio, Calábria; los ingleses ocuparon á Siracusa, Catania, Augusta, Cádiz y Oran; los americanos se situaron en Siracusa y en Jerez; Francia, á pesar de la guerra que la desolaba, envió al África á Jannsen, y el animoso astrónomo tuvo el valor de salir de París en globo, llevando consigo todos sus instrumentos; finalmente, los españoles y los portugueses debían observar sobre su propio territorio.

Todos los instrumentos aprestados eran de primer orden: magníficos ecuatoriales movidos mecánicamente, espectróscopos, polariscópos, grandes aparatos fotográficos, etc. Instrumentos y observadores fueron trasportados en barcos de guerra á costa de los gobiernos: gran número de aficionados se distribuyeron entre los puntos más importantes de la zona privilegiada. Por desgracia la estación fué poco favorable: una borrasca invadió el Mediterráneo en el momento decisivo, y sólo unos pocos pudieron hacer observaciones importantes, pero poco seguras, por el mal estado del cielo.

8.º Este fracaso tuvo por fortuna su compensación en el año siguiente. El eclipse del 12 de Diciembre de 1871 debía ser visible en la India, y no obstante la gran distancia que era preciso recorrer, fué estudiado por gran número de hábiles observadores. Estos últimos esfuerzos alcanzaron el éxito más brillante, y los trabajos de los astrónomos y la generosi-

dad de los Gobiernos europeos fueron ámpliamente recompensados. Este buen éxito es tanto más estimable, cuanto que han de pasar bastantes años ántes que volvamos á tener otra ocasion tan propicia.

En la exposicion que vamos á hacer, nos será imposible seguir paso á paso cada uno de los relatos que la ciencia posee, por lo que sólo tomaremos de ellos lo útil para nuestro objeto, apoyándonos principalmente, en lo que concierne á los fenómenos generales, sobre lo que hemos observado personalmente en los eclipses de 1860 y 1870. En 1860 nos instalamos en condiciones muy favorables en el *Desierto de las Palmas*, sobre la cima del monte S.<sup>a</sup> Miguel, á 725 metros sobre el nivel del mar, en un pico aislado desde donde descubrimos un extenso y magnífico horizonte, presentando el cielo una pureza admirable que facilitó en gran manera nuestras observaciones. Respecto á los pormenores que no pueden tener aquí cabida, remitimos al lector á las Memorias de nuestro Observatorio, año de 1863, y á las numerosas publicaciones de la época; indicamos particularmente la bella descripcion, que á menudo citaremos, hecha por la Rue, y que se encuentra en *The Philosophical Transactions*, año de 1862.

Respecto á los eclipses más recientes, puede el lector consultar las relaciones de los americanos, publicadas por Sands y por los periódicos científicos de 1871 y 1872.

Á más de usar de nuestras propias observaciones, recurriremos también á las comunicaciones orales que nos fueron hechas por gran número de personas doctas, con quienes estuvimos en relacion durante aque-

llas memorables circunstancias. Al hacerlo así, no nos mueve el deseo de satisfacer puerilmente nuestra vanidad, sino el empeño de dar más autoridad á nuestra palabra y más verdad á nuestras descripciones.

## § II. FENÓMENOS GENERALES QUE SE OBSERVAN EN UN ECLIPSE TOTAL.

Un eclipse no comienza á ofrecer verdadero interés hasta el momento en que la Luna cubre el centro del Sol. Entonces comienza la luz á disminuir de un modo sensible, y cuando se acerca el momento de la totalidad, la disminucion es tan rápida que tiene algo de aterradora. Lo que entonces llama sobre todo la atencion, no es la minoracion de la luz, sino el cambio de color de los objetos. Todo aparece triste, sombrío y como amenazador. El paisaje más verde se cubre de un tinte gris; en las regiones altas, próximas al Sol, el cielo toma el color de plomo y el horizonte se tiñe de amarillo verdoso. Los rostros se cubren de una palidez cadavérica, como la que produce la llama del alcohol saturado de cloruro de sodio, y esté matiz amarillo y, sobre todo, la disminucion de la temperatura, parecen indicar una disminucion en el poder vital de la naturaleza.

Al mismo tiempo, un silencio general reina en la atmósfera: los pajarillos desaparecen, los insectos se ocultan, y todo parece presagiar un inminente y terrible desastre. Se concibe muy bien, dice Forbes, que los pueblos ignorantes se sientan sobrecogidos de un terror inmenso, viéndo desaparecer el astro del dia, y

que se figuren asistir al comienzo de una noche eterna.

La historia nos muestra el terror que en tales circunstancias experimentaron hasta los pueblos más civilizados de la antigüedad. Tal fué la impresión manifiesta la por el gobernador de la Acaya á Apollonius de Thyana (1). Según el padre Faura, durante el eclipse de 1868, se arrojaban llenos de terror los chinos á las embarcaciones huyendo del desastre que esperaban, sin que bastase á tranquilizarlos la presencia de los astrónomos que estaban allí con sus instrumentos aparejados para hacer observaciones.

Ciertas circunstancias secundarias, que de ordinario carecen de importancia, contribuyen á veces singularmente á dar á estas impresiones algo de abrumador. Así, en 1842, una nube que se extendía á corta distancia del Sol, figuraba á la vista de Airy como una masa enorme que se precipitára sobre la Tierra, con una velocidad aterradora.

Todo lo que los observadores están de acuerdo al describir estas impresiones. Nosotros mismos, aunque mejor preparados que nadie, nos sentimos sobrecogidos, y digámoslo, poseídos de un involuntario pavor, teniendo que recurrir á todo el poder de nuestra voluntad para recobrar el dominio sobre nuestras facultades á la vista del imponente fenómeno.

Todos los observadores dan cuenta en sus relatos de las impresiones que han experimentado en el primer eclipse que han visto. Nuestra emoción fué menor en el segundo que observamos, y nos parece conveniente que en estas delicadas operaciones no se

---

(1) Philostrato, *Vida de Apolonio*.

encuentre el observador por primera vez en presencia de tan imponente espectáculo. Estas impresiones dependen, sin embargo, mucho de las circunstancias: cuando el cielo está claro, sin nubes ni nada que pueda distraer la atención, son mucho más fuertes.

Cuando está el observador situado ventajosamente, le es fácil seguir la marcha de la sombra total, que avanza como una tempestad sombría y amenazadora. Desde lo alto del monte de San Miguel vimos la columna oscura invadir el llano, mucho más rápidamente que pudiera hacerlo una tempestad, y con una velocidad análoga á la de una locomotora lanzada á todo vapor.

El capitán Pistoia vió en Augusta, 1870, adelantarse la sombra y atravesar con la rapidez del relámpago el cielo cubierto de bruma. Marchisio, desde lo alto del faro del cabo dell'Armi, en Calábria, la vió venir del Etna y atravesar la mar con asombrosa rapidez. Parece que este movimiento es más sorprendente cuando el cielo está brumoso, porque entonces el borde del cono de sombra se recorta más claramente.

En este instante, momentos ántes de la ocultación, es cuando se siente uno sorprendido por el solemne silencio que domina en la naturaleza durante esta brevísima noche. En el *Desierto de las Palmas*, en España, estábamos rodeados de una multitud curiosa y locuaz, cuya incesante charla nos habia molestado no poco durante todo el día; pero cuando se acercó el momento solemne, todo quedó en silencio, y pudimos contar los golpes de nuestro cronómetro, como lo hubiéramos podido hacer á media noche en la soledad

de un observatorio. Toda la atención y todos los ojos estaban fijos sobre el estrecho filete de Sol que desaparecía.

En estos últimos instantes se oculta el Sol con una rapidez sorprendente: pronto queda reducido á un simple filete terminado en puntas muy agudas; las prominencias del contorno lunar lo dividen á veces en varias partes, y por fin desaparece.

Inmediatamente cambia la escena de una manera súbita y completa. En medio de un cielo color de plomo se destaca un disco completamente negro, rodeado de una magnífica gloria de rayos argentados, entre los que centellean haces de llamas color de rosa. Este espectáculo es al par terrible y sublime. Para hacerlo comprender mejor, transcribiremos simplemente la ingénuo descripción que hizo de sus impresiones el astrónomo inglés Baily en el eclipse de 1842, época en que los astrónomos estaban ménos familiarizados con este fenómeno.

«Estaba, dice, ocupado en contar las oscilaciones de mi cronómetro, á fin de marcar el instante preciso de la desaparición total, reinando un profundo silencio en medio de la multitud que se agolpaba en las calles, plazas y ventanas, preocupada por completo con el espectáculo que contemplaba.

De repente desapareció el último rayo; me ensordeció una explosión de aplausos y de gritos (viva), que estallaron entre la inmensa multitud. Todas mis fibras se electrizaron, y un estremecimiento me sobrecogió. Miré al Sol, y vi ante mí el espectáculo más arrebatador que puede crear la fantasía. El astro del día había sido reemplazado por un disco negro, negro

como la pez, rodeado de una gloria brillante, análoga á la que representan alrededor de las cabezas de los santos.

»A su vista quedé suspenso de admiracion; perdi una considerable parte de estos preciosos momentos, olvida lo casi del objeto de mi viaje. Esperaba eiertamente, segun las descripciones que habia leido, ver cierta luz alrededor del Sol, una luz débil y crepuscular; mas lo que veia era una aureola esplendente, cuyo brillo, muy vivo junto al disco, iba disminuyendo gradualmente y desaparecia á una distancia igual próximamente al diámetro de la Luna. No habia previsto nada semejante.

»Pronto me repuse de mi asombro; apliqué la vista al antejo, despues de haber quitado el vidrio oscuro del ocular. Otra nueva sorpresa me esperaba. La corona de rayos que rodeaba al disco lunar, estaba interrumpida en tres puntos por inmensas llamas color de púrpura, cuyo diámetro era de cerca de 2 minutos. Parecian tranquilas y presentaban el mismo aspecto que las nevadas cimas de los Alpes, alumbradas por el Sol poniente. Me fué imposible distinguir si estas llamas eran nubes ó montañas. Mientras trataba de estudiarlas, para determinar su naturaleza, brilló un rayo de Sol en las tinieblas, reanimando la Tierra y sumergiéndome en la tristeza que experimenta aquel que vé desaparecer el objeto de sus afanes, en el momento en que está á punto de alcanzarlo.»

Por habituado que se esté á estos fenómenos, no es ménos viva la impresion que se experimenta. Es imposible mirar con indiferencia el disco negro que

reemplaza al Sol, rodeado de una argenta aureola, extendida sobre un cielo color de plomo, para formar mayor contraste.

La mayor ó menor oscuridad que reina en el momento del eclipse total, depende en mucho del estado del cielo. Por término general, es comparable á la que hay media hora ó tres cuartos de hora despues de la puesta del Sol, cuando ya se ven las estrellas más brillantes; de ordinario se vé á Vénus mucho ántes de la totalidad. Por efecto de contraste, debido á la rápida desaparicion de la luz, parece la oscuridad mucho mayor de lo que es realmente. Por lo general puede leerse un libro impreso en gruesos caracteres, pero no se distingue bien la graduacion de los instrumentos, ni la hora en las esferas de los relojes, por lo que deben cuidar los observadores de tener dispuesta luz artificial para poder leer en los instrumentos graduados y en los cronómetros.

Cuando el cielo es muy puro, alcanza la corona una extension igual al diámetro de la Luna, pero no brilla intensamente más que en mucho menor trecho. A menudo deja escapar unos rayos ó penachos de longitud considerable, que ya examinaremos. En algunas ocasiones se ven á simple vista las llamas rojas. En el *Desierto de las Palmas* decian las gentes: *El Sol tiene fuego*. Durante el eclipse de 1868 tuvieron el aspecto de torres implantadas en la Luna; algunos observadores, por una ilusion óptica, las tomaron por entalladuras del disco lunar.

Con la aparicion del primer rayo de Sol desaparece todo este magnífico espectáculo. El Sol brilla entonces como una luz eléctrica, proyectando sombras

duras pero de contorno vacilante: se cree ver propá-larse las ondas luminosas como bandas que onlulan y serpentean. La naturaleza, sombría aún, parece recobrar su alegría ordinaria, y el sentimiento de tristeza que habia dominado á todos los espectadores, cede su puesto á una dulce y placentera impresion.

Durante algun tiempo puede seguirse la marcha de la sombra que se aleja, y desde la cúspide del monte de San Miguel, pudimos ver al cono de sombra envolver las islas Columbretes y correrse despues á lo léjos por la superficie de la mar.

Tal es en pocas palabras, la escena que ofrece un eclipse total. Muchas de las descripciones que se han hecho son exageradas, pero esto mismo prueba la profunda impresion que sienten los espectadores. Aunque prevenidos por los relatos de sus antecesores, los que presenciaron el último eclipse han experimentado las mismas emociones, y gran esfuerzo han necesitado hacer para ocuparse de sus trabajos y no abandonarse á la contemplacion pasiva del espectáculo que la naturaleza les presentaba. La Rue nos decia, y en su Memoria lo ha impreso, que en la primera ocasion iria gustoso á contemplar otro eclipse, pero como simple curioso, sin instrumentos, á fin de gozar á su placer de las impresiones que habia necesitado dominar en 1850.

Terminemos aqui este bosquejo general, y entremos en la discusion de los detalles científicos, que tienen para nuestros lectores y para nosotros un interés particular.

§ III. FENÓMENOS QUE ACOMPAÑAN  
 Á LA APARICION Y DESAPARICION DEL SOL  
 EN LOS ECLIPSES TOTALES.

Antes de desaparecer por completo el Sol, se reduce á un estrecho filete terminado en puntas muy agudas, y en el último instante suele este filete dividirse en partes por las montañas que se encuentran en el contorno de la Luna. Este fenómeno puede preverse de antemano, examinando el perimetro del disco lunar que durante bastante tiempo ántes de la desaparicion se proyecta sobre el Sol. Si hay muchas cumbres de montañas, el filete se divide en gran número de puntos brillantes que se asemejan á las cuentas de un rosario. Esta apariencia se debe á varias causas; en parte depende de la irradiacion, cuyo efecto aumentan las imperfecciones del antejo, ó la falta de enfoque del mismo. Entremos en algunos detalles.

Cuando miramos un cuerpo muy luminoso, siempre nos parece mayor de lo que realmente es. Así, si iluminamos vivamente un papel en que haya cuadros blancos y negros dispuestos á manera de tablero de ajedrez, se verá como los cuadros negros parecen menores, y no solo menores, sino que sus ángulos no están en contacto unos con otros.

Todo el mundo conoce el fenómeno de la luz cenicienta que se presenta en los primeros dias de la Luna nueva: á más de la parte vivamente iluminada, se vé claramente el resto de la Luna; pero por efecto de la

irradiacion, la parte luminosa parece corresponder á un disco de mayor diámetro que lo demás. Este efecto de irradiacion, muy considerable á simple vista, no lo es tanto con un antejo, pero jamás se anula por completo.

Á la misma causa se ha atribuido otro fenómeno de gran importancia, que dificulta en sumo grado la observacion del paso de los planetas sobre el Sol. Supongamos que se quiere determinar el momento preciso del contacto interior: el planeta se destaca perfectamente formando un pequeño círculo negro sobre el brillante disco solar. Aun se encuentra á alguna distancia del contorno, cuando se vé aparecer un apéndice negro que, partiendo del disco del planeta, alcanza el limbo solar; apéndice que se acorta y ensancha hasta el momento en que ambos discos parecen tangentes interiormente. El observador queda en la duda de si debe contar el momento del contacto de los limbos á la aparicion del apéndice negro, ó cuando se verifica el contacto aparente.

To do esto es fácil de explicar si se considera que el Sol, por efecto de irradiacion, ó por otra causa cualquiera, nos parece mayor de lo que realmente es, y su verdadero limite no es el contorno aparente, sino otra circunferencia de diámetro algo menor. Cuando el planeta toca á esta linea, se verifica el contacto verdadero; todos los rayos procedentes de tal punto quedan entonces interceptados, y por lo tanto, se forma el apéndice negro. Igual fenómeno, aunque en sentido contrario, debe observarse en el primer contacto interior. Así, pues, lo que debe observarse con cuidado es, á la entrada, el momento en que se rompe

el apéndice negro; á la salida, el instante en que se forma. En 1769, cuando el paso de Vénus, observó cuidadosamente estos fenómenos el P. Hell; anotó muy oportunamente los momentos en que apareció mordido el disco y aquellos en que el cordón ó apéndice se formó y rompió, suministrando así excelentes datos para determinar el instante del contacto real. Estas observaciones del P. Hell quedaron desacreditadas por causas extrañas á la ciencia; pero las discusiones de Littrow y de Faye han probado su exactitud, llegando á decir este último: «*Difícil nos ha de ser obtenerlas mejores en 1874.*»

En el último paso, ocurrido del 8 al 9 de Diciembre de 1874, se ha concedido la mayor atención á este fenómeno; pero los trabajos no son bastante conocidos aún para que podamos exponer aquí sus resultados. Sin embargo, según los estudios previos hechos en los observatorios de París y Greenwich, parece que estas apariencias dependen más de los defectos del anteojo que de la irradiación, lo que explica cómo ciertos observadores las han notado, mientras otros nada han visto que se les parezca. (1)

---

(1) El P. Hell hace notar, con razón, que de los cuatro contactos que se verifican en el paso de un planeta, sólo son utilizables los dos interiores. En los otros dos, como no se vé el planeta, no es posible apreciar el contacto hasta después de haberse realizado. Nosotros habíamos anunciado que en los próximos pasos se podría también sacar partido de los contactos exteriores, empleando la combinación helioscópico-espectral que hemos indicado anteriormente. Con esta combinación se

Lo que ocurre con los planetas, pasa también con la Luna durante los eclipses. Si suponemos una serie de prominencias en el contorno de la Luna, cuando lleguen al verdadero limbo solar, debe formarse una serie de apéndices negros, y el anillo aparente quedará así dividido en partes, que tomarán fácilmente la forma de granos imperfectamente redondeados si á las circunstancias que acabamos de enumerar se une cierta imperfección del antejo, ó alguna falta de enfoque. Estos granos son bastante conocidos con el nombre de *Baily's beads*, ó cuentas de Baily, llamados

---

ven la cromoesfera roja que rodea al Sol y la imagen directa de este astro, y se podría aprovechar el momento en que el planeta toca á la capa rojiza para preparar la observación y tomar con exactitud del momento el contacto con el limbo solar. Empleando esta combinación, hemos podido ver la Luna antes que tocase al disco, en el eclipse del 23 de Mayo de 1873.

Sea cualquiera la perfección de los anteojos que se construyen actualmente, el fenómeno de las cuentas de Baily que se observa en los eclipses, prueba que dan al disco solar un diámetro exagerado. En la actualidad está probado que el helióscopo espectral permite evitar este grave inconveniente, y por lo tanto se conseguirían dos ventajas usándolo. Creemos conveniente recordar que este sistema es distinto del que se había propuesto antes de proponer nosotros éste: el antiguo producía tales deformaciones que no era posible observar ni el limbo ni las manchas; con el nuestro, por el contrario, se puede observar el menor detalle tan bien como con un vidrio de color, y el campo es tan grande como se desee.

asi del nombre del astrónomo inglés que los señaló por primera vez.

En las observaciones que hicimos en el *Desierto*, vimos las agudas puntas del filete romperse sin ofrecer el aspecto redondeado propio de las cuentas. Esto dependia en parte de la falta de grandes cadenas de montañas, y tambien del excelente antejo de Fraunhofer que usábamos. La Rue notó lo mismo, y todos los observadores están conformes en que estas ilusiones disminuyen mucho cuando se tiene cuidado de enfocar exactamente, moviendo el ocular de tiempo en tiempo á causa de las variaciones en la distancia focal de los antejos, variaciones que se deben á los cambios de temperatura. Cuando se usan tubos de metal, estas variaciones son muy sensibles, y es preciso tenerlas muy en cuenta, sobre todo para la fotografía.

Para poder estudiar bien la desaparicion del Sol, es necesario que el ocular esté provisto de un cristal graduado, (1) que debe tenerse á la mano para poder modificar su posicion y quitarlo en el momento oportuno. De esta manera se vé que la luz es muy débil en el contorno. Asi, mirando por la parte media de nuestro vidrio, hubiéramos juzgado que habia desaparecido el Sol, mientras que todavía era muy visible por la parte más delgada. Dos ó tres segundos ántes de la desaparicion total vimos la corona, muy pálida aun, pero perfectamente formada.

El último punto luminoso no desaparece bruscamente, como las estrellas, sino gradualmente, y nos

---

(1) Libro I, cap. III, § I.

costó gran trabajo valuar la fracción de segundo correspondiente á la ocultacion total. En el momento en que creí verificada la desaparicion, quité el vidrio de color, pero aun quedaba un filete de luz tan viva que me deslumbró. Sin embargo, desapareció con bastante rapidez para que pudiese continuar la observacion, y lo vi trasformarse poco á poco en un arco de luz rosa, terminado en una infinidad de puntas, que á su vez fueron eclipsándose; y al cabo de *seis segundos* todas se habian ocultado, apareciendo entonces las protuberancias ó llamas rojas.

Estos pormenores de nuestra observacion están conformes con los expuestos anteriormente por Airy, y más tarde por el P. Cappelletti y Stephan. En 1842 estaba Airy acompañado de un observador que miraba á simple vista, y tenia el encargo de avisar el momento en que el Sol estuviese á punto de desaparecer. Pero cuando hizo la señal convenida, ya Airy habia notado el instante de la desaparicion, y quitando el cristal oscuro recibió un rayo de luz vivisima. (1) Stephan y Tisserand experimentaron una cosa análoga en las observaciones que hicieron en la India en 1868. Hé aqui cómo se espresan: «Al segundo contacto no siguió inmediatamente la desaparicion de toda luz viva. Despues de la ocultacion del limbo solar, nos apareció la Luna rodeada de un cerco luminoso de poca anchura, un cuarto de minuto próximamente, cuyo brillo era comparable al del Sol. Este

---

(1) La impresion es mucho más viva, porque la pupila, en el momento de quitar el cristal graduado, está muy dilatada.

anillo es tan luminoso, que puede inducir á error sobre la existencia del contacto verdadero.»

El P. Cappelletti dice á su vez, á propósito del eclipse que observó en Chile el 25 de Abril de 1865: «Durante la totalidad estaba rodeada la Luna de un *anillo* de un cuarto de minuto próximamente; alrededor de este anillo se hallaba la corona.»

Tambien en Mantawalok, en 1868, se señaló la existencia del anillo, y por nuestra parte hemos tenido ocasion de observar iguales apariencias en Sicilia durante el eclipse de 1870. Despues de haber quitado el vidrio oscuro, vimos aún una luz muy viva, á pesar de la presencia de una nube que se precipitaba rápidamente sobre el Sol y lo cubrió algunos segundos despues. (1)

Podríamos agregar otros testimonios, pero los citados bastan para mostrar que entre la fotoesfera y la corona hay una capa muy brillante, que igualmente encontraremos en las fotografias.

Como esta envolvente brillante está rodeada de luz rosa, es evidente que no se puede hacer abstraccion del matiz del vidrio oscuro que se emplea, cuan-

---

(1) Segun pudimos observar en el eclipse del 70, en las inmediaciones de Sevilla, algunas nubes, y especialmente la que inutilizó los preparativos hechos para determinar la variacion de la fuerza actínica, se formaban á medida que la superficie radiante iba siendo menor, por efecto del estado higrométrico y del descenso de temperatura. Será, pues, ventajoso, siempre que sea posible, situar la estacion á buena altura, y en region notablemente seca.

do se trata de comparar observaciones, ya se refieran á los eclipses, ya á los pasos de los planetas, ó ya simplemente á las mensuras ordinarias. Para asegurarnos de esto, hemos medido el diámetro solar usando sucesivamente un vidrio azul y otro rojo, y hemos hallado entre ámbas medidas una diferencia de dos segundos próximamente.

Para zanjar la cuestion, hemos tomado el diámetro solar con el espectróscopo, ya usando nuestro sistema de prisma adicional colocado delante de la mira, ya sirviéndonos del espectróscopo ordinario, y siempre lo hemos hallado menor en  $0,5^s$  ó  $0,6^s$ , lo que corresponde á un arco de 7 á 11".

En la última observacion del paso de Venus, ha confirmado de un modo completo el S.<sup>r</sup> Tacchini el resultado de las nuestras. Empleando el espectróscopo, ha notado la salida del planeta *dos minutos* ántes que los demás observadores que hacian uso de los métodos ordinarios. Hay, pues, una diferencia notable en los valores que se hallan para el diámetro solar, segun que se empleen los anteojos ó los espectróscopos. Dos eclipses han sido observados con estos últimos instrumentos, uno por el S.<sup>r</sup> Lorenzoni, el otro por nosotros, y en ámbos ha habido retardo para el principio del eclipse y adelanto para el final: el diámetro del Sol parece, por tanto, más pequeño cuando la observacion es espectral.

De cuanto llevamos dicho se infiere que el Sol no tiene un contorno geométrico perfectamente definido; que hay una region en su superficie en que la luz se extingue rápida y gradualmente, y que esta region se extiende á algunos segundos, segun comprobaremos

examinando los contornos de las imágenes solares tomadas en fotografía. El espectróscopo nos hace saber que una porción de esta banda, pertenece á la cromoesfera, y que la fotosfera tiene un diámetro notoriamente menor.

Al reaparecer el Sol, se reproducen los fenómenos en sentido inverso; pero algunos son entónces más fáciles de percibir, porque el observador no está como al principio deslumbrado por la intensidad de la luz: por ejemplo, el filo dentado, color de grana, que rodea al disco, se nota más claramente, y aun despues de la reaparicion del Sol, se pueden ver durante algunos segun los la corona y las protuberancias. En 1860 consiguió ver la Rue una protuberancia ántes de la totalidad, observando el Sol por reflexion sobre un cristal no azogado: Bruhns vió otra, dos minutos despues de terminada la totalidad; é iguales fenómenos se han observado despues en distintas ocasiones. Sin embargo, por lo general emiten las protuberancias mucha ménos luz que la envolvente rosa, puesto que no se las vé hasta que ésta se eclipsa.

Ya nos ocuparemos de la naturaleza y forma de las protuberancias; por ahora no haremos más que señalar una ilusion óptica que se produce con frecuencia, y en que la imaginacion entra por mucho. Como el movimiento de la Luna deja al descubierto sucesivamente cada una de estas llamas, varios observadores han creído que se formaban á su presencia. En la actualidad sabemos que las protuberancias existen independientemente de los eclipses, y que en ellos no ocurre más que ser visibles por razon de la oscuridad.

Poco ántes del fin de la totalidad, la corona generalmente manifiesta más brillo hácia la parte por donde ha de reaparecer el Sol, y se forma un arco grana de extensión considerable, abarcando la sexta parte del contorno solar. Schumacher lo vió en una extensión de 90 grados; el P. Cappelletti no llegó á verlo más que en 50 á 60 grados. Esta diferencia de magnitud depende de la que hay entre los diámetros aparentes de la Luna y el Sol: cuando ésta es conocida, puede valuarse el ancho del anillo rosa, y las apreciaciones hechas varían entre 15 y 20 segundos. En España ocupaba el arco 60 grados. Como yo observaba sin cristal de color, hubo un momento en que la luz fué demasiado fuerte, y separé la vista del anteojito; en el mismo momento reapareció el Sol, que brillaba en el cielo como la luz de un regulador eléctrico. La corona fué visible aún durante veinte y cinco segundos, y ocultando con la mano la parte descubierta del Sol, pudo distinguirse durante cuarenta y cinco segundos. (1) Las sombras eran perfectamente definidas, pero vacilantes en sus contornos.

Es importante notar que, ántes de la reaparición del Sol, la intensidad de la luz me obligó á separarme del anteojito, la cual luz no procedía del mismo limbo solar, sino de esa capa muy brillante que se encuentra inmediatamente encima de la fotosfera. Este hecho, como otros muchos, muestra que, tanto al co-

---

(1) Estos datos podrían servir para apreciar el poder luminoso de la corona, porque en el momento en que desaparece, su intensidad es igual á la del haz que parte del Sol.

menzar como al terminar, se nota una gradacion de luz, rápida, pero sensible, entre la capa rosa y la fotoesfera.

#### § IV. FENÓMENOS FÍSICOS

##### OBSERVADOS DURANTE LA TOTALIDAD.

La desaparicion del Sol vá siempre acompañada de una sensible baja en la temperatura, y de otros fenómenos cuyo estudio es muy interesante.

Muchos observadores han notado grandes oscilaciones en el limbo solar en el momento de su reaparicion. El P. Cappelletti dice que le recordaban las olas del cabo de Hornos. La causa de este fenómeno radica ciertamente en nuestra atmósfera, no en el Sol. El enfriamiento anormal que se verifica, origina con frecuencia nubes, nieblas y hasta halos, como se observó en Chile el 65, y en Augusta, Sicilia, el 70. Las nubes situadas á corta distancia del filete solar, iluminadas poderosamente, produjeron magnificas irisaciones, cuya limpieza crecia á medida que disminuia el filete solar. Las nubes irisadas no son raras, ni áun fuera de los eclipses, pero la magnitud del disco es un obstáculo á la limpieza de las tintas producidas por las interferencias. Disminuyendo la superficie luminosa á medida que se acerca la totalidad, se van reuniendo las condiciones requeridas por la teoria para la realizacion del fenómeno. El arco irisado que se observó en Augusta, tenía unos seis grados de diámetro; el rojo estaba en el interior y el azul al exterior.

Son de temerlas nubes y las nieblas, especialmen-

te en la estacion fria, cuando el aire está ya casi saturado. Poco tiempo despues de la ocultacion baja la temperatura, lo bastante en ciertos casos, para producir la saturacion, y el vapor de agua se precipita en forma de bruma. Así se formaron las nubes que nos impidieron obtener mejores resultados en las observaciones que hicimos en Augusta.

La desaparicion y aparicion del Sol van acompañadas de sombras vacilantes y franjas luminosas, que parecen atravesar el horizonte. La observacion de este fenómeno ha sido hecha en muchos eclipses, pero sobre todo en los del 42 y 60. Recientemente el padre Faura, en Mantawalok, ha intentado representar el fenómeno por medio de un dibujo (fig.<sup>a</sup> 18); pero debemos hacer notar que las líneas ondulantes no tienen la regularidad que se les supone en la figura.

Para hacer la observacion, colocó el padre Faura en el suelo una gran hoja de papel blanco, sobre la que se destacaban las líneas onduladas que procuraba reproducir. Tambien se han observado estas bandas en los dos últimos eclipses. Los profesores Costa y Seguenza las vieron correr sobre una pared blanca, cerca de Messina, y juzgan que la figura del P. Faura representa bien el fenómeno; segun su valuacion, podrian tener las bandas de 6 á 8 centimetros. El señor Legnazzi, en Terranova, Sicilia, vió tambien el fenómeno, aunque ménos regular. Desde lo alto del faro del cabo dell'Armi, muy cerca de la línea de la totalidad, vió el S.<sup>r</sup> Marchisio venir del Etna la sombra de la Luna rodeada de franjas, que en la aparicion tendrian un metro de ancho. El mismo fenómeno se observó en Messina, fuera de la línea de la totali-

dad, pero muy cerca del límite: los observadores experimentaron la misma impresión que si el eclipse hubiera sido total por un momento, cosa esta última que no podía ser. En Regio, Calabria, en la zona de la totalidad, pero muy cerca del límite, produjo el paso de las ondas la misma sensación que si la Tierra hubiese oscilado por un momento. Los hombres, y aún los perros, quedaron aterrados. En Jerez, el señor Escandon vió á las bandas atravesar el espectro que observaba en aquel momento. En el último eclipse también las observó Oudemans, pero afectando diversa forma de la descrita por el P. Faura.

De todas maneras, hay perfecto acuerdo entre los observadores respecto á lo puntos que siguen: 1.º las bandas existen realmente; 2.º tienen una magnitud aparente variable, según la distancia del objeto sobre que se proyectan; 3.º están animadas de un movimiento de oscilación muy rápido; 4.º acompañan á la sombra, aparecen principalmente en su contorno, y por su inclinación son tangentes al disco solar en el último punto que desaparece.

Estos fenómenos han sido notados demasias las veces para que sea dable dudar de su existencia; pero hay gran dificultad en explicarlos de un modo completamente satisfactorio. Se ha tratado de atribuirlos á la difracción, y en este caso serian originados por la interferencia de los rayos solares que resbalan sobre el contorno de la Luna; pero este supuesto está en contradicción con los principios de la óptica. Desde luego, para producir las interferencias, es necesario que el borde del cuerpo opaco, la Luna en este caso, esté alumbrado por un punto luminoso colocado de-

trás de él, y el Sol tiene un diámetro de medio grado. Además, en la difracción no se observan más que tres ó cuatro franjas, regularmente coloreadas, cuya intensidad vá decreciendo de la primera á la última. En este fenómeno nada semejante ocurre; se cuentan hasta diez, doce y aún veinte franjas, y no todas coloreadas.

No es, pues, probable que procedan de una interferencia propiamente dicha; pero pudieran resultar, como el centelleo de las estrellas, de una oscilación de los rayos luminosos. El punto, ó mejor, la línea radiante es el estrecho filete solar. Los cambios de temperatura del aire y las variaciones de densidad que de ellos resultan, alteran las trayectorias de los rayos, y en unos lugares originan refuerzo, en otros debilidad. En esto, sin duda, consistió que Escandon, en Jerez, pudiese ver bandas semejantes proyectarse sobre la pared colocada delante de sí, mientras el Sol nacía tras la cumbre de una montaña situada á su espalda. Nosotros hemos comprobado parcialmente esta observación, pero las bandas que distinguimos estaban muy léjos de guardar el paralelismo que se atribuye á las de los eclipses. Esta irregularidad puede también depender de las condiciones atmosféricas, y si el fenómeno ha sido tan manifiesto en Sicilia durante el eclipse de 1870, quizás sea preciso atribuir esto á la gran agitación del aire, causada por la violenta tempestad que descargaba sobre el Etna en aquellos momentos. Las bandas vistas al través del espectro solar confirman al parecer esta explicación, porque se asemejan á las que atraviesan los espectros estelares cerca del horizonte.

Estas bandas son más visibles y mejores de observar cerca de los límites de la zona de la totalidad, dentro y fuera, porque en estos lugares la última parte del filete solar conserva durante cierto tiempo muy poco grueso, mientras que en la parte central de la totalidad este estado no dura más que un instante.

Aunque la explicación dada nos parezca cierta, aguardaremos para formar opinión definitiva á que se nos den á conocer descripciones más exactas que las hasta ahora conocidas, y con este fin llamamos la atención de los observadores sobre el asunto.

Ya hemos dicho que se vé la sombra de la Luna marchar sobre la Tierra, y hemos referido las observaciones de Forbes y Marchisio. El capitán Pistoia, que observó el eclipse del 70 en la ciudadela de Augusta, nos ha dado la siguiente descripción: Cuando se eclipsó el Sol por completo, se distinguió en el cielo una banda oscura dirigida de suroeste á noreste, y que desapareció rápidamente. Su matiz era sombrío, su contorno indeciso y como desvanecido (*sfumata*), de manera que en la dirección NO. á SE., presentaba el cielo ese aspecto frío y amarillento que se observa en invierno á la puesta del Sol. La banda pasó rápidamente sobre el observador hácia el noreste. Antes de la reaparición del Sol, se vió hácia el suroeste aparecer una especie de aurora, y la banda tenía entonces por contorno la sección máxima de un óvode. Parece que un cielo cubierto de bruma, es el más á propósito para la producción del fenómeno.

Fácil es darse cuenta del aspecto crepuscular y del color especial de la luz durante los eclipses. El observador está iluminado por la luz de la corona y por

la difusa de la atmósfera, que corresponde á toda la parte visible situada fuera del cono de sombra; pero como esta parte no está alumbrada más que por los bordes solares, cuya luz es amarillo-fuliginosa, de aquí la coloracion del horizonte. Además, como la porcion de atmósfera iluminada es precisamente la que produce la última parte del crepúsculo, no es de extrañar la semejanza del fenómeno.

La existencia de la tinta amarilla ha sido evidenciada experimentalmente por el capitán Buffa. Colocaba, para esto, al aire libre una tira de papel pintado con los colores del espectro: á medida que se eclipsaba el Sol, iban desapareciendo los colores más refrangibles; momentos ántes de la ocultacion total, el violeta, el añil y el azul eran invisibles, los demás colores aparecian velados. Igual éxito obtuvo empleando telas azules y amarillas: las primeras quedaron casi invisibles, mientras que el color de las segundas sólo experimentaba una veladura. Igual fenómeno ocurre en las puestas de Sol: el azul deja de ser visible ántes que todos los demás colores. Todos estos fenómenos se explican fácilmente, segun la teoría que hemos indicado en el párrafo anterior.

## CAPÍTULO II.

## De la corona.

## § I. ASPECTO GENERAL.

El fenómeno que más llama la atención, cuando se observa un eclipse á simple vista, es la aureola brillante que rodea á la Luna, y que ha recibido el nombre de corona. Los antiguos la habían notado, é inferían de aquí que el eclipse nunca era total. En Plutarco se encuentra el pasaje siguiente: «Aunque la Luna oculta al Sol algunas veces, ni tiene bastante anchura, ni la duración es suficiente para que no aparezca alrededor de su circunferencia alguna luz que impida á las tinieblas ser lo bastante espesas, profundas y perfectamente oscuras.» (1)

Los observadores la han mencionado siempre como un fenómeno extraordinario, que prueba la existencia de una atmósfera en la Luna. Hoy sabemos que su causa existe en el Sol.

La observación más antigua en que se consigna el fenómeno con algunos pormenores, remonta al año 1239, y Muratori la cita (*Ann. Re. Ital.* t. XIV, c. 1097). El cronista dice que se veía un círculo alrededor del Sol, con un agujero inflamado en la parte in-

---

(1) *Opera moralia. De facie in orbe Lunæ.*

ferior (1). Sin duda se trataba de alguna protuberancia. Clavius tambien la observó en Coimbra el año de 1560, y habla de ella con sorpresa.

La primera descripción científica se debe á Vassenius, que observó el 2 de Mayo de 1733, notando las llamas rojas que hoy llamamos protuberancias, y que él atribuía á nubes en la atmósfera de la Luna. Á partir de esta época, todas las descripciones están contestes. En todas se habla de una aureola formada de rayos divergentes, que parten de un anillo brillante, argentino ó nacárado, extendiéndose más ó ménos segun las circunstancias atmosféricas, pero de ordinario á una distancia igual al diámetro de la Luna, á la cual rodea.

Se ha intentado valuar la intensidad luminosa de la corona, pero los resultados obtenidos difieren mucho unos de otros, porque es muy difícil hacer estas valuaciones, á causa de las variaciones extraordinarias y excepcionales que presenta la luz durante los eclipses. Lo que sí es cierto, como ya hemos dicho, es que en el eclipse de 1860 pudimos ver la corona durante cuarenta segundos despues de la reaparición del Sol. Y si no se la puede ver durante más tiempo, es posible comprobar su existencia durante seis ó siete minutos ántes del principio y despues del fin de la totalidad. Basta para esto proyectar la imágen del Sol sobre un plano blanco, en que se vé prolongarse la silueta de la Luna fuera del disco solar; hecho que

---

(1) Quoddam foramen erat ignitum in circulo Solis ex parte inferiori.

indica claramente que el disco lunar eclipsa la region inmediata al Sol donde se desarrolla la aureola.

Segun nuestro juicio, el poder luminoso de la corona no puede ser menor que el de la Luna cuando ésta se halla en mejores condiciones, tal como en invierno, llena y muy próxima al zénit. Porque en estas condiciones, deja la Luna ver todas las estrellas de primera y aun las de segunda magnitud, mientras que en los eclipses sólo se perciben las más brillantes. La causa de parecer las tinieblas tan pavorosas es la rapidez con que se forman.

No debe olvidarse, sin embargo, que durante la totalidad recibe el observador no sólo la luz de la corona, sino tambien la de las partes lejanas de la atmósfera.

El brillo de la corona depende mucho del estado de la atmósfera. Bajo el hermoso cielo de la India, durante el eclipse de 1868, su luz era bellísima y podian leerse fácilmente los impresos en caracteres de mediano tamaño. En 1842, mientras Baily observaba en París una corona brillantísima, Airy la veia muy pálida en Turin, donde el cielo se presentaba nebuloso. En 1851 en Gottemburgo, Suecia, se veia muy bella, mientras que en Lilla-Edet, Suecia, tambien, apareceria débil y poco extensa.

Varios observadores, entre otros Janssen en su expedicion á la India en 1871, han quedado tan impresionados por el brillo de la corona, que se han persuadido de que la causa de este fenómeno radica en el Sol. No hay en esto nada que deba sorprender á los que, como nosotros, hayan sido testigos de un espectáculo de estos bajo el bello cielo de España.

Aparte de las diferencias debidas á la transparencia del aire, siempre es posible distinguir tres regiones en la corona, aunque no están separadas por limites perfectamente definidos. La primera es una zona de luz muy viva, de 3 á 4 minutos de anchura, con el color y el brillo de la plata. Alrededor de esta primer zona hay otra en que la luz decrece rápidamente, hasta fundirse en la tinta general del cielo. En fin, de la primera, parte cierto número de penachos luminosos, compuestos de líneas brillantes mezcladas, cuya longitud, variable con las circunstancias, llega á ser á veces el doble del diámetro de la Luna.

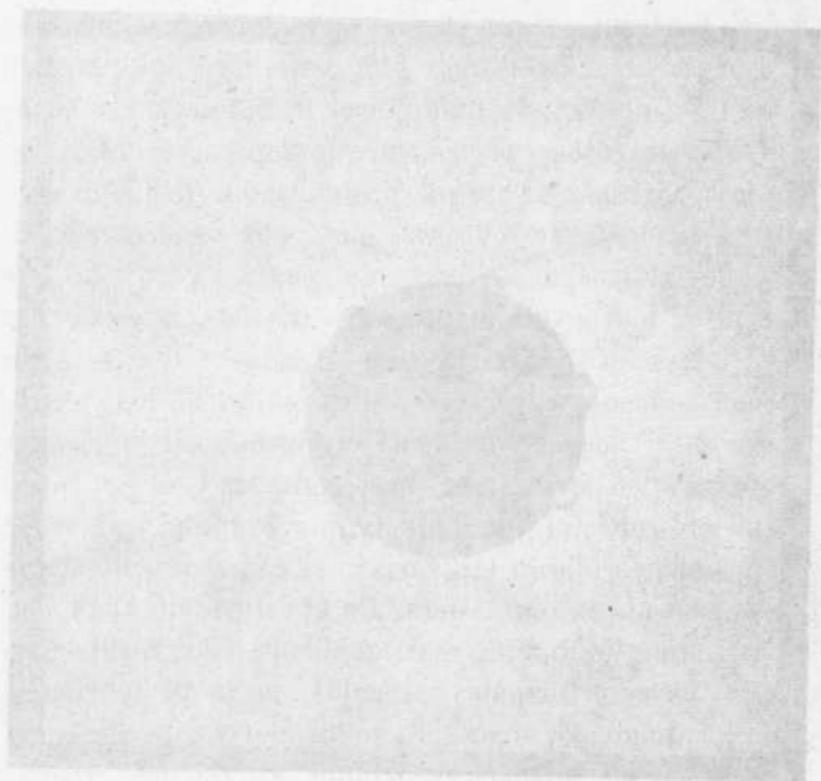
No es el aspecto de la corona igual en todos los eclipses, y ya hemos dicho que tampoco es idéntico en el mismo eclipse para todas las estaciones. Así, nosotros vimos en el Desierto, 1860, extenderse la segunda zona casi el diámetro lunar, y la tercera apareció constituida por varios penachos en forma de abanico, desiguales en anchura, irregularmente distribuidos y alcanzando una longitud mayor que el doble de la segunda zona; mientras que Airy en Turin, 1842, veía casi confundidas ámbas zonas, y el P. Cappelletti en Chile, 1865, observaba en la tercera zona penachos muy distintos de los nuestros.

En los eclipses posteriores se ha prestado gran atención á estas apariencias, á fin de hallar su causa. En las observaciones hechas en los Estados-Unidos, 1869, la mayor parte de los croquis trazados por los distintos observadores, se refieren á un tipo comun, que consiste en un cuadrado groseramente esbozado, formando los penachos los ángulos. Debemos hacer

notar que estos penachos varian rápidamente de forma y posicion.

En casi todos los dibujos anteriores al 70, la primera zona tiene una anchura bastante considerable. No ocurrió lo mismo en Sicilia en el eclipse de dicha fecha, porque la parte anular fué tan estrecha que los rayos parecian partir del mismo limbo de la Luna. En la fig. 19 reproducimos el dibujo hecho por el Sr. Tacchini, segun las observaciones que tomó en Terranova. Este dibujo está bastante conforme con la descripcion redactada por el P. Serpieri. Los haces son numerosos, perfectamente separados unos de otros, y situa los sobre la prolongacion de los diámetros lunares; se observa que, por su extremidad, suelen estrecharse formando punta. Pero en este eclipse fueron tan distintos los diseños, que fué cosa de pensar si diferencias tan grandes estribarian en diferencias de estructura ó disposicion de los ojos de los observadores. Debemos recordar, sin embargo, que la atmósfera estaba muy agitada y el Sol poco elevado sobre el horizonte, y por lo tanto, que si las apariencias fueron tan várias, la causa de ello debia estar en nuestra atmósfera. En el eclipse de 1871, en las Indias, ha habido más igualdad en los resultados, y los haces principales, situados en la prolongacion de los diámetros, han sido vistos por varios observadores en las mismas posiciones y con las mismas formas.

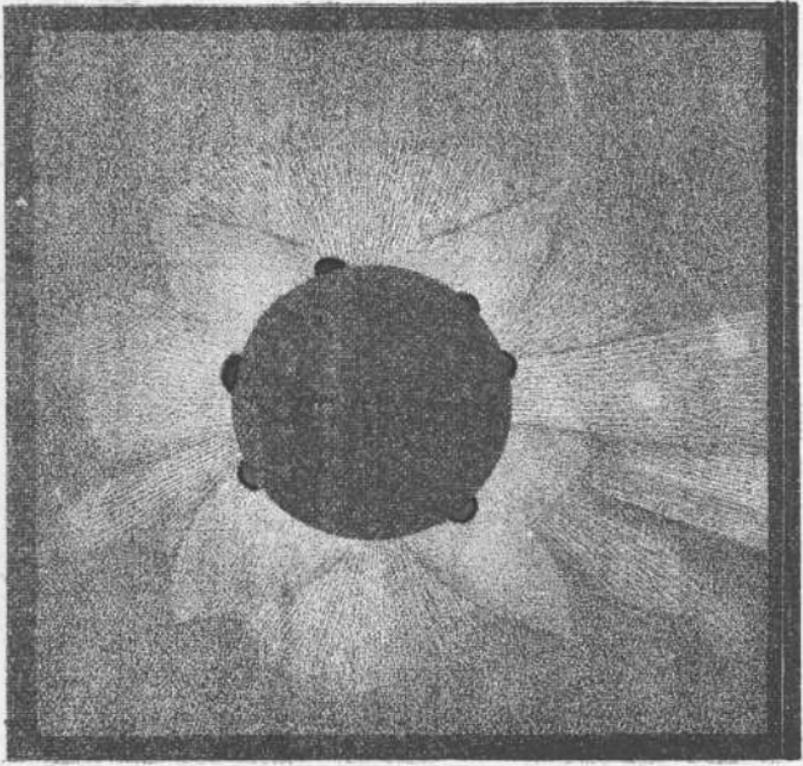
Cuando se hacen estas observaciones rápidamente y á simple vista, es muy difícil que sean perfectas. Si se usan anteojos, los resultados pueden variar mucho de un observador para otro: cuando se emplea



...the ... ..  
... ..

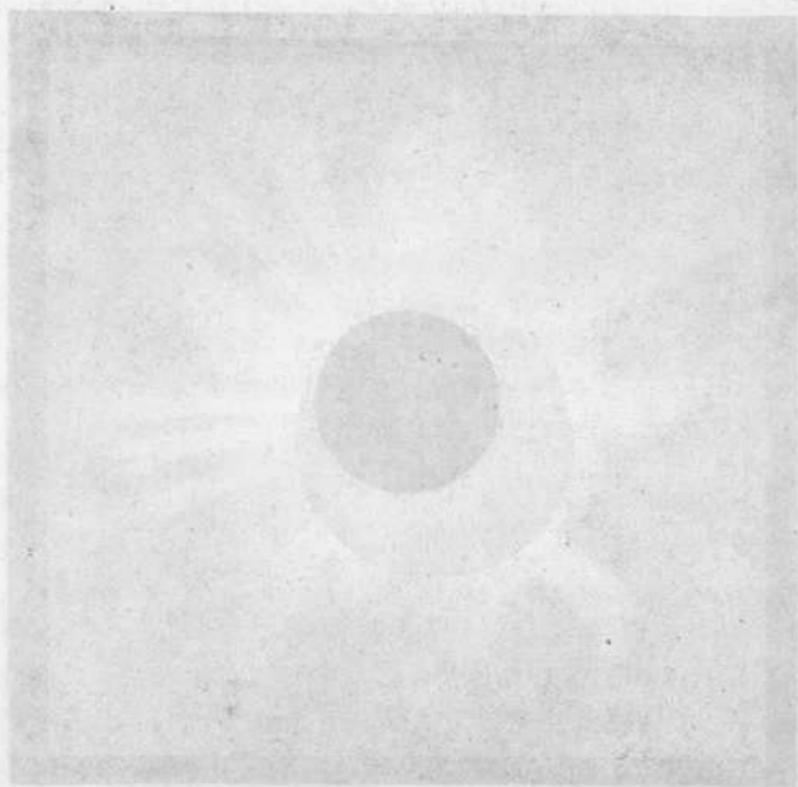
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

*Fig 20<sup>a</sup>*

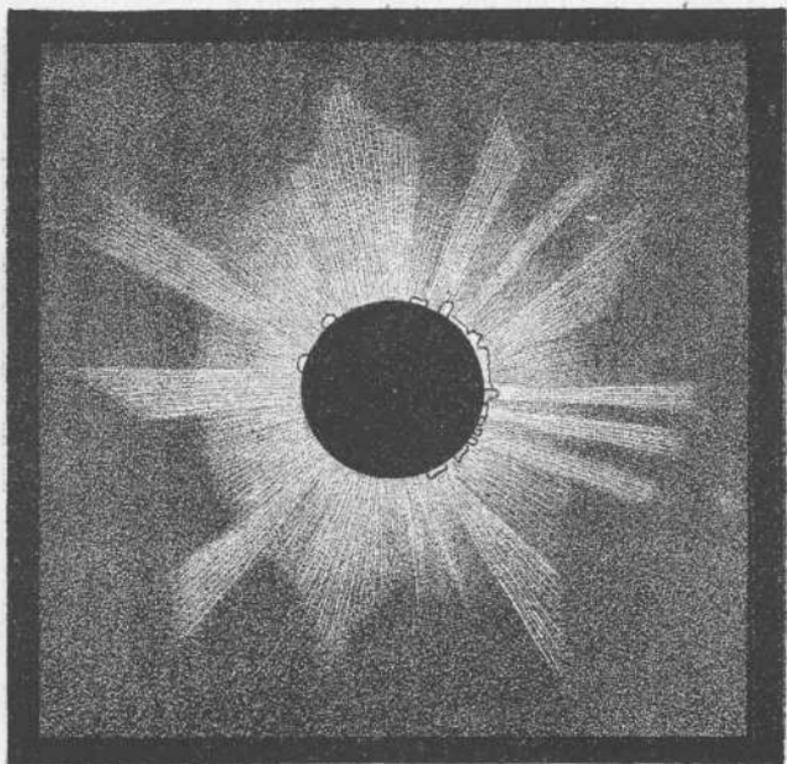


... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

Fig. 19.



*Fig. 19. a*



mucho aumento, parece la corona mucho menor, compuesta de un solo anillo, estrecho, difuso y sin rayas (Maclear). Para formar idea exacta del fenómeno, debe usarse un anteojo de mucho campo y poca ampliacion.

No podemos reproducir cuantos diseños tenemos relativos al asunto, pero nos es imposible prescindir del ejecutado por Liais en el Brasil (fig. 20). Nos pareció en un principio tan extraño, como interesantes, según veremos. En él se notan cuatro hojas principales, casi normales al contorno del disco lunar; algunas otras ménos importantes aparecen inclinadas y acompañadas de nubes suspendidas entre los rayos. El P. Serpieri, al tratar del eclipse del 70, habla de cuatro copas invertidas, cuya forma se aproxima á la de estas hojas. El diseño de Liais ofrece un extraño aspecto á primera vista, pero veremos que tiene un mérito singular.

## § II. REGIONES DE QUE SE COMPONE LA CORONA.

La primera y más luminosa de estas regiones, está formada por el anillo que circunda inmediatamente á la fotosfera, y en el que parece estar en suspension la materia roja. Su brillantez es tal, que puede dar motivo á dudas sobre el instante preciso de la totalidad. (Cappelletti, Stephan, Tisserand, etc.) Cuando las circunstancias atmosféricas no son completamente favorables, este anillo, aunque muy debilitado, posee aun bastante poder luminoso. Su grueso puede valuar-se entre 15 y 20 segundos.

Alrededor de esta primera capa, y en contacto inmediato con ella, hay otra region en que la luz es aún bastante viva; en ella se producen las protuberancias; se extiende hasta 4 ó 5 minutos; tiene un color blanco de plata, y es tal su brillantez que presenta un aspecto anacarado. Algunos observadores hablan de capas de luz, pero esta expresion no es exacta; la grádacion es insensible, y no hay limite alguno preciso que señale diferentes estratos.

La corona es exactamente concéntrica con el Sol, lo cual prueban cumplidamente las apariencias que se observan durante el eclipse; pues se vé que es mucho más brillante en las partes donde el Sol está más próximo al limbo de la Luna. Por esta misma razon no puede considerarse producida por la atmósfera de este astro, y es de necesidad considerarla como correspondiente al Sol.

Por encima de esta region, comienza propiamente la aureola, irregular á veces, sin tener la uniformidad de contorno que se le habia supuesto; ántes bien, en muchos casos, ofrece profundas cavidades. Varios observadores habian notado ya esto, sobre todo Gillis en América, donde estudió el eclipse de 1858. Las partes más brillantes corresponden generalmente á las inmediaciones de las protuberancias y á las bases de los penachos. En 1870 y 1874 se observaron grandes cavidades, especies de escotaduras, que llegaban casi al limbo de la Luna, y que los ingleses designaron con la palabra *rifts*: mediante observaciones ópticas y sobre todo fotográficas, se han determinado con bastante exactitud los lugares en que se presentaron.

No se puede abrigar gran confianza en las observaciones ópticas para apreciar estas particularidades con exactitud, porque desde luego es difícil apreciar la intensidad de una luz en tales circunstancias, sobre todo, si no tiene contornos bien definidos. Además, estas observaciones se hacen con cuanta rapidez es posible hacerlas, y los observadores están ocupados en cosas de mucha más importancia: con frecuencia se hacen los diseños groseramente y de memoria despues de terminado el eclipse. El único medio de obtener datos exactos es la fotografía, y vamos á exponer los resultados obtenidos por este procedimiento.

### § III. FOTOGRAFÍAS DE LOS ECLIPSES. MAGNITUD DE LA CORONA.

En 1860, por primera vez, se ocuparon en fotografiar el Sol dos expediciones: Warren de la Rue en *Rivabellosa*, y nosotros en el *Desierto de las Palmas*, en compañía de la expedición española que dirigia el S.<sup>r</sup> Aguilar.

Las fotografías de W. de la Rue, obtenidas ampliando la imágen del Sol con el ocular, reproducen admirablemente las protuberancias y sus accesorios; pero la corona no es visible en ellas más que en su parte más brillante y ménos elevada. Nosotros, por el contrario, hemos fotografiado directamente la imágen dada por el objetivo, recibiendo así más luz y teniendo mayor campo. Todos los observadores han seguido despues este procedimiento, que presenta

grandes ventajas sin ningun inconveniente, puesto que siempre que se desee pueden obtenerse pruebas ampliadas. Las fotografías que sacamos reproducen la corona en todo su brillo; las conservamos, y recientemente las hemos estudiado con detenimiento.

En la figura 21 reproducimos una prueba que obtuvimos en cuarenta segundos. La línea negra que corta la corona, representa la posición de un hilo atravesado en el anteojo con objeto de orientar la figura; el eje polar del Sol está dirigido según la línea perpendicular á la anterior.

Un ligero estudio de esta fotografía basta para convencerse de que la corona no es igualmente extensa en todas direcciones. En la region polar es más estrecha, y su altura apenas llega á la mitad de la que alcanza en el Ecuador. Las diferencias de nivel que se notan en estas regiones, no se producen mediante gradacion continua é insensible; ántes bien, á la distancia de 30 grados de los polos, se nota una variacion incompatible con toda ley de continuidad. Hasta estos puntos la depresion es considerable; despues se eleva el contorno de un modo rápido é irregular hasta los 45 grados, posicion del máximo de elevacion, no correspondiendo ésta al Ecuador, y ofreciendo grandes irregularidades y faltas de simetria la zona comprendida entre los máximos.

Las manchas blancas representan las protuberancias; son difusas, y parecen entrar dentro del disco de la Luna. Esto es resultado de una larga exposicion, y efecto, primero, del movimiento de la Luna, sobre todo, de la difusion de la accion quimica. Respecto á la intensidad de la luz, puede notarse que no es igual

en todas partes, sino mayor en los puntos donde la aureola es más extensa. Comparando las distintas pruebas obtenidas, hemos podido apreciar cómo varía su intensidad con relación á la distancia del limbo solar. Así, una exposicion de seis segundos apenas dió trazas de la corona; otra de doce las dió algo más considerables, y con una de cuarenta obtuvimos la imágen de la aureola en toda su extension.

Todos estos resultados recibieron la más completa confirmacion por las fotografías obtenidas en la India por el mayor Tennant, y por la bellissima que obtuvo Whipple observando el eclipse de 7 de Agosto del 69 en Shelbyville, Kentucky; en la que, á más de las diferencias de nivel notadas en nuestras observaciones del *Desierto*, se ven unas curvas muy pronunciadas, que corresponden á verdaderos arcos luminosos de suma importancia. En esta fotografía se observa, como en la figura 21, una depresion en los polos, análoga posicion en los máximos, y á más, los arcos ya dichos, cuya convexidad aparece vuelta hácia los polos.

En una de las fotografías obtenidas en Cádiz el 70, por los astrónomos americanos, la pequenez del diafragma impide ver las diferencias de altura, pero ofrece la particularidad de mostrar perfectamente una cavidad en que puede observarse bien la curvatura de los rayos de la corona. Tambien Brother, en Siracusa, obtuvo otra prueba en que se observaban análogas cavidades; pero por haber sido tomada hácia el fin de la totalidad, la corona resultó muy excéntrica, y además, la niebla que habia en el momento de la operacion, quitó gran importancia á los detalles.

La corona tiene, pues, ménos altura en una region de 50 á 60 grados, próxima á los polos; pero este hecho ¿es accidental, ó constituye una ley? El problema es de gran interés, y respecto á este punto, así como respecto á otros vários, consideramos de mucho valor las pruebas fotográficas de Davis, á quien lord Lindsay envió á la India á sus expensas para observar el eclipse del 12 de Diciembre de 1871. Lord Lindsay hizo reproducir sobre cristal las pruebas ampliadas, y puestas en un estereoscopio, hizo tomar una cópia de ellas, que publicó y nosotros presentamos al lector en la figura 22. Ya volveremos despues sobre este diseño, para discutir los pormenores que representa con tanta verdad.

Las figuras originales son un poco ovaladas por efecto del movimiento de la Luna que, al avanzar, descubre al Este una parte nueva de la corona mientras la cubre al oeste, pero despues que ha producido una impresion suficiente sobre la capa sensible. La potencia actínica es tan grande cerca del limbo, que basta un tiempo muy corto para producir una impresion completa. Así, la Luna puede cubrir esta region, pero no borrar la imágen ya formada, y de esto resulta el disco ménos ancho en sentido del movimiento, presentando la figura ovalada.

Davis consiguió sacar cinco pruebas durante la totalidad; pero en la primera y en la quinta la disposicion de los penachos es un poco excéntrica (1). La

---

(1) Los penachos á que se refiere el autor, no son del mismo género de todos los señalados en las figuras 19 y 20; hay una clase de penachos que no aparece nunca en las fotografías. *(N. del T.)*

curvatura de los rayos es fácil de observar en todas las imágenes; pero se vé que los arcos de los polos son desiguales, mucho mayores en el Sur que en el Norte. Estas fotografías, como las anteriores, nos muestran que la mayor altura de la corona no corresponde al Ecuador, sino á una latitud elevada.

Las pruebas de lord Lindsay ofrecen la curiosísima particularidad de que, puestas en un estereoscopio, la primera y la quinta producen un relieve sorprendente. En ambas es ovalada la imagen de la Luna, y en el estereoscopio aparece redonda: los rayos se destacan detrás del astro, y las dos figuras, completándose, permiten distinguir perfectamente en relieve la complicada estructura del fenómeno. La ampliacion del instrumento, unida á la delicada transparencia de las pruebas, hace resaltar los menores detalles. Debemos advertir que la fig.<sup>a</sup> 22 está muy léjos de reproducir el efecto óptico de las fotografías sobre cristal. Esto no obstante, la consideramos de tal importancia que creemos deber analizarla minuciosamente.

Los dos vacíos, *arg* y *hil*, que dejan entre sí los rayos que vuelven su convexidad hácia el polo, son sin duda lo que primero llama la atención. Esta curvatura de los rayos se encuentra en las cinco fotografías, y no puede atribuirse por tanto á la vision estereoscópica. En el cuadrante del Noreste (1) se descubren tres rayos *a b c*; es evidente que en *c* hay dos rayos superpuestos, ó á lo ménos, una rama que se

---

(1) El lector notará que en la figura 22 el Oeste aparece á la derecha y el Este á la izquierda.

dirige á *b* formando una hoja, en cuyo interior se descubre el rayo *b* en forma de hierro de lanza. En medio de todos estos rayos aparecen suspendidas unas nubecillas *d*, demasiado ténues para que puedan representarse bien en el diseño.

Hácia el Este, en la region ecuatorial, aparece un rayo ramificado *e*; su forma recuerda ciertas observaciones hechas en otros eclipses, en que se habian visto rayos análogos, pero se habian atribuido á ilusiones ópticas: tales son, por ejemplo, los *cuernos de ciervo* vistos en el *Desierto* por el Sr. Cepeda, los ganchos observados por Struve, etc.

Inmediatamente despues sigue la parte *f*, recta, dividida en dos ramificaciones dirigidas hácia el Sur, una mayor, sensiblemente encorvada, y otra menor, casi recta.

Siguen *h* y *g*, en el cuadrante Sureste, formando curvas cuyas concavidades están dirigidas una hácia otra, de donde resulta una especie de hoja análoga á las observadas en el Brasil por Liais (fig.<sup>a</sup> 20.)

En la direccion del polo Sur se halla la cavidad *i*, opuesta á la del Norte, y estas dos cavidades nos hicieron adivinar la posicion del eje polar ántes de conocer la orientacion de la figura.

En el cuadrante Suroeste hay dos rayos curvilineos *l* y *K*, que abarcan dos masas muy brillantes formando una especie de hoja. En la parte del Oeste se ven dos rayos *m* *n*, muy poco encorvados, casi perpendiculares al eje, limitando otra hoja; una ligera nube aparece entre ellos.

En fin, en el cuadrante Noroeste, los haces *o*, *p*, *q*, constituyen una hoja bien definida, que completa el

contorno hasta llegar á la gran escotadura *r*. Si se compara sin prevencion el diseño de *Liais* con el que acabamos de describir, se reconocerá que hay entre ámbos notable semejanza. Debe tenerse en cuenta que en un exámen rápido, que no duró más que muy cortos instantes, no fué posible á *Liais* hacer un estudio tan completo como el que acabamos de hacer basándonos sobre una fotografía.

Se cometeria, pues, grave error admitiendo, despues de conocer los pormenores que acabamos de exponer, que la corona está formada por un anillo estrecho y uniforme, tal como se observa con los anteojos poderosos. Estos instrumentos, por su gran poder de ampliacion, no sirven para ver los objetos poco luminosos, anonadan verdaderamente la parte ménos brillante de la corona, que es precisamente la exterior, la que contiene las singularidades que acabamos de describir, y no permiten ver más que el estrecho y brillante anillo que rodea inmediatamente al Sol, cuya composicion es próximamente homogénea, segun indican las mismas fotografías. La corona no se vé bien, pues, más que á simple vista, ó con pequeño aumento, y aun así es difícil estudiar los detalles; porque pasando los ojos bruscamente de la viva luz del dia á una oscuridad bastante grande, no pueden distinguirse bien ciertas gradaciones muy delicadas. Para estudiarla con perfeccion, no hay, pues, otro medio que la fotografía.

Maclear habia hecho ya esta observacion, porque examinando la corona sucesivamente con dos anteojos distintos, notó que con el ménos poderoso presentaba la misma forma què á simple vista, mientras que con

el otro, que era de gran fuerza, se reducía á un anillo estrecho y uniforme. (1) Por lo demás, según el testimonio de todos los observadores, la homogeneidad cesa á unos 5 ó 6 minutos del Sol, y en realidad la mayor parte de las ramificaciones que acabamos de describir, no se perciben claramente más que á mucha mayor distancia.

#### § IV. PENACHOS.

Damos este nombre á esas largas bandas, rectilíneas frecuentemente, que parten de la aureola, asemejándose á los rayos que pasan al través de las nubes cuando el Sol está cerca del horizonte.

Si están discordes los observadores respecto á los límites de la aureola, aun lo están más en lo que toca á los penachos, que con frecuencia se prolongan á distancias considerables. Las descripciones difieren de un eclipse para otro y aun en el mismo, pareciendo que el fenómeno varía con la estación en que se observa. Como el asunto es de interés, vamos á examinarlo detenidamente, invitando á los astrónomos á estudiarlo en los eclipses venideros.

En las observaciones antiguas, sólo se había indicado la existencia de estos rayos divergentes y valuado groseramente su extensión. En 1842, ya fueron las descripciones más completas, pero defectuosas aún. En Turin y Pavia observaban Airy y Baily, y no

---

(1) Véase *Revue Scientifique* y *Month. Nat. R. Astr. Society*.

meñionan el fenómeno. Picozzi y Magrini, en Milan, distinguieron dos haces. En el Occidente de Francia, tambien se señalaron dos haces opuestos. Arago vió, cerca del punto culminante de la Luna, una mancha luminosa y extensa, formada por rayos cruzados, y que se asemejaba á una madeja hecha con hilos entrelazados; Peytal los comparaba á un mazo de cáñamo. Algunos observadores notaron que las prolongaciones de estos haces no pasaban por el centro del Sol ni por el de la Luna, y además que algunos eran curvos. En Tolon se distinguieron tres, los dos principales situados en la línea de entrada y salida de la Luna: Petit vió tambien tres, é igual número Struve, quien les asignó una longitud de 4.° 5.

Bien vemos que estas relaciones son confusas y contradictorias, y que es imposible reconocer de modo cierto si se trata de franjas de la aureola, ó de verdaderos penachos. La misma incertidumbre se nota en las relaciones del eclipse de 1854 y siguientes. En 1860 no observamos el fenómeno más que muy rápidamente, hácia el medio del eclipse. Los magníficos penachos que observamos, nos parecieron tranquilos y semejantes á las potencias que se ven á la puesta del Sol. El Sr. Cepeda, que observaba cerca de nosotros, vió un rayo ramificado, como un asta de ciervo; pero quizás esta observacion, como las siguientes, se refieran á la region de la aureola. Tielibzch, en Castellon de la Plana, no léjos del *Desierto*, vió dos haces luminosos parecidos á los brazos de una lira. Struve, en Pobes, vió cinco rayos bien determinados, uno de ellos curvo en forma de gancho. En 29 de Agosto de 1867, Grosch vió dos grandes masas de ra-

yos en la direccion del Ecuador solar, y un penacho doble invertido cerca del polo.

En 1868, en la India, vieron los observadores grandes irregularidades en la corona, pero carecemos de informes exactos. La fig.<sup>a</sup> 23 es el diseño hecho por el capitán Bullock, que condujo á Mantawalok á los profesores del colegio de Manila. Lo más notable de este dibujo es un haz transversal que apareció dos minutos despues de comenzar la totalidad, y persistió hasta el fin; su direccion fué oblicua respecto á la de todos los que aparecieron desde un principio. Este diseño se recomienda por su gran exactitud,\* que ha sido comprobada por comparacion con otros hechos en la cámara oscura. Como nunca se ha conseguido fotografiar las potencias, (1) los profesores del colegio de Manila, con el fin de obviar este inconveniente, adoptaron el partido de preparar hojas en las que previamente habian bosquejado el eclipse y la aureola, y de este modo, introduciendo estas hojas en la cámara oscura, se podia en muy poco tiempo trazar con exactitud los diseños correspondientes á las diversas fases.

En la descripcion del eclipse observado en Chile el 65, el P. Cappelletti hace observar que el rayo más notable, de luz blanca, muy viva, recortado por un lado y esfumado por el otro, correspondia á la principal de las protuberancias. En general, cuando se examinan los diseños de varios observadores, se nota que los penachos parecen distribuidos sobre un cua-

---

(1) Usamos esta palabra para distinguir los penachos infotografiables de los demás. (N. del T.)

drado, ó sobre un exágono, cuyos vértices corresponden á los puntos más elevados de la aureola. Cuando el tiempo está sereno, hay gran semejanza entre las figuras hechas por los distintos observadores del mismo eclipse; pero cuando el aire está agitado, se notan diferencias considerables. La fig.<sup>a</sup> 19, ejecutada el 70 en Terranova por el Sr. Tacchini, está bastante de acuerdo con las observaciones del P. Serpieri en el cabo dell'Armi; pero la semejanza dista mucho de ser completa.

Tales son, en resumen, los datos que poseemos sobre estos curiosos apéndices. Pero ¿cuál es su causa? ¿Debemos buscarla en el Sol, en la Luna ó en nuestra atmósfera? Despues de un maduro exámen, hemos adquirido el convencimiento de que su causa primera radica en el Sol, pero que las apariencias pueden ser notablemente modificadas por la Luna y por la accion de nuestra atmósfera. Á fin de hacer más inteligible nuestra idea, indicaremos un experimento muy fácil de ejecutar, y que nosotros hicimos con motivo del eclipse observado en España. Si en el ventanillo de una cámara oscura se practica un agujero groseramente redondeado, con entalladuras en el contorno, y se cubre imperfectamente con un tapon, el rayo de Sol que caiga sobre el ventanillo, penetrará dentro de la cámara oscura por las pequeñas entalladuras que han quedado libres; ahora bien, si se mira de través esta série de haces, dentro de la cámara, se verá que todos son paralelos; pero si se toma por punto de vista uno cualquiera de los del eje del haz total, se verá aparecer una corona de rayos divergentes alrededor del agujero. Igual resultado daría el

experimento, sirviéndose de un agujero redondo y de un tapon con escotaduras.

El fenómeno es, pues, un efecto de perspectiva, análogo al que se produce algunas veces á la puesta del Sol. Esta experiencia prueba que una escotadura muy pequeña puede dar origen á un haz muy largo, especialmente si hay polvo en el aire, ó está éste impregnado de humo de incienso.

Haciendo aplicacion de estos resultados al caso en cuestion, vemos que puede el Sol dar origen á semejantes haces, bien por sus protuberancias, bien por las partes más brillantes de la corona, que actuarán alrededor de la Luna como las entalladuras del ventanillo alrededor del tapon. Hay que advertir, sin embargo, que se equivócaría grandemente el que juzgase de las dimensiones de la masa luminosa que produce el fenómeno por la extension del haz que percibe; porque esta extension depende en mucho del poder reflector de la atmósfera, y sobre todo, de la posicion del observador. Una masa luminosa que sobresalga del contorno de la Luna, solamente algunos segundos, puede iluminar la atmósfera terrestre en una gran profundidad, y esta *profundidad* se convierte en una *longitud* proporcional del rayo visible. La misma Luna puede contribuir á la produccion del fenómeno, dejando pasar por los intervalos de su accidentado perfil haces luminosos, más ó ménos anchos y más ó ménos bien determinados. La posicion del observador tiene en el fenómeno una influencia capital: así, una distancia de pocos kilómetros entre dos estaciones, bastará para que la corona presente aspectos completamente diferentes.

Además, la atmósfera terrestre no es siempre susceptible de ser igualmente iluminada en todos sus puntos, porque en ciertos lugares es más trasparente y en otros está más cargada de vapor de agua; de aquí pueden resultar esas líneas caprichosas que se observan, y que tambien pueden verse en la cámara oscura cuando se agita el polvo dentro de ella. El análisis espectral nos ha hecho saber, que cuando el aire es poco trasparente, se observan á gran distancia del Sol, y hasta sobre el disco de la Luna, las rayas propias de las protuberancias. Este fenómeno es bien fácil de comprender: la única luz, que en tales direcciones llega al espectador, proviene de las protuberancias y de la corona, pero reflejada y difundida por la atmósfera, y claro es que el espectróscopo debe revelar su origen.

Tal es nuestro modo de ver respecto á la explicacion del fenómeno de los penachos, y nos parece que quien se tome el trabajo de compararlo con los datos de las observaciones, conocerá que es exacto y ajustado al asunto.

Si examinamos los diseños hechos por diversos observadores, veremos que concuerdan generalmente en asignar á los haces la direccion de las principales protuberancias, sobre todo, en las regiones del Ecuador y de las manchas. El P. Capelletti ha hecho esta observacion, que concuerda bastante bien con lo que se vé en los diseños de Moesta 1853, de Gillis 1855, y áun con los nuestros, aunque no procuramos obtener una gran exactitud. En los dibujos de Bullock la coincidencia es perfecta.

Plantamour, en 1860, observó la corona y la di-

bujó tres veces, al principio, al medio y al fin. En el primer diseño, á más de la corona, señaló tres haces de rayos, correspondientes á tres protuberancias en la region de la entrada; en el segundo cinco, dos al Este y tres al Oeste; en el tercero cinco tambien, pero todos en la region de la salida, correspondiendo á las numerosas protuberancias que aparecieron en esta region al fin del eclipse.

Esta observacion está de acuerdo con la hecha por el capitán Bullock, en Mantawalok, que vió, dos minutos despues de comenzar la totalidad, formarse un rayo oblicuo en direccion á una de las protuberancias. Otros observadores, entre ellos Pope Hennessy, aseguran que estos rayos parecen animados de un movimiento fácil de comprobar. Este movimiento aparente tiene una sencilla explicacion, teniendo en cuenta que, cambiando la Luna de lugar constantemente, hace variar de igual manera la posicion de los puntos luminosos con relacion al observador.

Queda por explicar la forma curva que poseen ciertos rayos. Algunos son muy cortos, no se extienden más allá de los límites de la aureola, y no hay duda alguna de que corresponden al Sol completamente. Respecto á los más largos, sin duda puede atribuirse á nuestra atmósfera una buena parte, si se admite, como hemos ya dicho, que estas curvas dependen de la distribucion del vapor en el aire. Esta explicacion, que ya habiamos propuesto ántes, no deja de parecernos plausible; pero es imposible desconocer que no puede aplicarse á todos los casos. Reflexionando sobre lo observado por el Sr. Tacchini, nos hemos convencido de ello. Viajaba este jóven astrónomo

por el Mediterráneo á bordo de un vapor, y al ponerse el Sol, el 8 de Agosto de 1865, observó que sobre el disco del astro se veían dos penachos, á manera de alas, ó más bien semejantes á dos bucles de cabellos, unidos al Sol por un extremo comun, y extendiéndose en opuesto sentido el uno al otro. La altura de este apéndice, que seguía bien el movimiento del astro y con él se ocultó, sería como las 0,7 del disco.

El Sr. Tacchini nos dió conocimiento del fenómeno que habia presenciado, é inmediatamente compulamos el registro en que se consignan las observaciones que hacemos metódicamente respecto á las manchas solares, hallando que, precisamente en aquel día, debia encontrarse sobre el limbo del Sol una mancha acompañada de una gran fácula, cuya forma coincidía con la descrita por el Sr. Tacchini. Nosotros la habíamos observado la vispera, y el día 8 por la tarde debia haber llegado al limbo. En vista de esto, no dudamos en admitir que el penacho visto podia muy bien haber sido producido por una de esas masas luminosas que acompañan á las fáculas, y que son visibles durante los eclipses.

Esta idea ha sido confirmada por nuevas observaciones. Grosch, en Chile, durante el eclipse total del 29 de Agosto de 1867, ha observado un haz de rayos curvos en un todo semejante al designado por el señor Tacchini. (1) Recientemente, un viajero nos ha asegurado haber visto, en Pæstum, salir el Sol con un penacho análogo á los que se ven en los eclipses. Apre-

---

(1) Véase *Bullettino Meteorológico del Coll. Romano*, p. 87. 1867.

surémonos á añadir, que estas explicaciones no se fundan solamente sobre algunos hechos aislados que pudieran ponerse en duda; porque hoy sabemos que en el Sol se producen violentas erupciones que proyectan la materia de que se componen á alturas considerables, con velocidades que se estiman en más de 200 kilómetros por segundo. Si este movimiento se verificara en el vacío, las masas lanzadas con tal velocidad llegarían á una altura muy superior á la de los penachos; pero la resistencia de la atmósfera en que se mueven debe aminorar pronto estos movimientos, aunque no tan pronto que impida se eleve la materia proyectada á una altura suficiente para poder explicar de este modo la formación de los penachos. Ya veremos que, con el auxilio del espectróscopo, se han podido observar algunas protuberancias cuya altura llegaba á siete y aún ocho minutos, sin embargo de que las observaciones espectrales no permiten ver más que la parte más brillante del fenómeno.

Los rayos oblicuos, según este modo de considerar el asunto, se producirían por haces luminosos lanzados en su propia dirección. Se ha objetado á esto, que es imposible que la longitud real de uno de estos rayos exceda de un cuarto del radio solar. La razón supuesta es que varios cometas han pasado tan cerca del Sol en el momento de su perihelio, que debieran haberse encontrado con estos rayos, que de tener gran extensión, hubieran opuesto resistencia al movimiento de los astros, y habrían producido un retraso que jamás se ha observado.

Fácil es responder á esta objeción. Algunos cometas han debido atravesar no solamente los rayos, sino

la corona misma: y al pasar así al través de la atmósfera solar, han podido volatilizarse en parte y escaparse en seguida en estado de vapor, tal como ocurre con los bólidos y estrellas errantes en la atmósfera terrestre. Para demostrar que no puede ser así, sería necesario conocer la parte de órbita que precede al perihelio, y en los casos de que aquí se trata nos es imposible conocerla lo bastante. Entre los cometas que han debido penetrar la capa en que se produce la aureola, debe citarse en primera línea el de 1843, que pasó distante del Sol sólo  $\frac{1}{7}$  del radio de este astro. Es indudable que debió producir gran agitación en la atmósfera solar. Recordamos aún perfectamente la primera observación que hicimos de él en Loreto, la misma tarde en que se vió por primera vez. Una extraordinaria circunstancia hubo en la aparición de este cometa: la luz zodiacal era muy viva y un poco rojiza, de manera que hubo alguna dificultad en distinguir lo que correspondía á cada uno de estos fenómenos; el cometa parecía simplemente una ramificación de la luz zodiacal. La misma apariencia observó en Niza el distinguido astrónomo Cooper. Por lo tanto, si en algun eclipse se observan rayos de forma extraordinaria, es posible que sean producidos por una violenta explosión, ó bien por el paso de algun cuerpo extraño al través de la atmósfera solar.

No es esto decir que nuestra atmósfera no desempeñe importante papel en la producción de estos fenómenos; por el contrario, su acción es incontestable en multitud de casos, y basta con frecuencia para explicarlo todo.

## § V. POLARIZACION DE LA LUZ DE LA CORONA.

¿Es luminosa por sí misma la corona, ó no envia luz más que por reflexion? El problema puede resolverse por dos medios; usando el espectróscopo, ó sirviéndose del polariscopo. Más adelante veremos como puede guiarnos el análisis espectral en este estudio, y llegaremos á penetrarnos de que no sólo es la corona luminosa por sí misma, sino que la mayor parte de la luz que nos envia proviene de su propia radiacion. Pero en la luz que nos envia, ¿no habrá algunos rayos reflejados, unidos á los que emanen de su propia sustancia? Sólo el polariscopo puede dar contestacion á esta pregunta.

La luz de la corona fué estudiada, bajo este punto de vista, en 1860 por Prazmowski, y en 1868 por los capitanes Braunfield y Herschel, hallándola todos sensiblemente polarizada. Nosotros mismos, el 68, hallamos señales de polarizacion; pero como los astrónomos franceses y americanos aseguraban lo contrario, el punto no podia considerarse resuelto en un sentido ni en otro. En 1870 se volvió sobre el asunto, y pareció definitivamente resuelto: todos cuantos se ocuparon de él hallaron cierta cantidad de luz polarizada. Entre los que tal cosa observaron se cuentan Blaserna, Ranyard, Brett, Picquering, Langley, etc.; pero despues del eclipse de 1871 volvieron á dividirse las opiniones. Es, pues, este un asunto que pide nuevo estudio, ó más bien investigar las causas que producen tales diferencias en la observacion del mismo fe-

nómeno. Entremos en algunos pormenores sobre la materia.

Por lo que parece, todas las divergencias provienen, ó de los instrumentos que se emplean, ó del método seguido en la observacion. Prazmowski encontró la polarizacion radical, sirviéndose de un polariscopo de dos cuarzos. El Sr. Blaserna se servia de un polariscopo de Savart, y como con este instrumento, en tales circunstancias, no es fácil determinar el plano de polarizacion, sólo pudo hacer constar que, en Augusta, la cantidad de luz polarizada era considerable, próximamente igual á la que se observa á cuarenta grados del Sol, en un cielo despejado. El estado del cielo, brumoso, era poco favorable para estas observaciones; quizás por esto el Sr. Blaserna juzgó más concluyentes de lo que realmente son los resultados obtenidos. Ranyard, cerca de Augusta, donde el cielo estaba más claro, sirviéndose de un instrumento de la misma clase que el usado por el observador que acabamos de citar, obtuvo los mismos resultados que Prazmowski.

No debemos omitir una particularidad que complica el asunto: Becker (1) y Picquering (2) aseguran haber visto las franjas de Savart, no sólo sobre la corona, sino tambien sobre el disco de la Luna: Lockyer, en 1874, las vió en todas partes, siempre paralelas y en la misma direccion, mientras que otros observadores afirman no haber visto nada de esto.

En vista, pues, de tan opuestos testimonios, no

---

(1) *Monthly Notices*, t. XXXI, p. 59.

(2) *Nature*, t. III.

nos corresponde decidir la cuestion, pero permítase-nos hacer algunas reflexiones sobre ella. Sabido es que, cuando el aire está cargado de vapores, produce difusiones y difracciones, de donde á veces resultan círculos irisados, que durante los eclipses adquieren extraordinario brillo. Los rayos luminosos pueden tambien polarizarse al atravesar una gruesa masa de aire húmedo, y de aquí una causa de error en las observaciones de que se trata. Tyndall ha probado, en efecto, que ciertos vapores difunden y polarizan de un modo notable los rayos que los atraviesan, y además ha visto que tambien pueden estar polarizados los rayos que pasan entre las nubes á la puesta del Sol (1). Vémos, pues, que hay motivo para abrigar dudas sobre las conclusiones sentadas por los que han notado la polarizacion.

Los fenómenos observados á la puesta del Sol se producen en condiciones muy semejantes á las que concurren en los eclipses, y se deberia darles cierta importancia y estudiarlos con atencion. Recientemente, con motivo de los experimentos que hacia el señor Blaserna sobre la luz eléctrica, hemos podido hacer una observacion que vamos á exponer. Desde la colina del Viminal, proyectaba el Sr. Blaserna un haz luminoso sobre el monte Mario: cuando la luz pasaba cerca de nuestro observatorio, sin llegar directamente ni permitirnos ver el punto luminoso, pudimos notar que la luz que iluminaba el aire atmosférico estaba muy polarizada. La luz que, rasando el disco de

---

(1) *Les Mondes*, t. XIX, p. 171.

la Luna durante los eclipses, atraviesa nuestra atmósfera, podría polarizarse de igual modo.

En la incertidumbre en que nos dejan tan opuestos testimonios, sólo nos toca hacer constar que los hechos no han sido bien comprobados, que las circunstancias en que se producen no se han determinado convenientemente, y por último, que no hay elementos bastantes para explicarlos ni para sacar consecuencias. Así, pues, ni se ha probado que la polarización observada durante los eclipses se deba á reflexiones sobre las moléculas de la atmósfera solar, ni tampoco que la corona nos envíe más luz que la suya propia.

Supongamos, en efecto, que el aire atmosférico, ó el vapor de agua, tenga el poder de polarizar por trasmisión, pero en pequeña cantidad: estos pocos rayos quedarán como anonadados en el inmenso torrente de luz que el Sol nos envía de ordinario, y no será posible descubrir su existencia. Pero durante los eclipses, cuando la luz del Sol no llega directamente hasta nosotros, no nos hallamos ya en el mismo caso: los rayos luminosos, paralelos próximamente, que rasan el contorno de la Luna y forman los penachos divergentes, pueden polarizarse por la acción de las moléculas gaseosas que encuentran, tanto más cuanto el aire esté más húmedo.

No es nuestro ánimo exponer una teoría; sólo pensamos aventurar una hipótesis, é invitamos á los físicos á estudiar esta curiosa é importante cuestión antes del próximo eclipse: por lo que respecto á nosotros, suspendemos todo juicio esperando el resultado de sus investigaciones.

## § VI. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA CORONA.

Para terminar el estudio de la corona, debiéramos ocuparnos del análisis espectral de su luz; pero reservamos el asunto para tratarlo en uno de los capítulos siguientes, y nos limitaremos aquí á resumir los resultados de cuanto llevamos expuesto.

1.º Los diseños que hemos reproducido, muestran con evidencia que la extension de la corona no es uniforme. Nosotros lo afirmamos bajo la garantía de las pruebas fotográficas; pues si bien es cierto que la forma de las imágenes así obtenidas depende únicamente de las radiaciones actínicas, es imposible suponer que en estas radiaciones haya tales diferencias sin que se presenten otras análogas en las radiaciones luminosas. Las fotografías pueden darnos, por tanto, idea exacta de la formâ real de la corona.

2.º Buscando las relaciones que pueda haber entre este fenómeno y otros ya conocidos, á primera vista se observa que el máximun de elevacion de la corona corresponde á la region de las manchas y las fáculas; porque se sabe que el mayor número de manchas no corresponde precisamente al Ecuador, sino á los paralelos de los treinta grados. Debe, sin embargo, tenerse en cuenta, que la region más elevada de la aureola es mucho más extensa que la de las manchas, puesto que llega hasta 30 grados del polo, y algunas veces mucho más cerca. Cuando he-

mos procurado hallar la razon de esta diferencia, hemos visto que está íntimamente ligada á la ley de la distribucion de las protuberancias y de las fáculas. Es cosa admitida que estas últimas acompañan generalmente á las manchas, y esto no es completamente cierto; porque examinando atentamente la imagen solar proyectada en una cámara oscura, hemos podido ver que las fáculas, ó granulaciones brillantes, se extienden mucho más allá del límite de las manchas. Con frecuencia, como ya hemos dicho ántes, y muy especialmente en períodos de gran agitacion, se forman alrededor de los polos zonas perfectamente marcadas y muy visibles. Parece, pues, que la corona se extiende hasta estos lugares, y así lo reconoceremos más claramente cuando nos ocupemos del estudio de las protuberancias.

Una larga série de observaciones nos ha probado que la distancia al polo es muy variable: en la época del último eclipse, el 12 de Diciembre de 1871, era tan pequeña que hasta sobre el polo se veian protuberancias, cosa que de ordinario no sucede. Veremos si los próximos eclipses confirman esta explicacion.

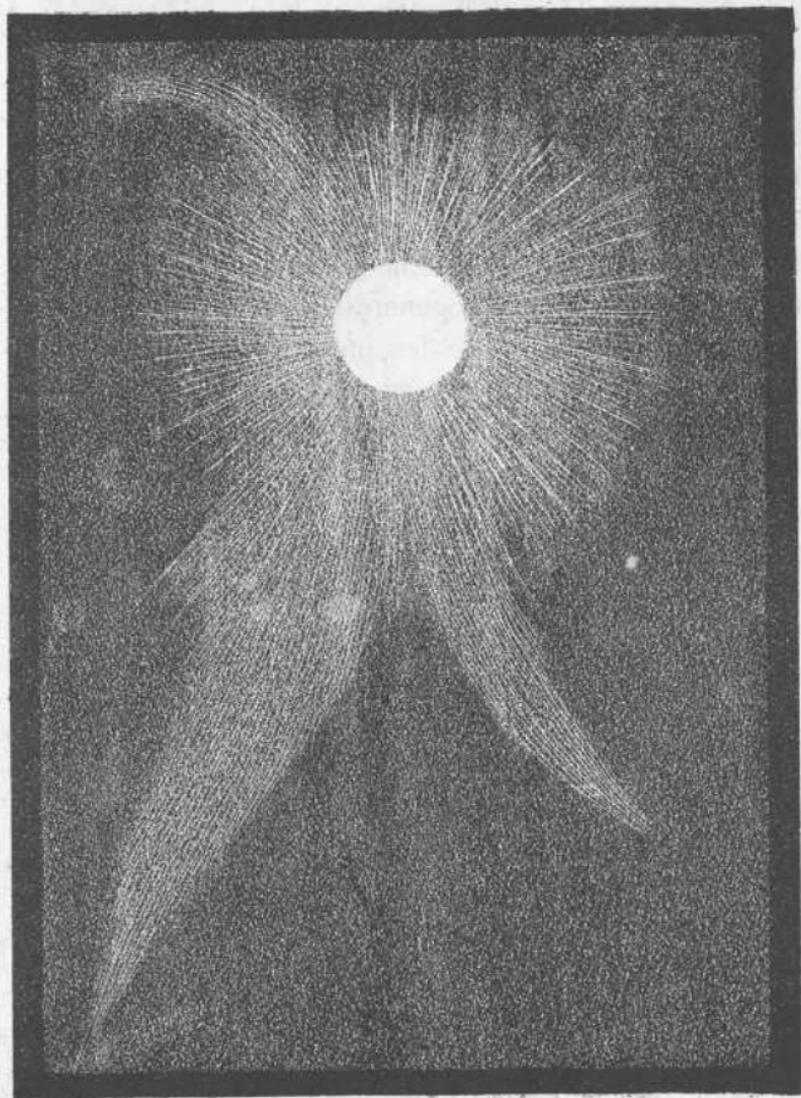
3.º En cuanto á los rayos curvos de la aureola, que han sido observados directamente, y cuyas fotografías no permiten dudar de su existencia, decimos que prueban claramente que las altas regiones de la atmósfera solar no están ocupadas por masas en reposo; ántes bien, en ella se verifican movimientos en extremo rápidos. Esta conclusion que se impone á cuantos han examinado sin preocupacion las fotografías de lord Lindsay, ha impresionado tan vivamente á

Janssen, durante sus observaciones, que á su vuelta de la India la ha proclamado altamente.

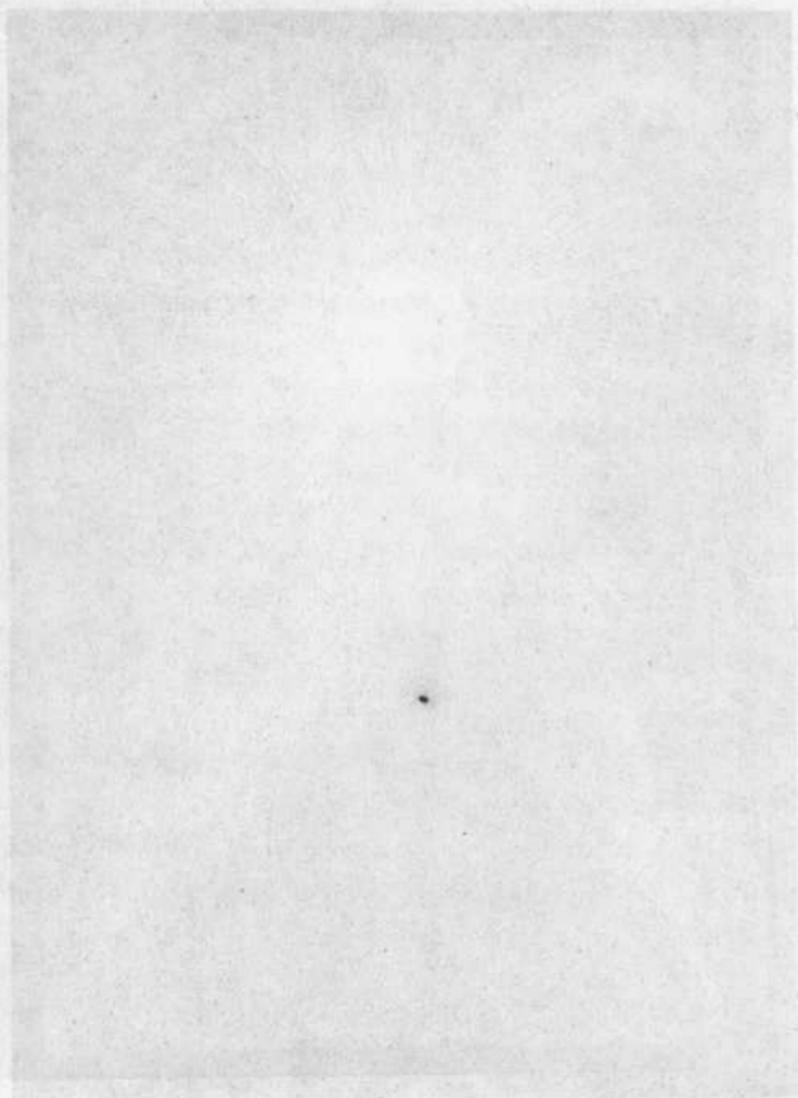
Desde luego, estas capas atmosféricas deben estar animadas de una circulacion tranquila y regular, análoga, salvo en la rapidez de los movimientos, á la que se observa en las atmósferas de los planetas; pero ademas de esto, deben verificarse movimientos irregulares y violentos, verdaderas explosiones, súbitas, gigantescas, producidas por masas considerables, lanzadas de abajo arriba por las capas inferiores. En medio de esta circulacion general, deben producirse acciones particulares y locales, cuya influencia debe ser muy grande, puesto que se trata de la accion de masas enormes elevadas á temperaturas altísimas. Hay en esto una série de problemas que se ofrecen por sí mismos á nuestra consideracion, y cuyas soluciones nos conducirán sin duda á consecuencias inesperadas. Sirvanos al ménos por ahora este ejemplo, para saber con cuanta prudencia debe procederse cuando se trata de negar hechos comprobados por hombres eminentes, por solo la razon de no poder explicárnoslos.

Grandes diferencias hay entre las figuras que representan distintos eclipses; pero no debe sorprendernos esto, ni tampoco servirnos de fundamento para achacarlo á falta de las observaciones; porque estas diferencias pueden existir realmente, como existen variaciones en las manchas y en las protuberancias. El último eclipse ocurrió en época de gran actividad solar, y quizas por esto fué entonces la corona tan esplendente. Si el eclipse se produjera en un período de calma, las apariencias serian diferentes por completo.

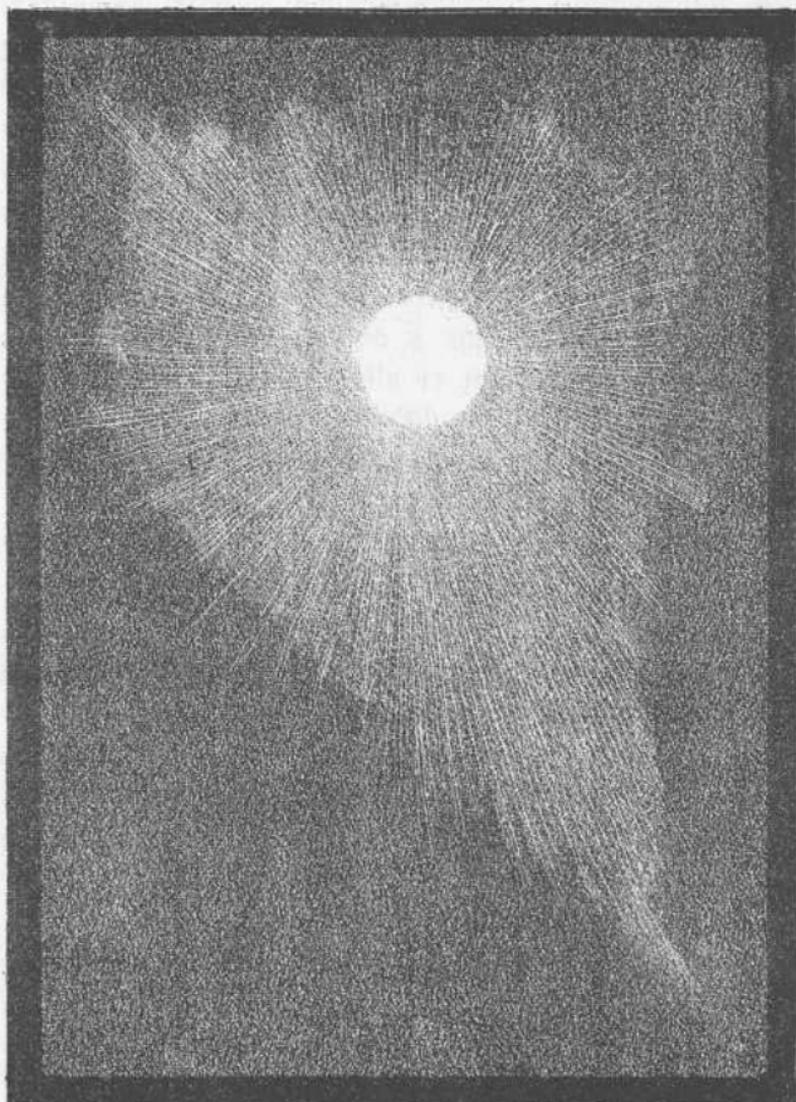
Fig. 25<sup>a</sup>



#22 012



*Fig. 24<sup>a</sup>*



The first part of the paper is devoted to a general discussion of the problem. It is shown that the problem is equivalent to a problem in the theory of differential equations. The second part of the paper is devoted to a detailed study of the problem. It is shown that the problem is solvable in closed form. The third part of the paper is devoted to a study of the properties of the solutions. It is shown that the solutions are unique and stable. The fourth part of the paper is devoted to a study of the asymptotic behavior of the solutions. It is shown that the solutions approach a steady state as time goes to infinity.

The author wishes to thank the National Science Foundation for their generous support of this work.

4.º Aún no conocemos con certeza los límites de la corona, ó por lo ménos, de la atmósfera en que se manifiesta. Nuestro conocimiento está limitado por el poder de nuestros instrumentos, la sensibilidad fisiológica de nuestros órganos, y la impresionabilidad de nuestras preparaciones químicas. De las regiones que están fuera del alcance de estos medios, nada sabemos; y bien puede haber en ellas una materia más rarificada que no ejerza acción apreciable sobre nuestros sentidos. Se ha supuesto, y no sin razón, que la atmósfera solar se extiende á muy considerable distancia, y que quizás es ella la productora de la luz zodiacal, como sospechaba Olbers; pero sin pretender tanto, bien podemos pensar que llega hasta la extremidad de los penachos, y ya veremos que esta hipótesis no entraña ningún imposible.

5.º Todo el mundo conviene actualmente en que la corona es propia del Sol; pero podría pensarse si no habría algún medio, por ejemplo, un eclipse artificial, para poder verla en cualquier ocasión. Nosotros sabemos que, en ciertas circunstancias particulares, el Sr. Tacchini ha visto algo de esto cerca del horizonte; últimamente ha podido verla por completo en medio del día. Hé aquí lo que nos escribió el 28 de Mayo de 1871: «El azul del cielo, en el zenit, era muy oscuro; jamás lo he visto semejante. Á las nueve miraba hácia el Sol cubriendo su disco, y observé una aureola cuya forma es ésta (fig. 24.) Después de hecha la observación, rogué al Sr. Delisa hiciese otra, sin decirle nada de lo que había visto. Al cabo de algunas horas había terminado su dibujo, y héle aquí (fig.<sup>a</sup> 25).

»El cambio de direccion que se observa en el penacho mayor, depende sin duda de la variacion de posicion de la esfera celeste ocurrida entre ámbas observaciones. Por la tarde se veia el Sol en el horizonte con una cola bastante perceptible, de forma triangular, de color amarillo anaranjado, y en direccion de Júpiter y Vénus.»

Al terminar su carta, reconoce el Sr. Tacchini la importancia de hacer observaciones sobre el Etna, donde la atmósfera presenta un matiz muy oscuro, proyecto que nosotros habiamos propuesto. Por los ensayos que hicimos en Augusta, en la época del eclipse, vimos que hay para la ciencia en esto un interés de primer orden. El cielo de Sicilia es de uña limpidez admirable; el de Roma, comparado con él, parece súcio y nebuloso.

Consignemos aún una idea que quizas no carezca de importancia. La ciencia moderna ha averiguado que existe una cantidad de materia cósmica, análoga á las nebulosas, circulando como los cometas en el interior del sistema solar, y que en la época del perihelio se halla muy próxima al Sol. Quizás este hecho no sea extraño á ciertas apariencias que se observan en los eclipses ¿Y será imposible que alguna de esas masas cósmicas, iluminada fuertemente por el Sol, produzca los arcos y rayos curvos de que ya varias veces hemos hablado? El tiempo aquilatará el valor de esta idea, que al presente sólo es una conjetura.

La corona, pues, existe en el Sol, no se forma por la accion de la Luna; pero es un fenómeno en extremo complejo. Ciertamente es luminosa, mas no está

probado que sea incapaz de reflejar la luz solar. Sus límites aparentes dependen principalmente de la actividad del Sol, sin que dejen de sufrir la influencia de nuestra atmósfera. Sus límites reales son desconocidos, y probablemente se extienden hasta la luz zodiacal.

### CAPÍTULO III.

**De las protuberancias ó prominencias rojas,  
que se observan durante los eclipses totales de Sol.**

#### ADVERTENCIA PRELIMINAR.

El fenómeno de las protuberancias es conocido en la actualidad por todos, y así podría creerse cosa inútil el relato de la historia de su descubrimiento. Nosotros mismos habíamos pensado omitirla, pero desistimos de esta idea porque, á más de la importancia del asunto, hay en la historia del descubrimiento un ejemplo palpable del procedimiento analítico seguido por la ciencia contemporánea. En el relato que sigue, verá el lector con cuanta paciencia y perseverancia se han estudiado los menores detalles, y cómo se ha podido llegar á obtener admirables descubrimientos por medio de fenómenos al parecer insignificantes. Juzgamos que el lector quedará satisfecho, porque siem-

pre se encuentra placer en contemplar el origen de una gran corriente.

## § I. PRIMERAS OBSERVACIONES DE LAS PROTUBERANCIAS.

La atención de los observadores se dirigió por primera vez, en el eclipse del 8 de Julio de 1842, hácia esas gigantescas llamas, más ó ménos rojas, que parecen extenderse alrededor de la Luna. La sorpresa que les causó este inesperado fenómeno, no les permitió hacer observaciones exactas, de modo que hubo completa discordancia en los relatos. Baily notó tres prominencias muy grandes, que dividian el limbo en partes casi iguales. Airy también observó tres, en forma de dientes de sierra, pero situadas en la parte superior. Arago vió dos en la parte inferior. Struve y Schidofsky notaron las mismas que Arago, y á más una banda roja que abarcaba un arco de cerca de cuarenta y cinco grados. En Verona se vieron estas llamas áun algun tiempo despues de la reaparicion del Sol.

Estos apéndices tenían dimensiones considerables. Petit, astrónomo francés, midió la altura de uno de ellos y la encontró igual á  $1'45''$ , lo que equivale á 6 diámetros terrestres, ó sea, 80,000 kilómetros. Las valuaciones hechas por otros variaban entre un minuto y 2 segundos.

Inmediatamente se abrió discusión sobre la naturaleza de las protuberancias. La primera opinion fué creerlas montañas, pero esto no podía conciliarse con las observaciones de Arago, segun las cuales alguna

de estas supuestas montañas era muy inclinada, y tan fuera de aplomo que el equilibrio no podía existir. La mayor parte de las personas doctas se inclinaron á considerarlas como nubes; pero cierto número, fundándose en el poco acuerdo que habia entre los observadores, declararon que no eran más que ilusiones ópticas, efectos de espejismo producidos en la superficie de la Luna: tal fué la opinion de Falle, Marquez y Feilitch. Preciso era, por lo tanto, hacer nuevas y cuidadosas observaciones en los eclipses siguientes, y examinar las observaciones antiguas.

En realidad no era nuevo el fenómeno; pero como ocurre frecuentemente con las cosas extraordinarias de que no tenemos idea, no se habian comprendido las descripciones antiguas, desde luego inexactas y exageradas. Los observadores antiguos decian haber visto mellas en el disco de la Luna, y llamas, nubes, relámpagos y tempestades en la atmósfera de este astro. El fenómeno de las mellas ó escotaduras, es debido á la irradiacion, y se produce fácilmente cuando se observa á simple vista, ó haciendo uso de una ampliacion pequeña, como han notado Hennesey y Rey en el eclipse de 1868.

Entre las observaciones antiguas, la más detallada es la hecha por Wassenius en Gutemburgo el 2 de Mayo de 1733. En la corona, que atribuia á la atmósfera de la Luna, creyó ver flotar varias nubes rojas; una de ellas parecia mayor que las otras, y formada por tres masas superpuestas, *completamente separadas del disco de la Luna* (*Phil. Transact.*, t. XXXVIII, y *Astr. Nachr.*, n.º 463.)

Con impaciencia se esperaba el eclipse de 1851,

que debía ser total en Suecia; Airy organizó una expedición, y preparó los instrumentos necesarios para tomar las magnitudes con exactitud. Llegado el momento de la totalidad, observó desde luego una protuberancia en forma de escuadra, terminada en punta, debajo de la cual se veía un cono pequeño, y más lejos una nube flotante; un poco después, distinguió más arriba de la escuadra una punta, y al cabo de un minuto, otra protuberancia en el lado opuesto; últimamente observó un arco rojo unido al limbo de la Luna. Los demás observadores vieron lo mismo con ligeras diferencias en la forma. El diseño hecho por Carrington es casi idéntico á la descripción que acabamos de hacer, sin más diferencia que notarse una ligera nube blanquecina, que junta la protuberancia principal con la nube aislada. Sin embargo, la primera protuberancia observada por Airy, no tenía una forma completamente igual en los diseños hechos por observadores situados en estaciones muy apartadas unas de otras. Así, para Hind, apareció el brazo de la escuadra, paralelo al limbo, mucho más corto que había parecido á Airy. Dawes observó una forma intermedia entre ámbas, y á más, el arco rojo le pareció mucho más extenso.

Por último, Talbot, situado casi en el límite de la zona de la totalidad, vió el arco abrazando una extensión próximamente igual á una semicircunferencia.

Estas observaciones nos permiten formular con certidumbre las conclusiones siguientes: 1.<sup>a</sup> Las protuberancias no son montañas; esta hipótesis puede conciliarse con las formas que afectan. 2.<sup>a</sup> Debemos considerarlas como masas gaseosas, cuyas formas son

bastante análogas á las de nuestras nubes; sus contornos recuerdan bastante bien el humo que sale de los volcanes: 3.<sup>a</sup> La variedad de formas atribuidas á una misma protuberancia, puede depender de variaciones reales, pero tambien puede consistir en inexactitudes de los diseños: 4.<sup>a</sup> Hay relacion evidente entre las protuberancias y los arcos rojos que se observaron el 42, y mucho mejor esta vez; hay fundamento racional para suponer que estos arcos son parte de una capa continua que envuelve al Sol: 5.<sup>a</sup> Como quiera que se vé disminuir el tamaño de las protuberancias en los lugares hácia donde la Luna se aproxima, y aumentar en aquellos de donde se aleja, debe suponerse que el fenómeno tiene lugar en el Sol mismo: 6.<sup>a</sup> No todos los observadores han visto el mismo número de protuberancias, ni todos les han asignado las mismas formas. Esta circunstancia está motivada por la rapidez del fenómeno, cuya totalidad dura tan poco que no permite examinar todo el contorno del disco con la atencion que se emplearia en otras circunstancias.

Estos resultados no parecieron bastante ciertos á algunos astrónomos. Las mensuras parecieron poco exactas, las descripciones discordantes; y así continuaron considerando el fenómeno como una ilusion óptica, efecto de interferencia y espejismo. Para que todos se convencieran, eran necesarios testimonios irrecusables, medidas tomadas con exactitud mecánica, y sólo la fotografia podia satisfacer estas exigencias; por eso se le concedió tanta importancia en el eclipse de 1860.

Aparte de estas dudas, en verdad poco fundadas, habia que resolver varios problemas importantes:

1.º ¿Cuál es la intensidad luminosa de las protuberancias? 2.º ¿Cuál es su calor real? 3.º ¿Qué relaciones tienen con las manchas y con las fáculas? Para resolver estos problemas, había necesidad de tomar con gran exactitud ciertas magnitudes, operación que sólo la fotografía podía hacer en tan poco tiempo. Sin embargo, como la fotografía, especialmente en circunstancias tan excepcionales, es un medio de investigación poco seguro y sugeto á contratiempos, se cuidó de comprobar sus indicaciones por medio de instrumentos especiales, que permitiesen tomar directa y rápidamente medidas suficientemente exactas. Para conseguir esto, propusieron los astrónomos diferentes medios que no carecen de valor y de importancia, y que podrán usarse siempre que las circunstancias no permitan emplear medios más perfectos, pero que sería inútil exponer aquí minuciosamente.

Se propuso, para medir las dimensiones de las protuberancias, dividir el campo del anteojo en pequeños cuadrados por medio de hilos de grueso suficiente, colocados en dos direcciones rectangulares entre sí, y á distancias conocidas de antemano. Este procedimiento tenía grandes ventajas, pero presentaba el inconveniente de obstruir el campo de vision. Nosotros obtuvimos buen éxito usando un medio distinto, que consiste en colocar en el campo del anteojo dos hilos de platino, no muy delgados, formando entre sí un ángulo bastante agudo para que se puedan valuar las protuberancias sin auxilio del tornillo micrométrico. Para tomar los ángulos de posición, guarnecemos el ocular de una alidada provista de una punta y móvil sobre un círculo de carton, en el que

podia hacerse una señal, por medio de la punta en el momento conveniente, sirviendo asi para determinar despues comodamente el ángulo de posicion.

El éxito, como el lector verá, fué completo; y recomendamos á los observadores estos medios de operar, seguros y expeditos. Solamente que, como nada dice la fotografia respecto á los colores, es preciso suplir esta falta por observaciones directas. Bien es cierto que no todos los observadores experimentan iguales impresiones en presencia del mismo objeto, y que los ojos no son instrumentos comparables; pero sin embargo, todos están conformes en declarar que las protuberancias tenian un color rojo más ó ménos claro, mezclado de violeta. Debe notarse, no obstante, que la protuberancia en escuadra de 1854, era blanca por la base, y que igual cosa puede decirse de las de 1860. El color rosa dominaba generalmente, pero sobre los bordes se veian nubes amarillas, perfectamente definidas, y las bases eran blancas. La Rue, que observó lo mismo, habia preparado una série de telas de color, para servirse de ellas como de términos de comparacion, pero por falta de luz no pudo usarlas. Podrian haberse empleado llamas coloradas, ó mejor aún, tubos de Geissler, pero el análisis espectral ha hecho abandonar todos estos proyectos. Sin embargo, todavia no ha sido dicha la palabra final sobre el asunto. En el eclipse que observamos en Sicilia, vimos una magnífica protuberancia terminada por hermosa cúspide amarilla, y esta observación fué confirmada por el P. Denza; seria conveniente ver si esto ha sido un hecho aislado, ó si se repite en los eclipses venideros, teniendo en cuenta que la fo-

tografía nada puede revelar sobre el asunto. Además, en otras ocasiones se han encontrado en las pruebas fotográficas protuberancias que nadie había observado directamente, lo que induce á creer que no emitirían más que rayos químicos. Por otra parte, sería muy conveniente comparar los resultados de la observación directa con los de la espectral. Así pues, sea cualquiera el grado de perfección á que hayan llegado nuestros medios, y á pesar del empleo del preciosísimo método fotográfico, no será inútil, ni mucho ménos, hacer buenas observaciones ópticas de las protuberancias en los próximos eclipses.

## § II. FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS EN ESPAÑA DURANTE EL ECLIPSE DE 1860.

Á fin de poner al corriente al lector de los medios empleados por los astrónomos para fotografiar los eclipses, vamos á exponer minuciosamente los preparativos que se hicieron en 1860 y los resultados obtenidos. Algunos ensayos se habían hecho ántes, pero ésta fué la primer tentativa verdaderamente fructuosa. Respecto á las expediciones posteriores, nos limitaremos á consignar los resultados. Ya hemos dicho que se organizaron dos expediciones para observar fotográficamente el eclipse de 1860: la primera por la Rue, la segunda por nosotros, con la colaboración del Sr. Aguilar, director del Observatorio de Madrid, y del Sr. Monserrat, profesor de Valencia. La Rue eligió á Rivabellosa, cerca del Atlántico; nosotros

nos situamos en el *Desierto de las Palmas*, próximo al Mediterráneo.

Ambos teníamos que vencer la misma grave dificultad, porque ignorábamos completamente el poder fotogénico que posee la luz durante los eclipses, y no sabíamos si podríamos obtener pruebas operando con la rapidez que el caso requería. La Rue había adoptado el heliógrafo de Kew, y como las imágenes formadas en el foco del objetivo eran muy pequeñas, decidió ampliarlas con el ocular. Nosotros, por el contrario, preferimos tomar la imagen directa del objetivo de Cauchoix. Esta imagen tenía veinte y cinco milímetros de diámetro, y daba resultados perfectamente visibles; por lo demás, siempre nos quedaba el recurso de ampliarla por uno de los procedimientos conocidos. Dos razones tuvimos en cuenta para preferir este procedimiento: 1.<sup>a</sup> La débil intensidad de la luz, que supuesta igual á la de la Luna llena, haría precisa la exposición durante un minuto si ampliáramos la imagen, y sin ampliarla, había de exigir menos tiempo y dar resultados más seguros: 2.<sup>a</sup> Disminuyendo nuestro proceder, el tiempo de exposición nos permitiría tomar mayor número de fases del fenómeno.

Los resultados han probado que ámbos sistemas tienen sus ventajas propias. En las imágenes ampliadas se distinguen más detalles; en las directas se fija una mayor extensión de la corona.

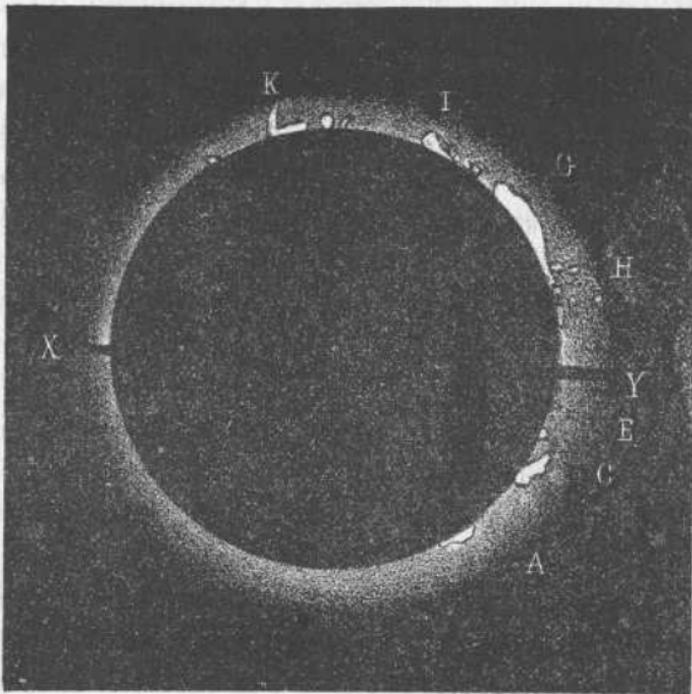
Nuestra primer placa no fué expuesta más que durante seis segundos, y sin embargo, á más de las protuberancias se marcaron sensiblemente las trazas de la corona. La segunda estuvo expuesta por veinte se-

gundos próximamente, pero en este tiempo sufrió tres sacudidas el aparato, y resultaron otras tantas imágenes de cada protuberancia; de donde se infiere que, con un objetivo de seis pulgadas, como el nuestro, basta una corta exposicion para la fijacion de estos apéndices. La eleccion del método depende, pues, del objeto que se proponga el observador; pero con los delicados medios de que hoy se dispone, se puede abreviar el tiempo en gran manera, y no es preciso recurrir á grandes anteojos. Lord Lindsay ha obtenido resultados maravillosos ampliando sus imágenes, que no tenian más que de 8 á 10 milímetros de diámetro. Cuando se trata de obtener las protuberancias empleando solamente el objetivo, á ménos de no cuidar de que la exposicion sea verdaderamente instantánea, las pruebas resultarán *pasadas*. Si no se quiere ó no se puede proceder así, debe ampliarse la prueba sirviéndose del ocular.

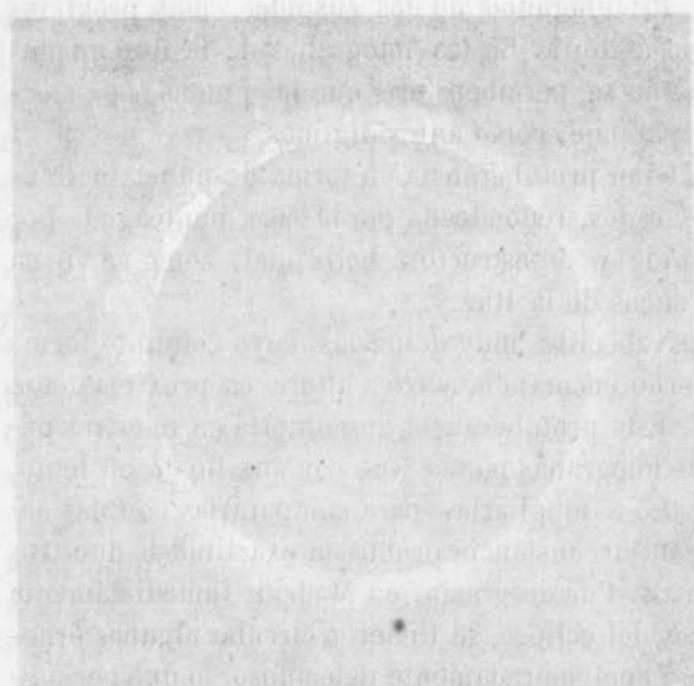
Un año despues del eclipse, hemos ampliado nuestras pequeñas fotografías en union con la Rue, de modo que nuestras pruebas tuviesen las mismas dimensiones que las suyas, y hemos hallado entre ambas la más perfecta identidad en los detalles. No habia más diferencia sino que, en Rivabellosa, las protuberancias superiores eran más altas que en el *Desierto*, y lo contrario ocurría con las inferiores. Este fenómeno se debia á una pequeña diferencia de paralaje, por estar una de las estaciones un poco al Norte y la otra un poco al Sur de la linea central de la totalidad. (Véanse, *Memorias del Observatorio del Col. Romano*).

Bastará, pues, describir nuestras fotografías com-

*Fig. 26<sup>a</sup>*



Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or title.



Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a footer or concluding text.

parándolas con las obtenidas por el astrónomo inglés.

La figura 26 representa la primera prueba, tomada inmediatamente después del principio de la totalidad. En ella se ven siete protuberancias principales.

A. Protuberancia de dos cúspides, muy próximos y de poca altura. En las fotografías de la Rue apenas se ven; no se perciben más que las puntas, por efecto del paralaje, como ántes digimos.

C. Gran protuberancia en forma de nube, inclinada 45 grados, redondeada por la base, punteaguda por el cúspide y de estructura helizoidal, como se vé en las pruebas de la Rue.

E. Nubecillas muy delicadas, cuyo conjunto forma un cuerno encorvado, y cuya altura es próximamente 2'40". Esta protuberancia descubierta en nuestras pequeñas fotografías por la Rue con auxilio de un lente, le decidió á ampliarlas para compararlas con las suyas. Esta circunstancia prueba la exactitud de nuestros negativos. Por desgracia, en Madrid, inmediatamente después del eclipse, se hicieron circular algunas pruebas en papel sobradamente defectuoso, lo que perjudicó mucho á nuestras fotografías en la opinion de las personas doctas, hasta el momento en que la reproduccion hecha á la vista de la Rue, ha venido á probar lo que habíamos dicho respecto á la identidad de nuestros resultados y los suyos.

H. Grupo complicado de nubecillas, formando en su parte inferior una especie de cruz.

G. Monton enorme de materia brillante que ha pasado la prueba, de modo que los detalles del interior

han desaparecido. Su forma redondeada prueba que no está en contacto inmediato con el Sol, sino suspendido en su atmósfera. Visto con el anteojo, tenía completamente el aspecto de una cadena de montañas, terminando sus cimas en picos amarillentos. Puede notarse que esta protuberancia parece entrar en el disco de la Luna, formando una escotadura en él. Esta apariencia se debe al movimiento efectuado por la Luna durante al tiempo de exposicion; porque avanzando el astro en direccion á la protuberancia, impedía la fijacion de la corona, y no de la primera, cuya fuerza actínica es mucho mayor. En las fotografías ampliadas se ven los contornos de las protuberancias perfectamente señalados, mientras que el de la Luna aparece incierto. Esta circunstancia explica tambien el curioso fenómeno que se observa en las fotografías de la Rue, cuyas placas, habiendo estado expuestas durante un minuto, han experimentado notablemente la accion del movimiento de la Luna, y el borde de este astro parece doble, viéndose dentro del disco el arco rosa de que hemos hablado.

I. Llama gigantesca, ó más bien, cúmulo enorme, en que se distinguian matices amarillo y rojo: La Rue lo comparaba á un árbol derribado.

K. Prominencia de dos vértices, de los cuales el más delgado y ménos luciente se prolongaba en forma de cuerno. Esta protuberancia es más pequeña en nuestra fotografia que en las de la Rue, por igual razon á la que produce efecto contrario en el punto A.

En toda la parte de la izquierda no se veia protuberancia alguna.

La línea XY representa un hilo colocado en el an-

tejo según el paralelo celeste, con el fin de revelar la posición de las protuberancias respecto al Ecuador solar.

La segunda fotografía tuvimos desde luego que considerarla como inútil, porque, según ya hemos dicho, el antejo llevó varias sacudidas y se produjeron impresiones múltiples; realmente este contratiempo la dotó de un valor precioso, puesto que sirve para mostrar la potencia actínica de las llamas. Algunas de las imágenes en ella reproducidas se fijaron en ménos de tres segundos.

La tercer fotografía que obtuvimos, necesitó treinta segundos de exposición, y durante ellos comenzaron à aparecer las protuberancias del lado izquierdo. Pero lo más notable de esta fotografía es la extensión de la corona, irregular en gran manera, más extensa à la derecha y à la izquierda que en los demás sentidos, esto es, más desarrollada en el plano del Ecuador que en la línea de los polos, pero más desarrollada aun à la latitud de 40 à 50 grados. Ya habíamos hablado de estos detalles al tratar de la corona, y debemos añadir que los creemos inimitables mediante el grabado.

Otra fotografía más obtuvimos que, comparada con las de la Rue, da resultados análogos à la ya descrita. Alguna parte de ella se pasó de exposición, pero como quiera que al propio tiempo hacíamos observaciones ópticas, reunimos los elementos necesarios para neutralizar el inconveniente de que hemos hecho mérito.

Un momento despues del medio de la totalidad, vimos aparecer una série de vivas llamas rojas y ama-

rillas; pero lo que más llamó nuestra atención fué una nube color de rosa, completamente suspendida en el interior de la corona. Acto seguido avisamos á nuestros colegas é hicimos un diseño, porque este fenómeno lo consideramos entónces como decisivo bajo el punto de vista teórico, puesto que confirmaba manifiestamente ciertas ideas que hoy tienen ya bases mucho más sólidas.

Sensible es que hayan resultado defectuosas ámbas séries de fotografías en esta fase del eclipse; pero al ménos poseemos los documentos necesarios para comprobar los fenómenos que deseábamos conocer. En estas fotografías, y por las causas que ya hemos dicho, las protuberancias muerden el disco de la Luna.

Con el fin de poder comparar nuestras fotografías con las de la Rue, las ampliamos hasta que unas y otras resultaron de igual dimension, y entónces, dando de aceite una prueba para hacerla trasparente, la superpusimos á otra de la Rue, resultando idénticas, salvo en los pequeños detalles ya enumerados; creemos por lo tanto inútil reproducir las pruebas de Warren de la Rue.

De las anteriores é importantes observaciones pueden sacarse las consecuencias siguientes:

4.º Las protuberancias no son apariencias producidas por ilusiones ópticas; son fenómenos reales que tienen lugar en el Sol. Habiendo sido hechas nuestras observaciones en dos puntos distantes entre si un centenar de leguas, no es posible suponer que apariencias tan claras y tan idénticas reconozcan por causa el espejismo ú otro fenómeno semejante.

2.º Las protuberancias son aglomeraciones de

materia luminosa que tienen gran poder iluminante y notable actividad fotogénica. Esta actividad es tan grande, que varias protuberancias de las que aparecen en las pruebas, entre ellas precisamente la *E* (fig.<sup>a</sup> 26), no han podido ser observadas directamente, ni aun con muy buenos instrumentos: es de creer que esto dependería de que no emitia rayos luminosos, y sólo rayos quimicos.

3.<sup>o</sup> Hay ciertos conjuntos de materia propia de las protuberancias que se hallan suspensos y aislados, como las nubes en nuestra atmósfera. Las formas que afectan, cambian, y la variacion se verifica con la lentitud necesaria para que hayan podido comprobarse durante diez minutos.

4.<sup>o</sup> Á más de las protuberancias, existe una capa de materia de igual naturaleza que envuelve al Sol por todas partes. Proviene las protuberancias de esta capa; son masas que se elevan sobre el nivel general, y á veces se desprenden completamente. (1) Algunas de ellas se asemejan al humo que sale de las chimeneas, ó de los cráteres de los volcanes, que cuando llega á cierta altura, obediendo á la accion de los vientos, se inclina horizontalmente.

5.<sup>o</sup> Esta conclusion se desprende naturalmente de la observacion de la protuberancia *C* (fig.<sup>a</sup> 26). Otras varias, observadas el 54 y sobre todo el 55, la habian ya puesto de manifiesto.

6.<sup>o</sup> El número de protuberancias era incalcula-

---

(1) Esta conclusion, que es hoy una verdad comprobada diariamente, fué entonces recibida como una hipótesis aventurada.

ble. Observado el Sol directamente, nos pareció completamente rodeado de llamas, y en tan gran número que nos parecía imposible contarlas. La observacion fotográfica justificó plenamente la primera impresion. (1).

7.º La altura de las protuberancias es muy considerable, sobre todo teniendo en cuenta en la valuacion la parte que eclipsa la Luna. Así, la protuberancia *E* no tenia ménos de tres minutos de altura, ó sea diez diámetros terrestres. Las demas, en su mayor parte, alcanzaban de uno á dos minutos de elevacion.

### § III. OBSERVACIONES POSTERIORES DE LAS PROTUBERANCIAS.—SUS RELACIONES CON LA CORONA.

Todas las observaciones hechas posteriormente, han confirmado los fenómenos observados en 1860. En *The Monthly Notices of Ast. Soc.*, t. XXIX, puede el lector hallar los resultados de las fotografías obtenidas en la India por el mayor Tennant durante el eclipse de 1868, fotografías reproducidas en Lóndres por Warren de la Rue.

No fué en este eclipse menor el número de protuberancias que el observado en 1860; y como á más de ser numerosas, las estaciones de observacion ocupaban una linea muy extensa, el tiempo total útil para

(1) Hoy se sabe que el número de protuberancias es muy variable segun la época, la de 1860 era de grande actividad en el Sol.

la observacion fué más considerable, y permitió por tanto el exámen de algunos pormenores que hubiera sido imposible en otras circunstancias.

Así, Tennant fotografió en Guntoor una protuberancia á la que la observacion directa señaló una altura de tres minutos, mientras que la mensura fotográfica la asignó 3'22", ó sea unos 650.000 kilómetros, mas de diez veces el diámetro terrestre. Pues bien, la fotografia de la misma protuberancia hecha en Aden por la expedicion alemana cuarenta minutos ántes, difiere de la hecha por Tennant, mostrando así que en ese intervalo se habia realizado un movimiento sensible en su masa. En realidad, estos movimientos y los cambios consiguientes parecen confirmados por los diseños de todos los observadores. Así, en Malaca, señalan los observadores franceses la gran protuberancia inclinada hácia la derecha, y dos horas más tarde, en Mantawalock, aparece recta como una torre y terminada por una punta dirigida en sentido opuesto; en Aden se inclinaba hácia la derecha, en Labouan hácia la izquierda. Por lo demás, tanto las observaciones ópticas como las fotográficas le asignaban una estructura en espiral; siendo tales el número y la clase de observaciones, que no permiten dudar del hecho.

En las fotografias que hemos citado, se observa tambien la traza de un arco color de rosa, y de una nebulosidad asaz viva que se extiende desde el Ecuador hasta la region de las manchas. En 1867, á pesar de una nube que velaba la corona, pudo el P. Cappeletti observar en la misma region una luz bastante nitensa.

Durante el eclipse de 1869, hicieron los astrónomos norte-americanos gran número de pruebas, algunas de ellas por impresion directa en un segundo; de donde resulta demostrada una vez más la gran actividad química de la luz de las protuberancias, y la facilidad de fotografiar un gran número de fases de un eclipse, abreviando el tiempo consumido por los preparativos, para pasar de una prueba á otra. Esta economía de tiempo ha podido realizarse sirviéndose de porta-negativos, que permiten producir varias impresiones sucesivas en distintos puntos de la misma placa sensible. En el eclipse del 20 de Diciembre de 1870, habíamos preparado nuestros instrumentos para trabajos de este modo, pero el estado del cielo malogró nuestros afanes. Esto no obstante, alguna prueba pudimos obtener, sirviéndonos, como en el *Desierto*, del objetivo. El Dr. Curtis obtuvo las suyas, ampliando las imágenes con el ocular. En este caso, como en otros, mostraba la fotografía los arcos luminosos en mayor extension que las observaciones ópticas. Por lo demás, si el aspecto general y la altura de las protuberancias no pudo observarse como en otros eclipses, pudo, no obstante, examinarse lo suficiente para ver que algunas protuberancias tenían de altura  $2'15''$ , ó sea, unos ocho diámetros terrestres, y que parecían columnas de materia gaseosa, ó nubes arrastradas por poderosas corrientes. (1)

---

(1) El aspecto de las fotografías es muy distinto según el tiempo de exposicion. Una misma fase de un eclipse, vista en dos pruebas de exposicion diferente, puede parecer reproduccion de fenómenos diversos á

Tales son los resultados á que se llegó estudiando éstos fenómenos en las raras y precarias ocasiones que ofrecen los eclipses: podemos reasumirlos de la siguiente manera.

El Sol está rodeado de una atmósfera muy elevada, cuya altura es á lo ménos igual á la mitad de su rádio, más extensa en la region del Ecuador que en los polos, y á más presentando entre los 35 y 40 grados de latitud, un máximo de elevacion y poder luminoso en cada hemisferio. En esta atmósfera flota una capa continua de materia rosa, de gran poder fotogénico, de altura variable y de contorno irregular. Esta materia, de ordinario en las partes bajas de la atmósfera, se eleva á veces, ya en forma de columnas, ya en la de nubes aisladas; pero tanto bajo una forma como bajo otra, las corrientes atmosféricas la arrastran de un modo perceptible. Esta capa rosa presenta su mayor elevacion en la region de las manchas, precisamente en donde encontramos la más alta temperatura.

Pero ¡cuántos siglos se hubieran necesitado para llegar á conocer la estructura de esta capa y los movimientos que en ella se efectuan, sin el feliz descubrimiento que nos permite actualmente observar cada dia y en cada instante su composición química y los caprichosos cambios que sufre! Los primeros pasos que

---

quien no conozca la razon de estas diferencias. Segun el objeto que se propone el observador, así debe ser el tiempo de exposicion. En ninguna prueba fotográfica puede tenerse representada con exactitud toda la observacion óptica correspondiente. (N. del T.)

se dieron en esta nueva vía, son dignos de ser conocidos; por lo mismo vamos á exponer prolijamente la historia de este descubrimiento.

## CAPÍTULO IV.

### Observaciones espectrales hechas durante los eclipses.

#### § I. NATURALEZA QUÍMICA DE LAS PROTUBERANCIAS.

Antes del año 1621, se consideraba como cosa imposible determinar la naturaleza química de las sustancias que se hallan en los cuerpos celestes; pero despues de los descubrimientos de Bunsen y Kirchhoff, despues de los progresos hechos por el análisis espectral, el problema ha pasado á la categoría de aquellos que el químico resuelve diariamente en su laboratorio. No volveremos ahora sobre los fundamentos de esta ciencia, que ya expusimos sumariamente.

Esperando el eclipse de 1868, se preparaba los medios de estudiar particularmente la naturaleza de las protuberancias, sirviéndose de los nuevos descubrimientos del análisis espectral. Habia que resolver los siguientes problemas.

1.º ¿Las protuberancias están compuestas de materia sólida, debe considerárselas como nubes incandescentes, ó son verdaderas masas gaseosas?

## 2.º Qué sustancias entran en su composición?

El primer problema debía resolverse en el momento en que se dirigiese un espectróscopo sobre las protuberancias, puesto que sólo se deseaba saber si el espectro de las mismas era continuo ó no. Sabido es, en efecto, que una sustancia incandescente nada más, produce un espectro continuo, como ocurre con el carbon que se encuentra en suspension en la llama de una bujía ordinaria. Los gases mismos pueden originar un espectro continuo, sometidos á una muy alta temperatura; pero siempre que se obtiene un espectro formado por rayas brillantes, separadas entre sí por espacios oscuros, se puede tener seguridad de que el foco luminoso es un gas, cuya naturaleza química puede determinarse, conocidos el número y la posición de las líneas luminosas. El problema presentaba en la práctica más dificultades de las que se habían supuesto, pero no fueron bastantes á desanimar á Janssen, Rayet, Herschel, Weisse y Tennant, que se consagraron á esta tarea.

Era preciso disponer de anteojos poderosos, capaces de formar imágenes bien distintas de las protuberancias; además, estos anteojos debían estar movidos por máquinas de relojería, arregladas de manera que la imagen producida sobre la mira del espectróscopo permaneciese invariable de posición durante el tiempo necesario. Los espectróscopos debían tener el bastante poder dispersivo para separar las rayas, sin que llegase á ser excesivo á fin de perder la ménos luz posible. Había, pues, necesidad de buscar las mejores condiciones para la observación, y como no era posible hacer ensayos preliminares, había moti-

vos para creer que los primeros eclipses servirían para probar los diversos métodos. Con el fin de facilitar el mejor éxito, propusimos nosotros el empleo de un espectróscopo simplificado, reducido á un sólo prisma de vision directa, colocado entre el ocular y el objetivo(1). Observando de este modo, se habría descompuesto la luz de las protuberancias, como se descompone la de una lámpara de alcohol en la que se quemán varias sales. Este procedimiento no se empleó hasta después, pero con los otros se obtuvieron buenos resultados, como ahora veremos.

No fueron bastantes tantas dificultades para desanimar á los astrónomos, y sus esfuerzos fueron coronados de brillante éxito. Los observadores más afortunados fueron Janssen, en Guntoor; Rayet, en Malaca; el capitán Herschel y el mayor Tennant en Guntoor, y Hr. Weisse en Adén. El eclipse se presentó en circunstancias muy favorables. La enorme protuberancia de que nos hemos ocupado en el capítulo anterior, fué apercibida inmediatamente por los observadores que, dirigiendo sobre ella sus instrumentos, hallaron un espectro discontinuo, formado por un pequeño número de rayas brillantes. El primer problema estaba resuelto; se había adquirido certidumbre de que las protuberancias son masas gaseosas.

Quedaba por resolver el segundo, no tan sencillo como el primero; porque para reconocer la naturaleza de los elementos era preciso fijar la posición de las rayas con relación á una escala cualquiera, tomando

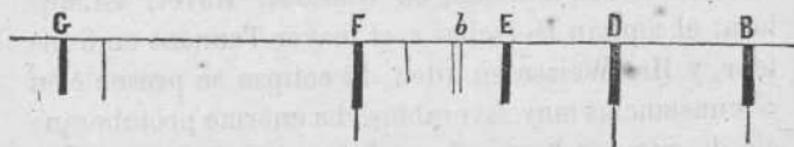
---

(1) *Comptes rendus des seances, etc.*, t. LXVI, página 402.

por término de comparacion el espectro de una sustancia conocida, del Sol, por ejemplo. En esta parte de las observaciones hubo poca exactitud, falta por lo demás muy disculpable en vista de la dificultad de la empresa, dificultad que aumentó con la accion de las nubes.

Rayet hizo el análisis más detallado, observando siete rayas principales en el espectro de la protuberancia ya citada, algunas de ellas tan vivas que producian una especie de cola en el campo del instrumento. La fig.<sup>a</sup> 27 es una reproduccion de la que fué

Fig. 27.



publicada en las *Comptes rendus*. En esta figura se emplean las letras de Fraunhofer, para designar las rayas en que segun él habia coincidencia; pero cometió vários errores de apreciacion. Con la B está marcada la raya que realmente corresponde á la C de Fraunhofer; en cuanto á las D y G, sus posiciones no son más que aproximadas. La F está situada con exactitud. Janssen y Herschel señalaron la verdadera posicion de la C, por más que el último no pudo marcarla con toda exactitud, á causa de las nubes que le estorbaron en su trabajo.

Rayet colocó la mira de su espectróscopo sucesivamente en dos posiciones rectangulares, lo que bas-

ta para asegurarnos de que realmente observó la luz de la protuberancia. En otra observacion referente á otro punto, halló un espectro constituido por una sóla raya en el violeta, de donde parece deducirse que no todas las protuberancias tienen igual composicion quimica.

Estando bien comprobada la existencia de la raya F, se adquirió la seguridad de que el hidrógeno es una de las materias que constituyen las protuberancias; pero faltaba determinar los elementos correspondientes á las demás lineas. La temperatura evidentemente debia ser muy elevada, comparable á la que produce el paso de la chispa eléctrica en los tubos de Geissler. Por lo demás, esta comparacion sirve para explicar el color de rosa de las protuberancias, puesto que el hidrógeno se colorea asi cuando, despues de rarificado, se le ilumina por una descarga eléctrica.

El estudio quedaba incompleto, porque era necesario asegurarse de la identidad de las rayas, y esta determinacion, al parecer, ño podria realizarse hasta la observacion de un nuevo eclipse; pero Janssen nos ha librado de tan larga espera, haciendo un descubrimiento de la mayor importancia. Durante la observacion del eclipse, habia llamado vivamente su atencion el gran brillo de algunas rayas de las protuberancias, y habia pensado en la posibilidad de verlas fuera del eclipse. Desgraciadamente se cubrió el cielo de nubes al terminar el fenómeno, y le fué imposible por aquel dia aclarar sus conjeturas; pero á la mañana siguiente se puso á la obra, y tuvo la in-signie dicha de ver en pleno dia la raya de las protu-

berancias. Puesta la abertura de su espectróscopo tangente al Sol, precisamente en el mismo punto en que el día anterior había visto una llama, observó una línea brillante, roja, correspondiente á la C de Fraunhofer, y otra en el azul, exactamente en la posición de la F. Estas dos rayas son precisamente las del hidrógeno, y por consecuencia, este es el principal elemento en la composición de las protuberancias.

El mismo día que llegaba á Europa la noticia de este descubrimiento, el 20 de Octubre, anunciaba Lockyer por su parte, que había conseguido ver en el limbo solar las rayas del hidrógeno, acompañadas de otra desconocida situada cerca de la D. El descubrimiento tenía la importancia suficiente para que se tratase de comprobarlo acto seguido, y nosotros lo conseguimos el mismo día que recibimos la noticia. Gran número de astrónomos comenzaron entónces á investigar con gran ardor, y Lockyer, Zollner, Rayet y Wolf se apresuraron á explotar este fecundo campo, procurando por nuestra parte igualarlos en celo. En el tomo siguiente hablaremos de la abundante cosecha que ha sido la recompensa de estos trabajos; en este momento, debemos terminar la exposición de los estudios hechos sobre este asunto en los eclipses posteriores.

§ II. ESPECTROS DE LAS PROTUBERANCIAS  
Y DEL LIMBO SOLAR,  
EN LOS ECLIPSES POSTERIORES, 1870 Y 1871.

El estudio de las protuberancias durante los eclipses ofrece gran interés, aunque no sea más que para comprobar la identidad de las rayas que se observan fuera de ellos, y la exactitud de las formas determinadas por la observacion espectral. Este estudio fué acometido el 69 por Harkness en América y por Young en Burlington, usando ámbos métodos más perfectos é instrumentos más poderosos que cuantos hasta entonces se habian empleado.

El aparato se compone de dos anteojos unidos, cuyos ejes están perfectamente paralelos; uno de los dos anteojos lleva un espectróscopo, y el otro está dispuesto respecto al primero como los buscadores ordinarios: en todos los casos seria de desear que ámbos anteojos fuesen de igual potencia. El segundo anteojo tiene un retículo compuesto de una punta muy fina, ó de dos hilos muy delgados, cruzados en ángulo recto. El aparato ha de estar tan bien centrado, que permita se forme la imágen de un objeto, á un mismo tiempo, en la cruz del retículo del buscador y sobre la mira del espectróscopo del anteojo principal. De este modo puede el astrónomo, sirviéndose de una escala convenientemente iluminada, ó bien fijada en el espectróscopo, examinar libremente las rayas que se le presenten, mientras que su ayudante, por medio del busca-

dor, dirige el aparato hácia las diversas protuberancias que rodean el disco de la Luna.

Eastman ha obtenido los siguientes resultados:

PROTUBERANCIAS	POSICION DE LAS RAYAS SEGUN LA ESCALA DE KIRCHHOFF.					
1	693	1007	1497	»	»	»
2	693	1007	1497	»	2069	»
3	693	1007	1497	1611	2069	2770
4	693	1007	1497	»	2069	2770
Corona	»	»	1497	»	»	»

La raya 693 de Kirchhoff corresponde á la C de Fraunhofer, ó á la  $H \alpha$  del hidrógeno. En lugar de 1007 debemos leer sin duda 1017, que corresponde á la raya amarilla de las protuberancias. Esta raya, llamada  $D_3$ , está á una distancia de  $D'$  del sodio, un poco mayor que el doble del espacio comprendido entre estas dos líneas. La raya 1497 es probablemente idéntica á la de la corona 1474. El número 2069 corresponde á  $H \beta$  del hidrógeno; 1611 pertenecerá al magnesio, ó quizás al hierro; 2770 indica probablemente á  $H \lambda$  del hidrógeno. La posicion de todas estas rayas no es rigurosamente exacta, pero las divergencias son lo bastante pequeñas para que podamos atribuir las á errores de observacion, inevitables en tales casos. (1)

El cuadro que acabamos de exponer, conduce á

(1) Véase la coleccion titulada *Reports publ. by com. Sands*, p. 64.

admitir que en todas las protuberancias no son iguales las rayas; pero Harkness explica esta diferencia por circunstancias propias de las observaciones. Una misma protuberancia no da el mismo número de rayas, observada en la base y en el vértice; la primera observación presenta más. Parece, pues, que todas darían las mismas si se observasen á igual altura.

Algunos observadores han visto otras rayas á más de las consignadas en la tabla anterior; pero no han fijado sus posiciones de un modo exacto, y esto quita á las observaciones gran parte de su valor.

Aunque casi todos los astrónomos estaban ocupados el 70 en estudiar la corona, no se abandonó el estudio de las protuberancias. Así Nobili y Lorenzoni en Terranova, y Burton en Augusta, observaron muchas rayas; pero la presencia de las nubes no les dejó fijar su posición. Por lo que hace á nosotros, ocupados en la dirección de las operaciones fotográficas, nos fué imposible dedicarnos á las observaciones espectrales hasta el fin de la totalidad, como diremos en el artículo siguiente.

### § III. DESCUBRIMIENTOS DEBIDOS AL ESTUDIO ESPECTRAL DEL LIMBO DEL SOL.

Los descubrimientos más interesantes, hechos en los eclipses de 1870 y 1871, son los que dieron á conocer la constitución de los contornos del disco solar, y revelaron, por lo tanto, la naturaleza íntima de la capa externa del Sol.

Ocupados como estábamos en la ejecución de las

fotografías, nos fué imposible observar el espectro durante la mayor parte del eclipse; sólo cuando hubo terminado la totalidad, pudimos, gracias á un sencillo mecanismo, en pocos instantes dirigir nuestro espectróscopo á la punta aguda del filete solar. Con gran sorpresa nuestra vimos un espectro completamente discontinuo, é inmediatamente pensamos que la abertura del colimador debía estar llena de polvo. No debíamos haber pensado tal cosa, porque el polvo hubiera producido líneas longitudinales, mientras que las rayas brillantes que teníamos á la vista eran perpendiculares á la longitud del espectro; sin pararnos á pensar, miramos la abertura para limpiarla, y vimos que estaba muy ensanchada: así se había dispuesto para estudiar directamente las protuberancias. Entónces conocimos que teníamos á la vista un fenómeno completamente desconocido, y despues de haber estrechado la mira, dirigimos nuevamente el instrumento á la punta del filete solar. La discontinuidad seguía aun, pero mucho ménos que ántes, y al cabo de algunos segundos cesó completamente, volviendo á afectar el espectro su forma ordinaria. Habíamos, pues, observado un espectro de naturaleza particular, formado de una multitud de líneas brillantes é invertidas, que nos fué imposible analizar, y que correspondía al estrecho filete del limbo solar.

Young tuvo más fortuna; ocupado exclusivamente en el estudio espectral, pudo observar completamente el fenómeno que nosotros no hicimos más que entrever.

Hé aquí sus propias palabras: «Momentos ántes de la totalidad, había dispuesto la mira tangencial-

mente al limbo solar, y miraba la raya 4474 que acababa de iluminarse, así como la del magnesio y el hierro. A medida que el filete iba disminuyendo, notaba como se desvanecían sucesivamente todas las rayas en el campo del antejo; pero nada anunciaba el bello fenómeno de que fui testigo en el instante en que la Luna cubrió toda la fotosfera. En aquel momento el campo se llenó súbitamente de rayas luminosas, que brillaron á manera de relámpago, y desaparecieron poco á poco: al cabo de dos segundos no quedaba ya ninguna mas que las dos que habia distinguido primero. No me es posible asegurar, que todas estas líneas brillantes ocupasen en el espectro los mismos lugares que las oscuras que les habian precedido; pero creo que realmente así sucedió, porque tuve tiempo de notar esta identidad en algunos grupos, y la intensidad relativa y la disposición de estas rayas me impresionó como cosa que me era muy familiar. Esta observacion confirma la existencia del espectro continuo hallado por Secchi en el limbo, y creo que apoya las ideas de Kirchhoff respecto á la constitucion del Sol y al origen de las rayas del espectro.» (1)

Tales son las palabras de Young. Pronto volveremos á ocuparnos de su última indicacion; por ahora debemos continuar el relato de las observaciones hechas sobre la misma materia.

El fenómeno señalado por Young era demasiado importante para que no se procurase observarlo nue-

---

(1) Véase *American Journal of Science*. Febrero, 1871, y *Nature*, 1 feb.º, 1871.

vamente en 1871, y en efecto fué objeto de los trabajos de varios observadores. En la imposibilidad de reproducir cuanto sobre el asunto se ha publicado, creemos deber insertar el texto de la relacion hecha por Maclear, que fué el más afortunado de todos.

«En el instante del primer contacto no ocurrió cambio alguno en el espectro. Durante un cuarto de hora se mantuvo la mira del colimador tangente á la punta setentrional del filete, y se observó la raya *C* muy brillante en toda su longitud, así como la *F*, aunque ésta ménos luminosa. Colocada la mira entonces en posición perpendicular á la anterior, aparecieron cuatro rayas luminosas, próximas á la *C*, que conservaba su brillo; una de estas rayas estaba á la derecha, y distante de ella como unas 10 unidades de Kirchhoff; las otras tres, á la parte del rojo y á ménos de 20 unidades. (1) La longitud de estas líneas variaba á cada instante, pero no simultáneamente: por término medio ocupaban  $\frac{1}{8}$  de la altura del espectro visible.

»Á las 6<sup>h</sup> 55<sup>m</sup>, tiempo medio, veinte y cinco minutos despues del primer contacto, estando dirigido el espectróscopo hácia una ancha protuberancia, se vió alargarse la raya *C* hasta ocupar la mitad de la altura del espectro. Nueve minutos más tarde, la punta del filete coincidía con otra protuberancia situada próximamente á 43 grados del Norte.

»Á las 7<sup>h</sup> 8<sup>m</sup>, observando con un espectróscopo de vision directa, cuya mira estaba situada en direc-

---

(1) Estas líneas parecen ser las mismas que aparecen tan oscuras en el espectro de las manchas.

cion de un radio del disco solar, vi una raya brillante, un poco más refrangible que la banda del ázoe, situada entre *b* y *F*. Hacia el 1830 de la escala de Kirchhoff se veía una línea muy ténue, que desapareció bien pronto; pero casi inmediatamente pareció escindirse en dos la raya *F*, á todo su largo ordinario, ó sea  $\frac{1}{2}$  del espectro.

«A las 7<sup>h</sup> 23<sup>m</sup>, observando de nuevo con el espectróscopo de seis prismas, cuya abertura estaba situada normalmente al filete solar, vi las rayas del hidrógeno, y despues las *D*, *E* y *b*, de grueso igual en toda su extension, y al propio tiempo coménzaron á verse otras rayas; en cuanto yo pude apreciar el fenómeno, creo eran todas del hierro, situadas en el intèrvalo comprendi lo desde más allá de *b* hasta la mitad de la distancia entre *E* y *D*. Estas rayas del hierro conservaron su brillo y fueron haciéndose más numerosas; llamé á Lockyer para hacerle testigo del fenómeno, y durante dos ó tres minutos las seguimos hasta el momento en que nos fué preciso disponernos á observar la totalidad. Durante estos dos ó tres minutos habia pasado lo punta del filete solar, desde 38 grados al Este del Norte hasta 70 grados en igual sentido. Las rayas continuaron visibles, hasta el momento en que moví el antejo para poner la mira tangente al punto en que debia verificarse el primer contacto interior. *El campo del espectróscopo estaba entónces lleno de líneas brillantes, que se destacaban sobre un espectro coloreado, cuya luz era la suficiente para ver las rayas oscuras características del espectro solar.* En el instante de comenzar la totalidad disminuyó la luz, y las rayas luminosas aumentaron rápidamente en nú-

*mero y en brillo.* A partir de este instante fueron desvaneciéndose, no instantáneamente, pero sí con la rapidez necesaria para que me sea imposible señalar el orden de su desaparición. Esto no obstante, puedo afirmar que las rayas del hidrógeno, D y b, y algunas otras comprendidas en el intervalo que las separa, permanecieron visibles por más tiempo. Cuando á su vez desaparecieron, quedó completamente oscuro el campo del instrumento.»

Tal es el relato de Maclear. Desgraciadamente no pudo aprovechar la segunda parte del eclipse; pero Pringle y el capitán Fyers observaron en este período casi los mismos fenómenos: otros varios observadores notaron también rayas brillantes. El Sr. Respighi, que observaba con sólo un prisma colocado delante del objetivo, no vió raya ninguna al principio de la totalidad, pero sí en el momento de ir á terminar. Pringle nos ha hecho saber que, después de haber visto una multitud de rayas brillantes, observó durante algunos momentos un espectro continuo, muy débil y de pequeña extensión; hecho que tiene su importancia. El Sr. Respighi, observando cerca del limbo cuando el filete era ya muy estrecho, notó que las rayas de Fraunhofer eran sensiblemente más oscuras que de ordinario.

#### § IV. CONSECUENCIAS QUE SE DESPRENDEN DE LAS OBSERVACIONES ANTERIORES.

Todos estos hechos tienen gran interés para la teoría solar. Ya hemos aludido á ellos al referir como

pudimos reconocer la existencia de una capa cuyo espectro es continuo; y tambien hemos explicado como pueden desaparecer las rayas oscuras mediante una inversion parcial: á esta observacion se refiere Young en el pasaje que hemos citado. La region del borde solar en que se invierten sucesivamente todas las rayas del espectro, debe, en efecto, dar uno continuo, y así se observa fuera de los eclipses; porque la luz de las rayas directas debe compensar la oscuridad de la absorcion. Además sabemos que Pringle, con un aparato ménos potente, ha visto un espectro perfectamente continuo.

Janssen, en sus observaciones de 1868, ha buscado en vano la capa en que, segun la teoria de Kirchhoff, deben percibirse invertidas las rayas. Esperaba hallarla de un grueso considerable, segun anunciaba Kirchhoff, y no habiendo encontrado nada de esto, creyó poder sentar, en vista de este resultado negativo, que no existe tal capa y que la absorcion se verifica en la fotosfera. Desgracia fué que no se atuviese á la idea emitida por él mismo, de que esta capa absorbente debia ser en extremo delgada, como realmente lo es.

Resulta, pues, de todas las observaciones, que debe considerarse como demostrada la teoria de Kirchhoff, sin otra modificacion más que ser la capa absorbente mucho ménos alta de lo que él suponía. Agreguemos, sin embargo, que esta modificacion no tiene la trascendencia que pudiera creerse; porque si bien es cierto que la parte de esta atmósfera, azas luminosa para producir un espectro, no se eleva mucho, nada prueba que la difusion de los vapores termine

allí; ántes bien, todo tiende á hacernos creer que se extienden mucho más léjos, pero en estado tal que no les permite enviar radiaciones luminosas bastante intensas para que podíamos observarlos en circunstancias ordinarias. Sabemos que el Sr. Respighi, observando con sólo un prisma, ha visto un espectro continuo extenderse   considerable distancia del limbo.

Así, pues, gracias á las importantes observaciones que han permitido hacer los eclipses, se ha completado la teoría del origen de las rayas de Fraunhofer, y han triunfado las ideas de Stoney y de Kirchhoff. El Sol está, pues, rodeado de una verdadera atmósfera de vapores metálicos, que   la temperatura en que se encuentran son realmente gases. Las rayas de Fraunhofer se producen por absorcion, ni más ni ménos que como la banda negra que se forma en el espectro de la luz eléctrica, cuando en ella se quema una masa algo considerable de talio   de sodio.

S anos permitido aqui repetir una consideracion que hicimos en 1855 estudiando la chispa eléctrica. (1) Preocupados con la discontinuidad de los espectros que produce la chispa que pasa al través de los vapores de los metales, llegamos   proponer claramente este problema:  ser  el Sol gaseoso? Y no vacilamos desde aquel momento en afirmar, vistas las rayas de que su espectro est  surcado, que debia estar envuelto por un medio elástico y absorbente. Bien léjos estábamos entónces de adelantarnos   Kirchhoff, formulando ántes que él la teoría que acabamos de

---

(1) *Nuovo Cimento di Pisa*, t. I.

exponer; pero el hecho de la discontinuidad de tal modo habia llamado nuestra atencion, que no dudamos en sacar de él la consecuencia que acabamos de recordar.

### § V. ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA CORONA.

En las primeras observaciones espectrales, hechas en los eclipses, no se supieron distinguir las rayas pertenecientes á la corona de las correspondientes á las protuberancias. En 1868 estudió el mayor Tennant la corona, dejando muy abierta la mira de su espectróscopo, y vió un espectro continuo poco luminoso. Janssen no observó raya alguna, ni oscura ni brillante. Rzhia habia preparado un espectróscopo ordinario para analizar la luz de la corona durante la totalidad, y no vió raya alguna, quizás á causa de la debilidad de la luz. Rénoldson, observando con un prisma sencillo colocado delante del objetivo, distinguió en la corona diversas tintas, roja, amarilla, verdosa, azul, morada; (1) pero no dijo si estas distintas regiones estaban separadas unas de otras, ó se sucedian sin intervalos. En vista de todo esto, se creyó entonces poder afirmar que la luz de la corona era debida á la reflexion de los rayos emanados del globo solar.

Estas observaciones no eran suficientes, y se pensó en hacer nuevos estudios. En 1869 notó Harkness

---

(1) Véase la excelente coleccion de Weiss sobre este eclipse.

que en los puntos donde no habia protuberancias, la corona ofrecia un espectro particular cónsistente en una sola raya verde, situada muy cerca de la *E* del hierro. Young la consideró idéntica á la 4474, atribuida al hierro por Kirchhoff, y aseguró que la diferencia probable no podia pasar de la que existe entre *C* y  $H\alpha$  del hidrógeno; porque él la veia confundirse con la oscura en el campo de su instrumento. La longitud de la onda para la raya 4474 es  $0,^{mm}0005316$ .

Además de esta línea verde, creyó ver Harkness otras dos más débiles. Young las notó tambien, y señaló sus posiciones como próximas á 4250 y 4350 de la escala de Kirchhoff. La primera, 4250, coincidiria próximamente con otra raya observada por Winlock en la luz de la aurora boreal. Notaron, además, los observadores en la base de la corona un espectro continuo poco luminoso.

Estas observaciones excitaron la atención de las personas peritas, y se esperaba el eclipse de 1870 para disipar todas las dudas y zanjar las cuestiones no resueltas. Á Harkness, en Siracusa, no permitió la tempestad iluminar la escala de su espectróscopo, y tuvo por lo tanto que resignarse á ver las rayas sin poder fijar las posiciones. Young pudo determinar la posición de la raya principal con una exactitud al parecer suficiente. El Sr. Lorenzoni la observó por tres veces, y la situó entre 4463 y 4467, resultado poco diferente del obtenido por Young; las circunstancias en que se hallaba le impidieron ver más. El P. Denza, que observaba en Augusta con un espectróscopo adaptado á un buscador de cometas de gran abertura, lo que le permitia tomar mucha luz, durante

algunos instantes en que el cielo se descubrió un poco, notó dos rayas: la principal, muy brillante, en el verde; otra ménos refrangible, situada entre *E* y *D*; investigaciones hechas posteriormente le han hecho admitir el 1246 como lugar de la segunda raya, resultado conforme con la determinacion de Young. No quedó, pues, por comprobar más que la tercera (1350 K.) No debe causar sorpresa ver diferencias entre los espectros descritos por diferentes observadores; porque la composicion de la corona puede no ser igual en todas las épocas y puntos observados, y ciertos vapores que se encuentran en ella en un momento dado, pueden no hallarse siempre.

El mismo eclipse de 1870 dió lugar á una observacion interesantísima. Tupmann dirigia el antejo, mientras que Harkness observaba con el espectróscopo. Como el propósito era estudiar la corona especialmente, habia precision de evitar las protuberancias. Ahora bien, á pesar de todo el cuidado puesto por Tupmann en evitar las llamas rojas, el espectro del hidrógeno se mezclaba siempre al de la corona; sin embargo de esto, el capitán Tupmann tiene seguridad de haber conseguido muchas veces colocar la mira del espectróscopo en regiones alejadas de toda protuberancia. No es, pues, accidental la superposicion de los espectros del hidrógeno y de la corona. Se ha tratado de explicar este fenómeno por la difusion debida á la atmósfera terrestre y por otras ilusiones; pero estas explicaciones no son admisibles, y ya veremos que el espectro de la corona es realmente más complicado de lo que se habia creído en un principio.

En las observaciones hechas en la India, durante

el eclipse de 1871, ha visto Janssen proyectarse la raya verde sobre un espectro impuro, en el cual pudo comprobar la existencia de las rayas oscuras de absorcion, y particularmente la del sodio. En vista de esto, sería preciso rechazar las observaciones anteriores, en que no se han visto rayas negras, cosa que puede haber dependido de que las miras hayan estado demasiado abiertas. En esta clase de investigaciones hay que huir de dos excesos opuestos. 1.º Gran dispersion y poca abertura dificulta la observacion por falta de luz. 2.º Demasiada abertura y poca dispersion, dificulta la distincion de las rayas y la fijacion de la posicion.

La atmósfera terrestre, si no está lo bastante trasparente, puede tambien ser una causa de error. Cuando está cargada de vapores, puede difundir la luz de la corona y aumentar su extension aparente. Por esta causa observó en Cádiz el P. Perry el espectro de las protuberancias hasta sobre el disco de la Luna, y por la misma razon, sin duda, ha visto Harkness las rayas verdes á 50 minutos del limbo, lo que hace verosímil la observacion de Winlock, que las vió á 20 minutos.

Abbay nos asegura que no ha visto ninguna linea oscura. Las vió desaparecer sucesivamente, y fueron reemplazadas en seguida por las rayas brillantes de las protuberancias. (1) Estas desaparecieron á su vez al cabo de algunos segundos, y no quedaron más que la raya F y otra ménos refrangible que la *b*, situada

---

(1) *Month. Not. of Astr. Soc.*, t. XXX, p. 60.

entre 1464 y 1494; era sin duda la famosa 1474. En 1870 estudió Pye la intensidad relativa de diferentes rayas, y las expresó aproximadamente de esta manera:  $C=8,5$ ;  $D_3=5,5$ ;  $1474=10,0$ ;  $F=3,0$ .

La raya 1474 es la única que se encontró en la India en el espectro de la corona.

Por último, debemos citar una muy importante observación del Sr. Respighi, hecha sirviéndose de un prisma de ángulo refringente pequeño, colocado ante el objetivo de un antejo. Es una excelente disposición, y una oportunísima modificación del método que nosotros habíamos propuesto en 1868, que consistía en observar al través de un prisma de visión directa, colocado junto al ocular: el prisma objetivo es preferible, y es el mejor medio, sobre todo cuando se hace uso de un antejo pequeño. Empleando este método, se ven cuatro imágenes de cada protuberancia, correspondientes á las cuatro rayas del hidrógeno, del mismo modo que se ven tres imágenes separadas, si se observa la llama de una lámpara de alcohol, después de haber puesto sobre la mecha sales de sodio, de litio, de talio ó de cobre.

Cuando desapareció el Sol, vió el Sr. Respighi cuatro círculos brillantes, coloreados respectivamente en rojo, amarillo, verde y azul, y aún las trazas de un quinto de matiz violado. Sobre estos círculos, que no eran otros que los de la cromoesfera, se destacaban con gran limpieza las imágenes monocromáticas de las protuberancias, completamente semejantes entre sí, sin más diferencia que la de ser algo más bajas las azules y amarillas que las rojas y verdes. El fondo general del campo estaba formado por un espectro

poco definido y poco luminoso. La aureola se extendía alrededor de la cromoesfera en otros tantos círculos. El más amplio de todos y el más regular también, era el verde, correspondiente á la raya 4474. El círculo rojo también era muy extenso, pero de contorno irregular. El azul y el amarillo eran más estrechos y ménos luminosos; ya hemos dicho que las imágenes de las protuberancias, correspondientes á estos colores, eran más bajas.

Resulta de esta observacion que, si bien la corona envía principalmente rayos correspondientes á la línea 4474, también contiene además gran cantidad de hidrógeno, que ha llegado allí por su poder difusivo. Esto puede explicar la observacion de Harkness, que vió las rayas de este gas fuera de las protuberancias. Estas observaciones del Sr. Respighi nos muestran también que en la corona hay otros vapores que dan un espectro general muy complejo é indefinido.

## § VI. CONCLUSIONES GENERALES RELATIVAS Á LA CORONA.

De todas estas investigaciones resulta que la corona posee luz propia; esto es, que está compuesta de sustancias cuya temperatura es bastante elevada para que sean luminosas por sí mismas. Estas sustancias son principalmente, el hidrógeno, el cuerpo que produce la raya  $D_3$ , al que se ha dado el nombre *Helio*, y el cuerpo desconocido correspondiente á la raya 4474. Además, la corona envía cierta cantidad de luz difusa, de la que nos ocuparemos al fin de este capítulo.

Decimos que la sustancia que da la raya verde es desconocida, no obstante decir Kirchoff que la 1474 corresponde al hierro, porque nosotros hemos producido el espectro del hierro eléctricamente y lo hemos proyectado sobre el de la luz solar, sin que jamás hayamos observado tal raya. Si otros físicos la han obtenido, puede que consista en la clase de hierro que usaron; así, pues, nos cuesta trabajo admitir que el vapor de este metal se encuentre en la atmósfera solar. No nos atrevemos á negarlo sin embargo. Los experimentos de Cornu nos han hecho saber que todas las rayas metálicas no se producen ni invierten á la misma temperatura, y ¿quién sabe si de esto dependerá la diferencia de resultados? Desde luego, el hierro se encuentra con abundancia en las manchas, y es uno de los metales cuyas rayas, hasta invertidas, se observan fácilmente en el Sol fuera de los eclipses. Esperemos, pues, los resultados de nuevas investigaciones.

En cuanto á las otras rayas, reina gran incertidumbre. Varios observadores han señalado la 1246 como idéntica á la de la aurora boreal. Este hecho sería en extremo interesante, si se confirmase plenamente. Pero ¿á qué se debe el espectro de las auroras polares? Ciertamente ofrece varias rayas, pero todas son variables, ménos una cuya longitud de onda es  $0,^{mm}0005571$ , y está situada casi á la mitad de la distancia que hay entre C y D. En cuanto á las demás rayas, hé aquí la descripción que han hecho de ellas varios observadores.

	mm	
<i>a</i> 'longitud de la onda. . .	0,000640	á 630 segun Proctor.
<i>a</i> longitud de la onda. . .	0,0005571	constante: Angström y todos los demás.
<i>b</i> longitud de la onda. . .	0,0005546	} Winlock y Clarck.
<i>C</i> longitud de la onda. . .	0,0005315	
<i>d</i> cerca de la F longitud de la onda. . . . .	0,0005210	
<i>e</i> cerca de la G longitud de la onda. . . . .	0,0004649	

En la magnífica aurora del 4 de Febrero de 1872, se pudo comprobar en todas partes que la raya de Angström se veía en toda la superficie del cielo; pero no ocurría lo propio con las demás, que no aparecían más que en aquellos lugares en que la luz era más viva. Y es cosa muy notable, que en ciertas regiones que aparecían de color rojo muy pronunciado, no se notaba traza alguna de la raya roja, aunque era muy visible en otros lugares. Algunos creyeron haber observado las rayas del hidrógeno, pero no se determinaron sus posiciones con suficiente exactitud. También se vieron partes de espectro continuo. En el momento en que el fenómeno era más brillante, entrevimos varias rayas, y en el verde una parte del espectro presentó la apariencia acanalada que posee el del ázoe. Así, se vé que el espectro de la aurora polar es muy variable, lo que no debe sorprendernos, porque también lo es el del relámpago, siendo unas veces el del ázoe, otras el de segundo orden de este metalóide; en ciertas descargas se vé el del hidrógeno, y muchas veces se han visto rayas innumerables. Produciéndose la aurora en las más altas regiones de la atmósfera, debe depender su espectro del estado de

rarefaccion, y quizás de la naturaleza química de los gases que ocupan estas regiones. De todo lo cual resulta que el espectro de la aurora es diferente del de la corona solar.

Nos es desconocido el origen de la raya principal de la aurora. Zöllner la atribuye al oxígeno en baja temperatura (1). Pero sea de esto lo que fuere, ciertamente no tiene la misma posición que la raya principal de la corona, y aunque se confundiese con alguna de las más débiles, no por eso conoceríamos mejor su origen.

También se ha dicho que la raya principal de la aurora polar es la misma que la de la luz zodiacal; pero el espectro de esta luz no es verdaderamente *lineal*, es completamente difuso. Sabido es que todas las luces azuladas parecen monocromáticas, aunque realmente son compuestas, como ocurre con las estrellas, los cuerpos fosforescentes y los gusanos de luz. Es, pues, imposible sentar nada respecto al origen de estas rayas, ni á sus relaciones con las de la corona solar.

Han pensado algunos que la existencia de una raya común en el espectro de la aurora polar y en el de la corona, probaría que la luz de ésta es de origen eléctrico, como la de aquella. No tratamos de negar la existencia de la electricidad en el Sol, pero sí haremos notar que la electricidad no tiene la propiedad específica de dar rayas que puedan servir para caracterizarla. Cuando atraviesa los gases, los caldea, y

---

(1) *Nature*, t III, p. 346.

por este calentamiento los hace luminosos; la luz de estos gases, analizada, presenta rayas que dependen únicamente del estado físico y de la naturaleza química de los mismos, siendo completamente independientes de la causa que los caldea. Siendo en extremo elevada la temperatura del Sol, no es necesario acudir á otra causa para explicar la incandescencia de su atmósfera. Los gases tienen espectros distintos según la temperatura á que se hallan; este es un hecho incontestable. Zöllner cree que la raya de la corona se debe á un gas, cuya temperatura es poco elevada: esto es muy posible, pero no hay medio de hacer experimento alguno que lo afirme ni lo contradiga, porque ni á baja temperatura ni bajo pequeño espesor dan los gases espectro alguno: más bien puede ser de otra manera cuando el espesor sea muy considerable, y precisamente la corona, por donde quiera que la observemos, tiene un grueso superior á la longitud del diámetro solar.

Se había notado en los primeros eclipses, que las protuberancias correspondían á las partes más brillantes de la corona. Para saber si esto era una ley general, hemos diseñado juntamente las protuberancias observadas en Roma y la corona fotografiada en la India el día del eclipse general, resultando que la supuesta ley no se verifica siempre, porque hay protuberancias que corresponden á depresiones de la aureola.

Observando el Sr. Respighi, como ya hemos dicho, con un prisma colocado ante el objetivo de su antejo, ha visto la corona con el mismo espesor, sobre poco más ó ménos, en toda su extensión: y de

aquí ha deducido que se equivocan los que hablan de sus desigualdades y de los rayos, penachos, etc., que la acompañan. Por nuestra parte creemos que su método de observacion le ha inducido á error; porque, como Maclear y otros astrónomos han hecho notar, las irregularidades de la corona se observan á simple vista, ó, sirviéndose de un anteojo que amplifique poco; pero usando un instrumento de gran fuerza, todas desaparecen y solo queda un anillo de 5 á 6 minutos de espesor, precisamente un minuto ménos de la valuacion hecha por el Sr. Respighi. Es evidente que, al través de su prisma, no ha podido ver éste más que la parte más brillante de la corona que forma un anillo casi regular, mientras que el resto, ménos luminoso, proyectándose sobre el espectro difuso que llenaba el campo, no podía impresionar la vista del espectador. Examinando las muchas fotografías hechas durante los eclipses, no queda duda alguna de la irregularidad del contorno exterior de la corona, y es preciso tener en cuenta que las fotografías pueden considerarse como imágenes monocromáticas, porque dependen sólo de la actividad química de los rayos; y sin embargo, siempre que el aire ha estado puro, sus formas son casi idénticas á las que se observaron directamente. No hay, pues, ilusion posible, aunque la accion actínica de la luz pueda ser diferente de su accion fisiológica.

No es tan fácil decir de donde proviene la luz difusa que produce el espectro continuo de la corona. Ciertamente no es atribuible ni á la Luna, ni á la atmósfera terrestre. Se ha supuesto que era debida á una reflexion, producida por las moléculas de los

cuerpos elásticos que componen la misma corona. ¿No podría provenir esta luz continua de la incandescencia de los gases que envuelven al Sol? La hipótesis nos parece muy probable.

Se ha estudiado la corona sirviéndose del polariscopio, pero los resultados de esta observacion son muy equívocos para poder resolver mediante ellos la dificultad; porque, áun suponiendo que se encuentren trazas de polarizacion, sería bien difícil probar que el fenómeno tiene por causa precisa una reflexion producida por la atmósfera solar.

Apoyándose en la debilidad del poder reflector de los gases, atribuye Harkness esta luz al hidrógeno y á otros vapores simplemente incandescentes. Cuando arde el hidrógeno á baja temperatura, dá su llama un espectro continuo; nótese en el azul la raya F muy débil, pero que ciertamente no se debe á impurezas del gas. Podría invocarse este hecho para confirmar la opinion de Harkness, que cree imposible toda reflexion en una sustancia puramente gaseosa. Sin pretender resolver la cuestion de una manera definitiva, creemos que bien pudiera deberse este espectro continuo á las masas simplemente incandescentes, que deben formarse en la capa más elevada de la atmósfera solar.



---

## NOTA.

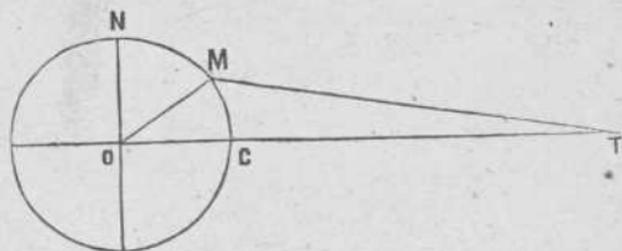
### Problemas relativos á la rotacion del Sol.

---

PROBLEMA I.—*Hallar la distancia heliocéntrica de una mancha á la Tierra, conociendo su distancia geocéntrica al centro del disco solar.*

Sean T el centro de la Tierra; O el del Sol; C el punto correspondiente al centro del disco, donde la recta OT encuentra á la superficie; y M la posición de la mancha: se trata de determinar el ángulo MOT, conociendo el ángulo MTO (fig. 28).

Fig. 28.



Tenemos

$$\frac{\text{sen OMT}}{\text{OT}} = \frac{\text{sen MTO}}{\text{MO}},$$

ó de otro modo,

$$\text{sen OMT} = \frac{\text{OT}}{\text{OM}} \text{sen MTO},$$

y reemplazándolo con su suplemento

$$\text{sen (MOT + MTO)} = \frac{\text{OT}}{\text{OM}} \text{sen MTO}.$$

Por otra parte, llamando R al radio del Sol reducido á minutos, tenemos:

$$\frac{\text{OT}}{\text{OM}} = \frac{\text{OT}}{\text{ON}} = \frac{1}{\text{tang R}}.$$

Suponiendo

$$\text{MOT} = \rho, \text{ MTO} = r;$$

tendremos

$$\text{sen } (\rho + r) = \frac{\text{sen } r}{\text{tang R}}.$$

Siendo muy pequeños los ángulos  $r$  y R, podemos reemplazar la relacion  $\frac{\text{sen } r}{\text{tang R}}$  por la de los arcos  $\frac{r}{R}$ , y la ecuacion anterior se convierte en

$$\text{sen } (\rho + r) = \frac{r}{R},$$

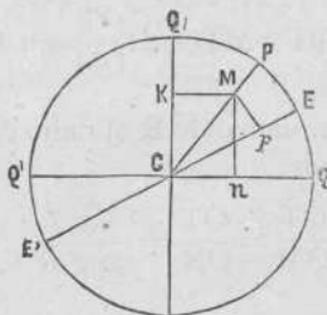
de donde

$$\rho + r = \text{arc. sen } \frac{r}{R}, \text{ ó } \rho = \text{arc. sen } \frac{r}{R} - r.$$

*Advertencia* 1.<sup>a</sup>—Al reemplazar la relacion  $\frac{\text{sen } r}{\text{tang R}}$  con la de los arcos  $\frac{r}{R}$ , se comete un error que, en el caso más desfavorable, no excede de algunas centésimas de segundo, y por lo tanto despreciable.

*Advertencia 2.<sup>a</sup>*—Las coordenadas ecuatoriales se determinarán del siguiente modo (fig.<sup>a</sup> 29): la declina-

Fig. 29.



ción será  $\Delta\delta = Mn$ , y la ascension recta  $\Delta\alpha = KM = Cn = 15 t \cos \delta$ , siendo  $t$  el número de segundos trascurridos entre el paso de las manchas y el paso del centro del Sol.

El ángulo de posición  $P = \angle Q_1CM$  se deducirá de las ecuaciones siguientes:

$$\text{tang } P = \cot MCn = \frac{Cn}{Mn} = \frac{15 t \cos \delta}{\Delta\delta},$$

$$r = CM = \frac{Mn}{\cos P} = \frac{Cn}{\sin P}.$$

**PROBLEMA II.**—*Transformar las coordenadas ecuatoriales de una mancha, en otras tomadas con relacion á la eclíptica; esto es, conocidas las diferencias  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\delta$ , hallar las diferencias de longitud y latitud  $\Delta L$  y  $\Delta\Lambda$ .*

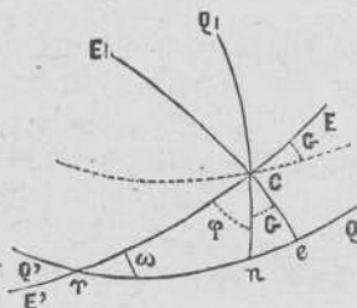
Siendo  $QQ'$  el círculo paralelo al ecuador celeste que pasa por el antro del Sol;  $EE'$  la eclíptica; y  $G=E$   $CQ$  el ángulo de los dos planos (figura 29), tendremos

$$\Delta L = C\rho = CM \cos MC\rho = CM \sin (Q_1CM + ECQ) = r \sin (P + G),$$

$$\Delta \Lambda = M\rho = CM \sin MC\rho = CM \cos (Q_1CM + ECQ) = r \cos (P + G).$$

El ángulo  $G$  es el formado por los círculos de latitud y declinación al cruzarse en el centro  $C$  del disco solar. (Figura 30). Sean, pues,  $QR$  el ecuador solar, cuyo polo

Fig. 30.



es  $Q_1$ , y  $rE$  la eclíptica;  $nCO_1$  será el círculo de la declinación, y  $E_1Ce$  el de la latitud; el ángulo  $G$  será el  $Q_1CE_1 = nCe$ . Este ángulo tendrá por complemento el  $rCn = \varphi$ ; pero  $\cot \varphi = \text{tang } C\gamma n \cos C\gamma$ ; luego

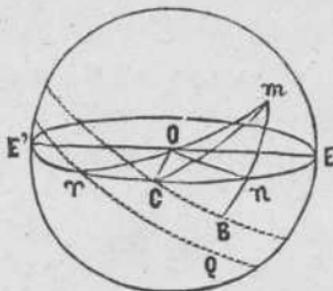
$$\text{tang } G = \text{tang } \omega \cos \odot,$$

siendo  $\odot$  la longitud del Sol y  $\omega$  la oblicuidad de la eclíptica.

PROBLEMA III.—*Conociendo las coordenadas geocéntricas de una mancha con relacion al ecuador celeste, hallar sus coordenadas heliocéntricas con relacion á la eclíptica.*

Sean (figura 31) O el centro del Sol; C el centro del

Fig. 31.



disco visto desde la Tierra, de modo que el radio OC, prolongado, pasará por el centro de la Tierra. Sean ECE' la eclíptica; CB el paralelo celeste y Qr el ecuador. La longitud de la tierra vista desde el Sol,  $\gamma OC = \delta$ , será igual á  $\odot + 180^\circ$ . El triángulo esférico  $mCn$  dá la ecuacion

$$\text{tang } Cn = \text{tang } Cm \cos mCn,$$

y usando las mismas notaciones que en los problemas anteriores, tendremos, haciendo  $Cn = \eta$ ,

$$\text{tang } \eta = \text{tang } \rho \text{ sen } (P + G),$$

y para el valor de la longitud  $\Lambda$ ,

$$\Lambda = \gamma On = \gamma OC + nOC = \delta + \eta = 180^\circ + \odot + \eta;$$

para la latitud  $\lambda$

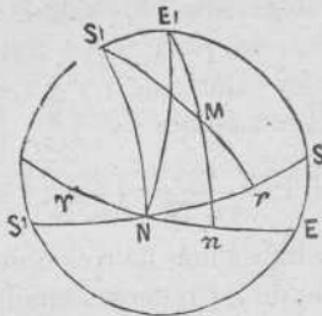
$$\text{sen } \lambda = \text{sen } mn = \text{sen } \rho \cos (P + G).$$

En el cálculo de estas coordenadas debe observarse la regla de los signos.

**PROBLEMA IV.**—*Conociendo las coordenadas, referidas á la eclíptica, de tres posiciones de una misma mancha, determinar los elementos de la rotacion solar, esto es, la longitud N del nodo, la inclinacion I del ecuador solar sobre la eclíptica y el tiempo de una rotacion.*

Sean E el polo de la eclíptica (fig.<sup>a</sup> 32); S<sub>1</sub> el del

Fig. 32.



Ecuador solar; M la posición de una mancha; N la intersección del Ecuador solar y de la eclíptica. Tendremos

$$\cos S_1M = \cos E_1M \cos S_1E_1 + \operatorname{sen} E_1M \operatorname{sen} S_1E_1 \cos S_1E_1M,$$

$$S_1M = 90^\circ - Mr = 90^\circ - \lambda',$$

llamando  $\lambda'$  á la latitud heliográfica, es decir, tomada respecto al Ecuador solar.

$S_1E_1M = S_1E_1N + NE_1n = 90^\circ + NE_1n = 90^\circ + \nu$ ,  
siendo  $\nu$  la distancia de la mancha al nodo, contada sobre la eclíptica, de manera que

$$\Lambda = \gamma n = \gamma N + Nn = N + \nu;$$

de donde

$$\nu = \Lambda - N,$$

y sustituyendo

$$\operatorname{sen} \lambda' = \operatorname{sen} \lambda \cos I - \cos \lambda \operatorname{sen} I \operatorname{sen} (\Lambda - N) = \operatorname{sen} \lambda \cos I$$

$$- \cos \lambda \operatorname{sen} I \operatorname{sen} \Lambda \cos N + \cos \lambda \operatorname{sen} I \cos \Lambda \operatorname{sen} N.$$

Dividiendo ámbos miembros de la ecuación por  $\cos I$  resulta,

$$\frac{\operatorname{sen} \lambda'}{\cos I} = \operatorname{sen} \lambda - \cos \lambda \operatorname{sen} \Lambda \cos N \operatorname{tang} I + \cos \lambda \cos \Lambda \operatorname{tang} I$$

$$\operatorname{sen} N.$$

Y haciendo

$$\frac{\operatorname{sen} \lambda'}{\cos I} = x, \quad \cos N \operatorname{tang} I = y, \quad \operatorname{sen} N \operatorname{tang} I = z,$$

$$\operatorname{sen} \lambda = A, \quad \cos \lambda \operatorname{sen} \Lambda = B, \quad \cos \lambda \cos \Lambda = C;$$

la ecuacion se convierte en

$$x=A-By+Cz.$$

Dando cada observacion los valores de  $\lambda$  y  $\Lambda$ , con tres observaciones bastará para tener tres ecuaciones con que determinar los valores de  $x, y$  y  $z$ . Una vez hallados se resolverán las ecuaciones

$$\text{tang } N = \frac{z}{y}, \quad \text{tang } I = \frac{z}{\text{sen } N} = \frac{y}{\text{cos } N}, \quad \text{sen } \lambda' = x \text{ cos } I.$$

En el caso de haber más de tres observaciones se hará uso del método de los menores cuadrados.

El tiempo de la rotacion se determinará del siguiente modo: el triángulo esférico  $S_1E_1M$  nos dá el ángulo en el polo

$$E_1S_1M = 90^\circ - NS_1M = 90^\circ - \beta.$$

De donde se deduce:

$$\frac{\text{sen } E_1S_1M}{\text{sen } E_1M} = \frac{\text{sen } S_1E_1M}{\text{sen } S_1M}, \quad \frac{\text{cos } \beta}{\text{cos } \lambda} = \frac{\text{cos } (\Lambda - N)}{\text{cos } \lambda'},$$

$$\text{cos } \beta = \frac{\text{cos } \lambda \text{ cos } (\Lambda - N)}{\text{cos } \lambda'}.$$

Y para otra posicion

$$\text{cos } \beta_1 = \frac{\text{cos } \lambda_1 \text{ cos } (\Lambda_1 - N)}{\text{cos } \lambda'_1}.$$

Encontrando el valor  $\beta_1 - \beta$  correspondiente al intervalo de tiempo  $T_1 - T$ , se hallará el tiempo de la rotacion completa  $\Xi$  mediante la proporcion siguiente:

$$\frac{\beta_1 - \beta}{T_1 - T} = \frac{360}{\Xi}$$

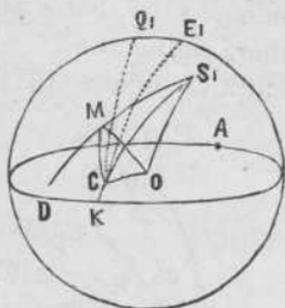
En el estado actual de la ciencia, no son necesarias estas determinaciones absolutas; y como el estudio de cada mancha conduce á un resultado distinto, conviene hacer uso de un método más expeditivo que permita agrupar los elementos de varias manchas, como ahora veremos.

PROBLEMA V.—Conociendo aproximadamente los elementos de la rotación solar, calcular las correcciones.

Hé aquí la solución de Carrington.

(Fig.<sup>a</sup> 33) Sean  $S_1$  el polo de rotación del Sol; M la

Fig. 33.



posición de una mancha;  $Q_1$  el polo Norte de la esfera celeste;  $E_1$  el de la eclíptica; C la posición de la Tierra, vista desde el Sol; OC la línea de los centros; ADK el ecuador solar;  $S_1C$  el meridiano solar que pasa por el centro de la Tierra. La longitud heliográfica de la Tierra contada sobre el ecuador solar y á partir del nodo A, será  $ADK=L$ , y la latitud igualmente  $CK=D$ ; así mismo tendremos para la mancha  $AD=l$  la longitud, y  $DM=\lambda'$  la latitud.

En el triángulo esférico  $S_1MC$  tenemos  
 $\cos MS_1 = \cos MC \cos CS_1 + \sin MC \sin CS_1 \cos MCS_1$ ,  
 y llamando X al ángulo  $MCS_1$  y sustituyendo;

$$(1) \quad \sin \lambda' = \cos \rho \sin D + \sin \rho \cos D \cos X$$

y

$$\frac{\sin MS_1C}{\sin MC} = \frac{\sin MCS_1}{\sin MS_1},$$

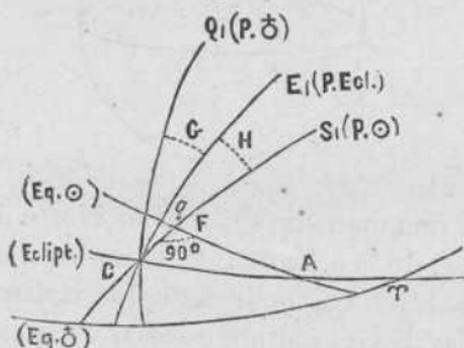
(2) ó

$$\sin (L-l) = \frac{\sin \rho \sin X}{\cos \lambda'}.$$

El ángulo  $S_1CM=X$  se compone de tres partes: 1.<sup>a</sup>  $MCO_1=P$ , ó sea, el ángulo formado por el arco  $\rho$  con el meridiano celeste; 2.<sup>a</sup>  $Q_1CE_1=G$ , ó sea, el ángulo formado por el anterior meridiano y el círculo que pasa por el polo de la eclíptica; 3.<sup>a</sup>  $E_1CS_1=H$ , ángulo formado por el círculo máximo que pasa por el polo de la eclíptica y el meridiano solar. Estos ángulos se pueden calcular de la manera siguiente:

Sea  $YAC$  la eclíptica (figura 34), siendo  $C$  la posi-

Fig. 34.



ción de la tierra vista desde el centro del Sol; tracemos el círculo de declinación  $CQ_1$ , el círculo de latitud celeste  $CE_1$  y el círculo solar  $CS_1$ ; este último cortará al ecuador en el punto  $F$  formando ángulo recto con él, y el triángulo  $AFC$  rectángulo en  $F$  dará

$$\text{tang } AF = \text{tang } AC \cos FAC.$$

Desde luego

$$AC = YC - YA = \odot - N = 180^\circ + \ominus - N$$

y

$$FAC = I.$$

Luego

$$(3) \quad \text{tang } L = \text{tang } (\ominus - N) \cos I.$$

y

$$\frac{\text{sen } FC}{\text{sen } FAC} = \frac{\text{sen } AC}{\text{sen } 90^\circ}$$

$$(4) \quad \text{sen } D = \text{sen } \odot - N) \text{ sen } I.$$

El mismo triángulo nos dá, pues,

$$FCA = 90^\circ - FCq = 90^\circ - H,$$

de donde,

$$(5) \quad \cot FCA = \text{tang } H = \text{tang } I \cos (\odot - N).$$

El ángulo  $G$  se obtiene mediante la fórmula

$$(6) \quad \text{tang } G = \text{tang } \omega \cos \odot,$$

de donde

$$X = P + H + G.$$

Los valores de  $L$  y  $D$  se hallarán mediante las fórmulas (3) y (4); y despues podrá calcularse el de  $\lambda'$  con la fórmula (1), y el  $(L - l)$  con la (2) de donde,

$$L - (L - l) = l.$$

Entónces valiéndose del número de dias trascurridos, á contar desde un primer meridiano, y del valor  $\xi$  del arco de rotacion diurna adoptado primitivamente, se hallará el valor  $g\xi$ , y se hallará la diferencia  $l - g\xi$ , que dará la correccion de la duracion admitida préviamente para una revolucion.

Carrington, en sus trabajos, habia adoptado como tiempo de rotacion 25<sup>ds</sup>,38. Siendo  $g$  un número cualquiera de dias, debe existir siempre la proporcion

$$\frac{25,38}{360} = \frac{g}{l},$$

contándose  $l$  á partir desde la coincidencia del meridiano móvil con el nodo.

La correccion de los demás elementos dá lugar á cálculos demasiado largos para que podamos exponerlos aquí. El lector podrá consultar la obra de Carrington, página 232 y siguientes, y en ella encontrará unas tablas que simplifican mucho el cálculo. Sin embargo, debemos advertir, que en la citada obra hay demasiados errores de imprenta, especialmente en las páginas 12 y 13.

FIN DE LA PRIMERA PARTE.

# ÍNDICE.

	<u>Páginas.</u>
Prólogo del traductor. . . . .	6
Introducción á la presente edición . . . . .	13
Introducción á la primera edición . . . . .	18

## PARTE PRIMERA.

### ESTRUCTURA DEL SOL.

#### LIBRO PRIMERO.

##### **Nociones generales sobre los fenómenos solares.**

##### CAPÍTULO I.—ASPECTO GENERAL DEL CIELO.

§ I.—Dimensiones del Sol . . . . .	25
§ II.—Manchas solares . . . . .	26
§ III.—Descubrimiento de las manchas solares . . . . .	29
§ IV.—Medios para observar las manchas . . . . .	32

##### CAPÍTULO II.—LEYES FUNDAMENTALES DEL MOVIMIENTO DE LAS MANCHAS.

§ I.—Revolucion de las manchas . . . . .	35
§ II.—Cambio de forma de las manchas . . . . .	37
§ III.—Variaciones anuales en el movimiento aparente de las manchas. . . . .	38
§ IV.—De otras propiedades de las manchas . . . . .	44
§ V.—Ojeada sobre las hipótesis emitidas respecto á la naturaleza de las manchas . . . . .	47
§ VI.—Trabajos de Herschel . . . . .	49

§ VII.—De otros trabajos sobre la naturaleza de las manchas . . . . .	51
---	----

CAPÍTULO III.—NUEVOS MÉTODOS DE OBSERVACION.

§ I.—Oculares helioscópicos . . . . .	53
§ II.—Oculares polariscópicos . . . . .	56
§ III.—Fotografías solares . . . . .	58

LIBRO II.

**Exámen de la superficie del Sol.**

Introduccion. . . . .	65
-----------------------	----

CAPÍTULO I.—ASPECTO GENERAL DE LA FOTOESFERA.

§ I.—Desigualdades de la superficie solar . . . . .	66
§ II.—Explicacion de los granos . . . . .	71

CAPÍTULO II.—DE LAS MANCHAS.

§ I.—Circunstancias que concurren á su formacion . . . . .	74
§ II.—Ejemplos de formaciones rápidas . . . . .	75
§ III.—Disolucion de la materia luminosa de las manchas . . . . .	78
§ IV.—Division y multiplicacion de las manchas. . . . .	79

CAPÍTULO III.—ESTUDIO DEL INTERIOR DE LAS MANCHAS.

§ I.—Las manchas son cavidades . . . . .	81
§ II.—Observaciones modernas. . . . .	84
§ III.—Contestacion á algunas objeciones. . . . .	88

CAPÍTULO IV.—ESTRUCTURA DE LAS MANCHAS.

§ I.—De la penumbra. . . . .	91
§ II.—Fenómenos observados en los núcleos. . . . .	99
§ III.—Velos rosados en el interior de las manchas. . . . .	104

§ IV.—De lo que pasa en el exterior de las manchas: fáculas. . . . .	110
§ V.—Conclusiones relativas á la estructura de las manchas. . . . .	114
CAPÍTULO V.—MOVIMIENTOS GENERALES DE LAS MANCHAS.—ROTACION DEL SOL.	
§ I.—Importancia y dificultades del problema. . . . .	121
§ II.—Métodos de observacion. . . . .	123
§ III.—Resultados obtenidos respecto á la rotacion del Sol. . . . .	127
§ IV.—Resultados obtenidos por Carrington y Spörer. . . . .	131
CAPÍTULO VI.—MOVIMIENTO PROPIO DE LAS MANCHAS.	
§ I.—Resultados generales. . . . .	142
§ II.—Conclusiones que resultan de los hechos precedentes y problemas diversos. . . . .	152
§ III.—Investigacion teórica sobre la rotacion del Sol. . . . .	161
§ IV.—De algunas irregularidades aparentes en el movimiento de las manchas. . . . .	172
§ V.—Resúmen sobre el movimiento de las manchas. . . . .	177
CAPÍTULO VII.—VARIACIONES SECULARES DE LAS MANCHAS.	
§ I.—Investigacion histórica. . . . .	179
§ II.—Estadística de las manchas solares. . . . .	182
§ III.—Investigacion acerca de las causas de la periodicidad de las manchas. . . . .	192

## LIBRO III.

## De la atmósfera solar.

Introduccion. . . . .	198
-----------------------	-----

CAPÍTULO I.—ABSORCION DE LAS RADIACIONES POR LA ATMÓSFERA SOLAR.

§ I.—Exámen histórico. . . . .	199
§ II.—Absorcion de los rayos químicos. . . . .	204
§ III.—Absorcion de las radiaciones caloríficas. . . . .	207
§ IV.—Consecuencias resultantes de las observaciones precedentes. . . . .	214

CAPÍTULO II.—ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA LUZ SOLAR.

Preliminares. . . . .	220
§ I.—Primeros trabajos sobre el análisis de la luz solar por medio del prisma. . . . .	222
§ II.—Espectróscopos ó instrumentos destinados á observar el espectro solar. . . . .	226
§ III.—Descripcion del espectro solar. . . . .	237

CAPÍTULO III.—TEORÍA GENERAL DE LOS ESPECTROS LUMINOSOS.

§ I.—Comparacion de la luz solar con otras luces. . . . .	248
§ II.—Espectros de absorcion. . . . .	258
§ III.—Inversion de los espectros. . . . .	261

CAPÍTULO IV.—APLICACION DE LOS PRINCIPIOS PRECEDENTES AL ESTUDIO DE LA CONSTITUCION DEL SOL.

§ I.—Explicacion de las rayas oscuras del espectro solar. . . . .	269
§ II.—Análisis espectral de las manchas solares. . . . .	282
§ III.—Consecuencias que se deducen de los hechos expuestos. . . . .	293
§ IV.—Respuesta á una objecion. . . . .	297

LIBRO IV.

De los eclipses.

CAPÍTULO I.—FENÓMENOS OBSERVADOS DURANTE LOS ECLIPSES.

§ I.—Reseña histórica. . . . .	303
--------------------------------	-----

§ II.—Fenómenos generales que se observan durante un eclipse total. . . . .	309
§ III.—Fenómenos que acompañan á la aparición y desaparición del Sol en los eclipses totales. . . . .	316
§ IV.—Fenómenos físicos observados durante la totalidad . . . . .	326

#### CAPÍTULO II.—DE LA CORONA.

§ I.—Aspecto general. . . . .	332
§ II.—Regiones de que se compone la corona. . . . .	337
§ III.—Fotografías de los eclipses.—Magnitud de la corona. . . . .	339
§ IV.—Penachos. . . . .	346
§ V.—Polarización de la luz de la corona. . . . .	356
§ VI.—Consideraciones generales sobre la corona. . . . .	360

#### CAPÍTULO III.—DE LAS PROTUBERANCIAS Ó PROMINENCIAS ROJAS QUE SE OBSERVAN DURANTE LOS ECLIPSES TOTALES DE SOL.

Advertencia preliminar . . . . .	365
§ I.—Primeras observaciones de las protuberancias. . . . .	366
§ II.—Fotografías obtenidas en España durante el eclipse de 1860. . . . .	372
§ III.—Observaciones posteriores de las protuberancias. Sus relaciones con la corona. . . . .	380

#### CAPÍTULO IV.—OBSERVACIONES ESPECTRALES HECHAS DURANTE LOS ECLIPSES.

§ I.—Naturaleza química de las protuberancias. . . . .	384
§ II.—Espectros de las protuberancias y del limbo solar, en los eclipses posteriores 1870 y 1871. . . . .	390

	Páginas.
§ III.—Descubrimientos debidos al estudio espectral del limbo del Sol. . . . .	392
§ IV.—Consecuencias que se desprenden de las observaciones anteriores. . . . .	397
§ V.—Análisis espectral de la corona. . . . .	400
§ VI.—Conclusiones generales relativas á la corona. . . . .	405

NOTA.

Problemas relativos á la rotacion del Sol. . . . .	413
--	-----

---

**ERRATAS QUE SE HAN NOTADO.**

Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
110	Primera.	interior	exterior

# BIBLIOTECA CIENTÍFICO-LITERARIA.

---

## OBRAS PUBLICADAS.

---

**Flores de Invierno.**—Cuentos, Leyendas y Costumbres populares, artículos, por Federico de Castro, Ex-Rector y Catedrático de la Universidad de Sevilla.—Untomo, 14 rs.

Todas estas composiciones admiran tanto por la belleza y gallardía de la forma, como por el pensamiento moral y filosófico que desarrollan dramáticamente.

**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.

Este libro es indispensable á toda persona que desee poseer alguna instruccion acerca de las Bellas Artes en nuestro país; en él se traza con claridad, inteligencia y copia de datos el hermoso cuadro de la marcha del arte pátrio, notando los caractéres propios que constituyen nuestra originalidad, y señalando la presencia en España, ya del arte del Norte, ya del Italiano.

**Filosofía de la Muerte.**—Estudio hecho sobre manuscritos de D. Julian Sanz del Rio, por Manuel Sales y Ferré.—Un tomo, 14 rs.

Trata este libro todas las cuestiones comprendidas en el pavoroso problema de la muerte, y las resuelve á la luz de la Filosofía, señalando los límites eternos de nuestro conocimiento en lo que á la otra vida se refiere.

**La Pintura en el siglo XIX**, por Cláudio Boute-  
telou.—Un tomo, 14 rs.

«Después de consagrar algunas páginas, dice el au-  
tor de este libro, á expresar nuestras ideas respecto al  
Arte en general y á la Pintura en particular, nos ocupa-  
mos en la primera seccion en trazar la marcha de esta  
última desde fines del siglo XVIII hasta la época pre-  
sente, destinando las otras dos á tomar nota de los me-  
dios empleados en el siglo XIX, en bien de sus progresos,  
y á reseñar su estado actual en cada uno de los géneros  
que comprende, cuidando de indicar las tendencias que  
se descubren.»

**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.—4 tomos, 64 rs.

Esta obra, que ahora se traduce al castellano por  
primera vez, há tiempo que goza entre nosotros de gran-  
de y merecida celebridad. Fruto de un trabajo de veinte  
años, durante los que su autor ha consultado todos los  
manuscritos relativos á la historia de los árabes que se  
conservan en Europa, es de aquellas que están llamadas  
á formar época en este género de estudios; hoy es consi-  
derada justamente como la mejor, y lo será siempre co-  
mo una de las clásicas en esta materia.

**Historia de la Geografía y de los descubrimien-  
tos geográficos**, por Vivien de Saint-Martin, traduci-  
da y anotada por Manuel Sales y Ferré, Catedrático  
de Geografía-Histórica en la Universidad de Sevilla.  
—Con mapas intercalados en el texto, 2 tomos, 40  
reales.

Este libro que expone el curso y desarrollo del cono-  
cimiento geográfico desde los tiempos más remotos has-  
ta nuestros días, sin omitir ninguna obra ni descubri-  
miento importantes, además de ser el único que se ha  
escrito de este asunto, tiene el mérito de instruir y de-  
leitar á la vez, por su exposición ordenada y bella, por  
la proporcion de sus dimensiones, y por abarcar toda la

materia. Publicado en Francia el año 1873, el traductor lo ha continuado hasta nuestros días, narrando, entre otros, los importantísimos viajes de Nachtigal, de Cameron y de Stanley al interior de África; los de Warburton y de Forrest al interior de Australia; el de Payer y Weyprecht encima de Nueva Zembla, y el del inglés Nares á la region polar por el estrecho de Smith.

**Estudios políticos y sociales**, por Herbert Spencer, traducidos del inglés por Cláudio Boutelou.—Un tomo, 14 reales.

Este libro de Herbert Spencer, uno de los más grandes pensadores de nuestra época, es la introduccion al vasto monumento filosófico que ha levantado para sintetizar el conjunto de la ciencia filosófica fundada en las ideas modernas. El autor estudia la Ley y Causa del Progreso; examina el estado actual de la legislacion en todos los pueblos modernos; expone un organismo social conforme á los principios de la ciencia, y termina por un estudio de las Maneras y de las Modas, proponiendo los mediös de corregirlas. Como en todos sus libros, aduce el autor en éste tal riqueza de hechos y de observaciones en comprobacion de sus ideas, que proporcionan vasta instruccion al lector, á la vez que le dan la prueba de los principios que se sustentan.

**Libro de Agricultura**, por el árabe Abu-Zacaria, seguido del Catecismo de Agricultura, por Victor Vanden-Broeck y de las Conferencias agrícolas sobre los Abonos quimicos por Georges Ville. Arreglado por Claudio Botelou.—Dos tomos, 32 rs.

Este libro es una verdadera enciclopedia, que ofrece al agricultor español todos los conocimientos que necesita para la labranza. Por una parte, el tratado de Abu-Zacaria le enseña lo que ha sido hasta aquí la agricultura pátria; por otra, el Catecismo de Broeck y las Conferencias de Ville le presentan los últimos adelantos que ha hecho la agricultura á la luz de las ciencias naturales. Le precede, además, una Introduccion escrita por el Ingeniero Sr. Boutelou, en que se traza á grandes rasgos la historia de la agricultura española desde la dominacion romana hasta nuestros días.

**Investigaciones acerca de la Historia y Literatura de España durante la Edad Media**, por R. Dozy, traducidas de la segunda edicion y anotadas por Antonio Machado y Alvarez.—Dos tomos, 32 rs.

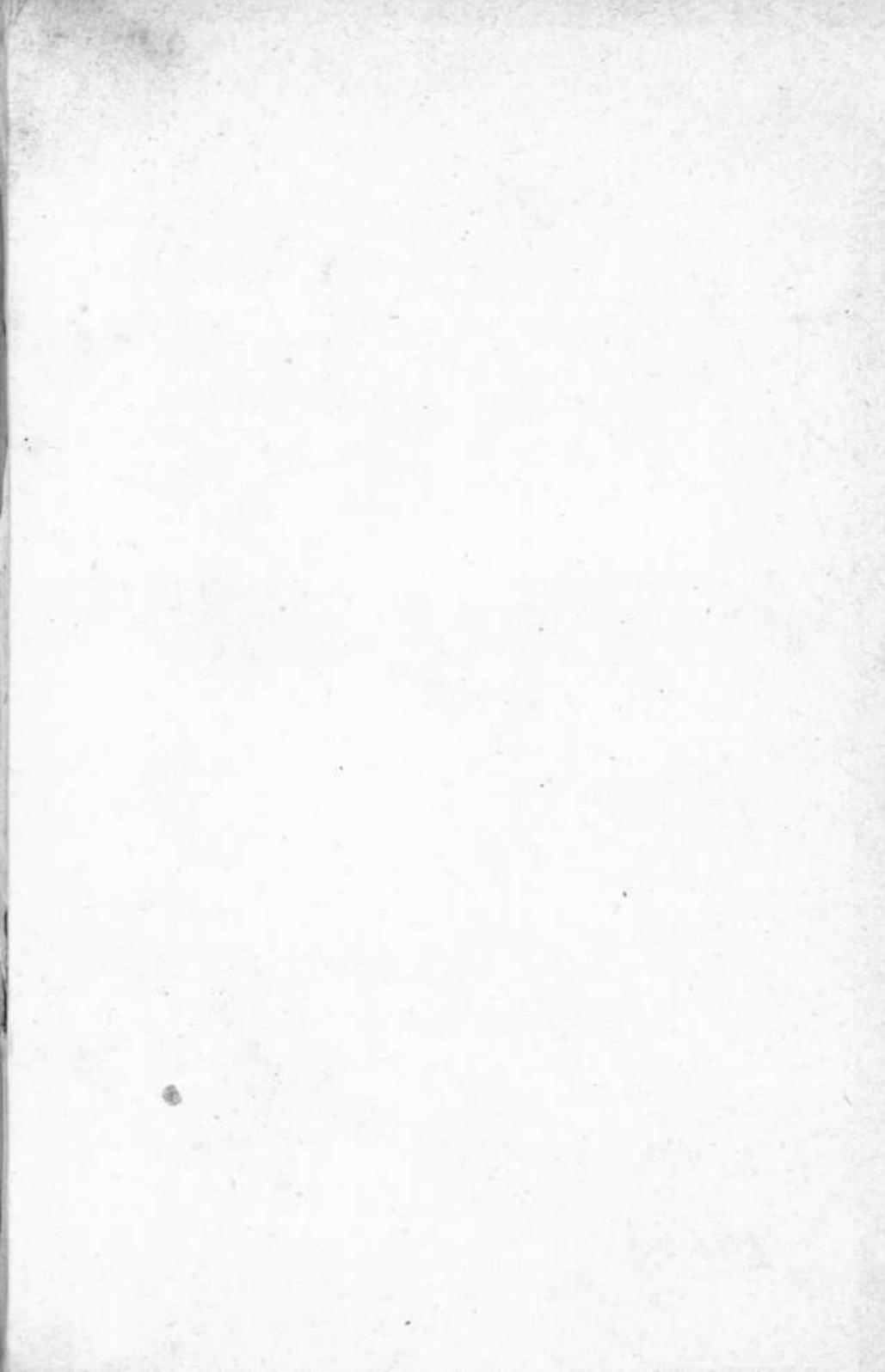
Esta preciosa é inestimable obra, necesaria para todo el que se proponga hacer un estudio profundo de nuestra historia en los siglos medios, contiene puntos tan interesantes como las *Indagaciones acerca de la historia del reino de Astúrias y Leon*; las *Observaciones geográficas sobre algunas antiguas localidades de Andalucía con la expedicion á ésta de Alfonso I el Batallador*, y *El Cid segun los nuevos documentos*.

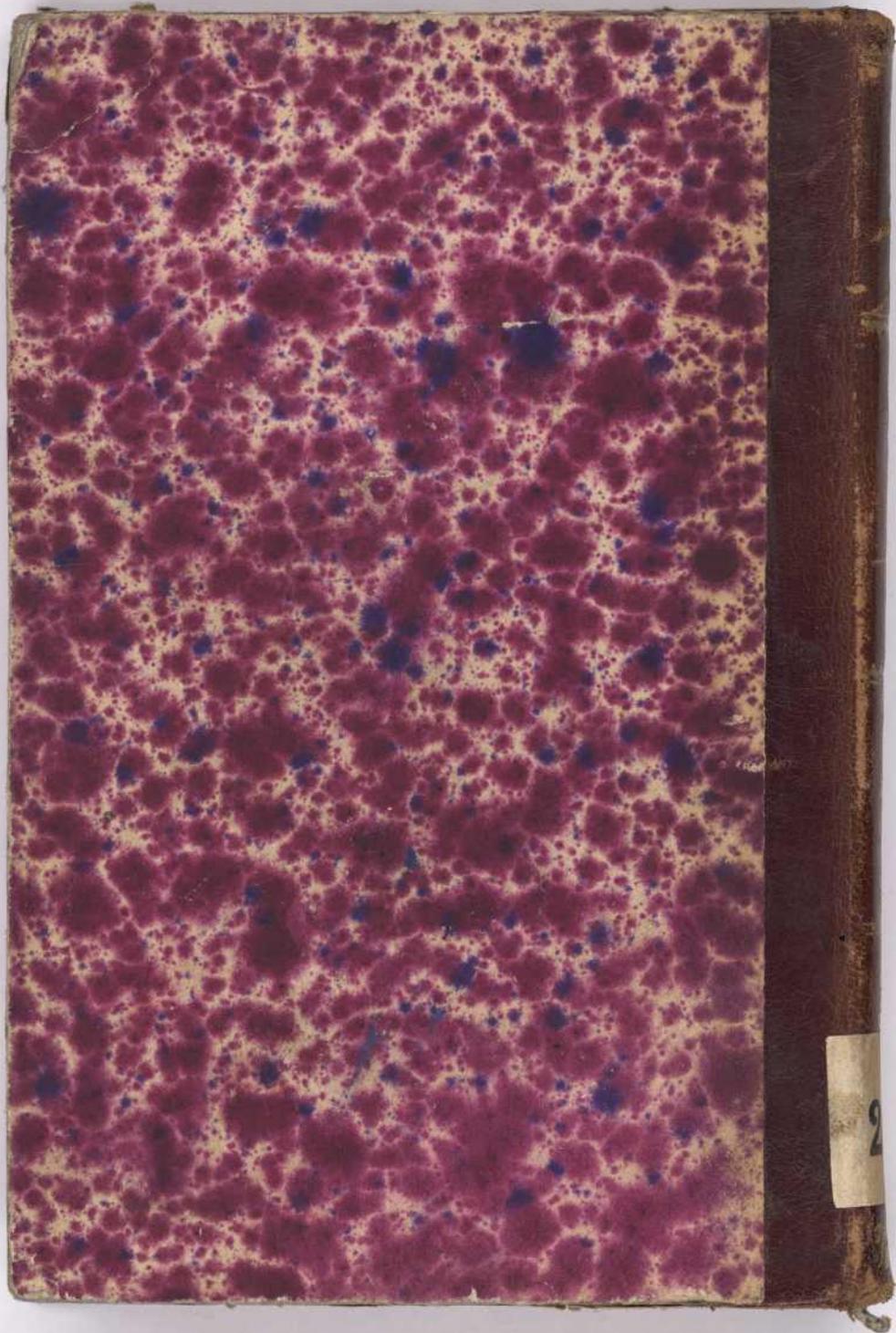
**El Gobierno Representativo** por John Stuart Mill, traducido del inglés con notas y observaciones por Siro García del Mazo, gefe de Trabajos Estadísticos de esta provincia.—Un tomo, 18 rs.

Fruto de más de veinte años de medetacion, este libro estudia y resuelve todos los problemas referentes á la organizacion de los Poderes públicos y á la Administracion del Estado, no solo en pura teoría, sino principalmente en la práctica y en la vida. Lleva por apéndice la Ley electoral vigente, por hallarse inspiradas algunas de sus reformas en los principios que sustenta el filosofo inglés.









2

SECCHI.

EL SOL

1

22 17