

LA FÍSICA DEL SOL Y LOS FENÓMENOS DE LA VIDA SOBRE LA TIERRA

*Conferencia dictada en el Observatorio Astronómico Nacional el día 3 de noviembre
de 1935.*

INTRODUCCIÓN

Por: JORGE ÁLVAREZ LLERAS
*Artículo del Boletín de la
Sociedad Geográfica de Colombia
Número 2, Volumen III
1936*

 un cuando el tema desarrollado en esta conferencia no es propiamente de la índole del Boletín de la Sociedad Geográfica, por la razón de tratarse en ella por algunos de sus aspectos — de cuestiones climatológicas relacionadas con el territorio nacional, se ha creído oportuno darle cabida en las presentes páginas, manifestando, desde luego, que tal exposición no encierra nada original, y que es tan solo una breve labor, de propaganda cultural, referente a cuestiones hasta cierto punto nuevas, y que no son por eso conocidas del público colombiano.

EXPOSICIÓN PRELIMINAR

Señores: La circunstancia de haber la Dirección del Observatorio, de modo casual emitido opinión por la prensa respecto de las condiciones meteorológicas anormales que han llamado últimamente la atención pública me obliga a dictar la presente conferencia ante vosotros, con el propósito de aclarar mis conceptos al respecto, fundamentándome en los escasos datos actinométricos que hasta ahora ha logrado acumular el Observatorio y en las observaciones personales que últimamente se han hecho por este Instituto, del disco solar, mediante el uso de un antejo de 90 mm. de abertura y 1m20 de distancia focal, cuyo objetivo recibió recientemente una película de plata, según el método de Brashear y como se ha acostumbrado. «hacerlo en los observatorios desde tiempos de Foucault.

Ya, de años atrás, estando en la empresa de obtener fotografías del sol con un antejo ecuatorial de 200 mm. de abertura y tres metros de distancia focal, se había notado que un

mínimo excepcional de manchas solares hacía prever un período próximo de actividad que iba a coincidir con la sucesión de tres períodos undecenales, desde 1902, cuando se registró en el país una de las épocas más notables de anormalidad meteorológica, de que se tuviera noticia desde 1864.

Esta consideración hizo, naturalmente, que por la Dirección del Observatorio se buscara un intercambio de ideas al respecto con el Observatorio Meteorológico de Niza, entidad que con el nombre de «Office Meteorologique de la Ville de Nice» está procurando, desde febrero de 1932, agrupar bajo su dirección a todos aquellos que en el mundo entero se ocupan de cuestiones relacionadas con la física solar y los fenómenos diversos que sobre la superficie terrestre tienen origen, según se presume, en la energía que nos llega del centro de nuestro sistema planetario, bajo diversas formas.

Puesto en relación este Observatorio con los directores del movimiento que creó el 20 de mayo de 1932 la «Asociación mundial de investigación respecto de los efectos biológicos de las radiaciones solares, terrestres y cósmicas» fue admitido entre el número de sus adherentes, que ya en 1933 subían a 219 miembros repartidos en 16 naciones principales del globo.

Naturalmente, con esto no se pretendía nada interesante ni de valor científico, ni siquiera hacer obra de acuerdo con el objeto de este Observatorio — que es meramente astronómico y no meteorológico — sino tan sólo seguir las huellas de mi antecesor en la Dirección de él, el sabio astrónomo y matemático doctor Julio Garavito Armero, quien en la introducción a su admirable folleto: «El clima de Bogotá» se expresó así:

«El sol es la única causa conocida de los fenómenos meteorológicos. La cantidad de calor que arroja sobre cada centímetro cuadrado de superficie terrestre colocada normalmente a los rayos solares, es de tres pequeñas calorías por minuto; por tanto, la energía que anualmente comunica el sol a la tierra es próximamente de 954×10^{21} kilográmetros, de la cual pierde una porción bastante considerable por radiación al espacio, y el resto lo aprovecha en la evaporación permanente del agua que riega los continentes y mantiene los ríos, en sostener la superficie de la tierra a una temperatura muy superior a la del espacio que la rodea, y en fin, en el desarrollo de la vida en sus diferentes manifestaciones. Se comprenderá, por tanto, cuál será la influencia de la acción solar sobre los movimientos atmosféricos.

» La temperatura de un lugar en un instante dado, depende de la distancia zenital del sol; es decir: de su ángulo horario y de su declinación. El ángulo horario tiene por período el día, y la declinación el año; la temperatura, por consiguiente, deberá tener esos mismos períodos: el diurno y el anual; y como todas las cantidades meteorológicas dependen de la temperatura, ellas quedarán también sometidas a dichos períodos.

» En la zona intertropical la oblicuidad de los rayos solares, a una misma hora del día, varía muy poco con la declinación del sol; de ahí que la variación anual de la temperatura sea casi insensible en esa región, y esta es la causa de que en ella no haya propiamente estaciones.

» Es evidente que si la cantidad de calor solar recibida por la tierra durante un intervalo de tiempo determinado, fuera constante, los períodos meteorológicos diurno y anual, no tendrían por qué sufrir alteraciones; así, pues, los fenómenos perturbadores o anormales deben provenir de que el sol no arroja siempre la misma cantidad de calor. Desde hace algún tiempo se ha encontrado un período de once años y medio en la cantidad de manchas solares, cuya influencia en la temperatura media de los lugares de la tierra se ha hecho perceptible. Además, no todos los puntos de la superficie solar deben emitir la misma cantidad de calor, y es claro, como lo han hecho notar Zanger y Honoré, que la rotación solar debe ocasionar un nuevo período meteorológico. La Actinometría está llamada a dilucidar este asunto importantísimo para la Meteorología».

De acuerdo con estas ideas es lógico que en esta conferencia en donde se van a exponer brevemente las labores del Observatorio en materia de Actinometría, me ocupe, aunque sea superficialmente, de la física del sol: astro centro mecánico de nuestro sistema y origen único de la vida sobre el planeta que habitamos.

Para entrar en materia voy a repetir, una vez más, lo que cualquiera puede encontrar en los tratados corrientes de Cosmografía y Astrofísica, pero que conviene insertar en la presente conferencia para refrescar la memoria de quienes me escuchan.

La superficie esférica gaseosa que rodea al sol ha recibido muy impropriamente el nombre de «atmósfera». Esta atmósfera se compone de dos partes relativamente estables: una capa inferior: la «fotósfera» que mide de 1.000 a 3.000 kilómetros de altura, y una capa superior: la «cromósfera», cuya altura es de 10.000 a 30.000 kilómetros. Esta atmósfera se continúa en el espacio por una zona mucho más extensa, formada por gases muy rarificados y por polvo cósmico, que constituyen la «corona» solar, cuya forma y extensión son muy variables, y que se extiende a distancias de varias veces el radio del sol (1 a 6), lo que equivale a una zona de cuatro millones de kilómetros.

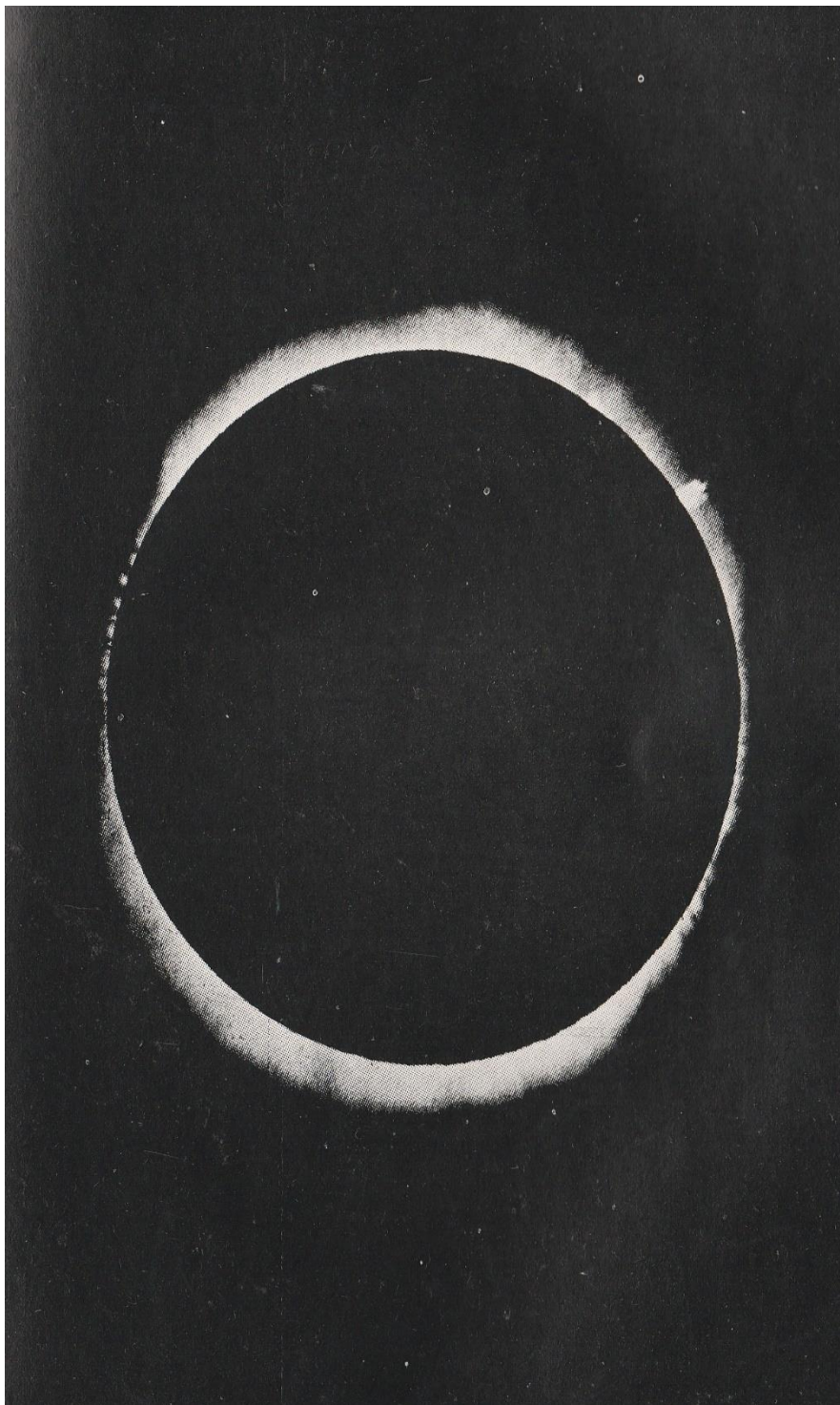
La fotósfera, que es la superficie luminosa que limita al sol, es lo que se nos aparece al observarlo a toda hora, sea a simple vista, sea sirviéndonos de instrumentos ópticos más o menos potentes. En la fotósfera aparece lo que se ha llamado «las manchas solares».

Haciendo pasar los rayos solares por un pequeño agujero y recibiendo sobre un papel blanco en una cámara oscura, descubrió Juan Fabricio, en 1511, estas manchas del sol. Comparó las sucesivas posiciones que iban tomando varias manchas, y así no le cupo la menor duda de que efectuaban una revolución.

Con los rudimentarios instrumentos ópticos de aquella época, Galileo, en 1515, describió las fáculas, halló un valor aproximado de la rotación del sol, y sostuvo que las manchas y las fáculas están en la superficie de éste, y no pueden, en modo alguno, mirarse aquéllas como cuerpos oscuros interpuestos entre la fotósfera y nosotros.

Con análogos medios, Scheiner descubrió, poco después, las lúculas, la penumbra de las manchas y la que llamó zona regia de éstas, o sea la comprendida entre pocos grados al norte y al sur del ecuador solar, que es donde se forman las manchas que había observado. Dio un nuevo valor de la rotación aparente del sol, fijó la posición de su polo — 7. distanciado

del de la elíptica — indicando, además, las épocas del año en que aquel polo está sobre el limbo o borde del disco solar.



Eclipse total de sol de mayo 28 de 1900. Fotografía de la parte interior de la corona.

Comparando en una mancha ordinaria los sucesivos aspectos que presenta la región de la penumbra opuesta al borde más próximo del sol, observó Wilson, en 1776, que dicha penumbra aparecía o desaparecía progresivamente, según que la mancha se alejara o acercara a aquel borde. Este hecho, repetidamente comprobado, ha servido para que, en general, se afirme con Wilson, que las manchas son cavidades.

Respecto a las fáculas y a las lúculas, como son accidentes más pequeños, fue preciso disponer de mejores medios y éstos hallarse en manos tan expertas como las de Herschel, para descubrir que las primeras son realmente prominencias o elevaciones sobre el nivel medio de la fotósfera, observables sobre todo en el borde, por la ligera deformación que allí aparece al llegar a él la fácula. Los puntos brillantes de las lúculas son, a juicio del P. Secchi, verdaderos conos luminosos cuyas bases estima en 250 kilómetros de diámetro, que equivalen a 3 diez milésimas del radio solar o a $\frac{1}{3}$ de segundo de arco sobre la superficie del sol.

Finalmente, en condiciones atmosféricas favorables y con buenos instrumentos, Herschel llegó a descubrir que la superficie del sol, dejando a un lado manchas, fáculas y lúculas, está formada por una multitud de gránulos de luz vivísima y de forma irregular que flotan en un medio menos luminoso, dispuestos en líneas o en grupos de dos o más elementos. Si el aumento que se emplea no es exagerado el aspecto general de la fotósfera recuerda el papel de dibujo basto, según Young, o la cáscara de una naranja según Herschel. Cuando se ha podido aprovechar el aumento máximo y las circunstancias han sido óptimas, se han visto los gránulos unas veces alargados, estrechos y puntiagudos, como hojas de sauce (Nasmith); y otras, reconociéndolos alargados, semejabán granos de arroz (Stone y Secchi) o briznas de paja (Young).

En cuanto al área que ocupan estos gránulos y a su intensidad luminosa total, Langley las estima respectivamente en un $\frac{1}{5}$ de la superficie solar y en $\frac{3}{4}$ de la luz que la fotósfera emite.

Fue tan grande el éxito alcanzado y tal el entusiasmo con que fue acogida la primera imagen fotográfica del sol (la de Foucault y Fizeau) que físicos de la valía de los nombrados y astrónomos como Arago, Faye, Herschel, etc. tomaron a empeño allanar cuantos obstáculos se presentaron hasta conseguir que la cámara fotográfica figurase dignamente entre los instrumentos astronómicos.

El mejor procedimiento que aficionados y astrónomos seguían antes de eso para estudiar los accidentes que se observaban en la fotósfera, consistía en dibujar la imagen del sol dada por un anteojo montado ecuatorial o paralácticamente, y proyectada sobre una pantalla a dicho anteojo unida. Con este minucioso y delicado trabajo consiguióse reunir series de dibujos cuyo estudio sirvió: primero, para hallar el periodo undecenal de las manchas, descubierto por Schwabe y confirmado por Wolf, primer director del Observatorio de Zurich; luego, para encontrar la ley a que obedece su distribución en los dos hemisferios del sol: boreal y austral; y finalmente, para demostrar la creciente duración de la rotación solar, del ecuador a los polos, hallada por Carrington.

Comparados estos dibujos hechos a mano, con las fotografías, que iban obteniéndose,

resultaba tan evidente la superioridad de éstas, bajo todos aspectos, que el ilustre Herschel llegó a proponer en 1854 la fotografía diaria y sistemática del sol en los observatorios ingleses, con el fin de resolver cuanto se relacionare con la formación, desenvolvimiento, trayectoria, duración y reparto de las manchas, y de cuantos fenómenos tienen su asiento en la fotósfera.

El Observatorio de Kew, junto a Londres, fue el primero que en 1858 se puso en condiciones de llevar a la práctica el proyecto de Herschel, construyendo bajo la dirección de Warren de la Rue, el *fotoheliógrafo*.

Dicho observatorio comenzó su trabajo sistemático el año de 1863, y obtuvo la primera y más completa serie de fotografías solares: 2.778 placas tomadas en 1.721 días, que abarcan casi sin interrupción el clásico y curioso período un decenal de las manchas.

Corregidos algunos defectos de este *fotoheliógrafo*, e instalado nuevamente en Greenwich en 1872, continuó la obra emprendida, con la cooperación de los observatorios de Puerto Luis, en la isla Mauricio y de Dehra Dun, cerca del Himalaya, provistos los tres de iguales instrumentos. Con estas precauciones, trabajando siempre que lo consienta el estado del cielo, es difícil dejar de registrar los menores accidentes que puedan ocurrir en la superficie solar.

Otros observatorios siguieron desde entonces el ejemplo de los ingleses, formando series fotográficas del sol. De éstas, la mejor, sin duda, en concepto de Barnard, astrónomo especialista en fotografía de Observatorio de Yerkes, es la emprendida y continuada sin interrupción por Janssen en el Observatorio Astrofísico de Meudon, junto a París.

La bondad, la riqueza de detalles y la rara perfección de las placas de Janssen, se deben al gran tamaño de la imagen, a la acertada elección de las superficies ópticas y de la placa sensible y al obturador especial que empleaba, con el que podía reducir el tiempo de exposición a 1/5 de milésima de segundo.

En estas fotografías, además de los accidentes de mayor bulto, como manchas y fáculas, aparece perfectamente definida otra multitud de pequeños detalles que sirven para formarnos mejor juicio de la irregular estructura de la fotósfera, sujeta siempre a cambios continuos y a grandes y violentísimos movimientos. Entre esos detalles merece citarse, desde luego, la granulación de toda la superficie, que visualmente sólo se había observado rara vez y en pequeñas partes del disco, dando origen a las ya citadas denominaciones de hojas de sauce, granos de arroz, briznas o trocitos de paja, etc. según las apariencias que presentaban a los observadores.

Ahora bien: a juicio de Janssen, estas últimas formas, que suelen presentarse en tal o cual parte de la fotósfera, no son más que excepciones y no puedan representar una ley general de su constitución. Estudiada, en efecto, la granulación en los puntos de la fotografía en que parece estar mejor definida se ve que los gránulos presentan formas muy variadas, aproximándose por lo regular a la esférica, sobre todo cuanto más pequeños son. Aun tratándose de la multitud de gránulos que ofrecen formas más o menos irregulares, se ve que están formados por un conjunto de elementos más pequeños, que individualmente recuerdan la esfera. Observase, además, muchas veces, que la limpieza o precisión en su

contorno y en su forma, varía de una región a otra; y que esos gránulos están separados entre sí por líneas mal definidas y confusas que cubren toda la imagen, y que representan la llamada red fotosférica.

Janssen atribuye esta red fotosférica que él descubrió en sus placas, a las corrientes gaseosas ascendentes locales que imposibilitan un estado de equilibrio perfecto en el conjunto de la fotosfera. Esas corrientes gaseosas, en efecto, la rasgan y dividen en muchos puntos, y dan lugar a nuevos elementos o fracciones de la envoltura fotosférica, que tampoco consiguen un estado de equilibrio individual. De ahí nace la heterogeneidad y la división de la superficie luminosa en regiones de calma y de actividad relativas, que son las que, en definitiva, determinan su estructura reticular.

Desslandres, en cambio, se inclina a creer que la red fotosférica es debida a variaciones especiales de la atmósfera terrestre. En otra parte afirma, sin embargo, que se han de hacer nuevos estudios para formar juicio definitivo sobre aquel curioso fenómeno.

Si fecundo fue en manos de Janssen el examen de las placas fotográficas, tratándose de los pequeños accidentes fotoféricos, no ha sido menos fructífero el estudio de las manchas y fáculas solares hecho sobre las mismas fotografías.

La observación ocular de la fotosfera con instrumentos de alguna potencia, y ya directamente, ya por proyección sobre una pantalla, dio por resultado las leyes de Schwabe, de Sabine y de Carrington, referentes a la periodicidad de las manchas, al acuerdo entre las variaciones de éstas y del magnetismo terrestre y a la desigual duración de la rotación solar en distintas latitudes.

El estudio del sol empleando la máquina fotográfica, abarca ya más de nueve períodos undecenales y ha acumulado un sinnúmero de placas de las que se han deducido nuevas consecuencias relativas a la distribución de las manchas de un mismo período, a la sucesión de éstas, etc. Así, por ejemplo, Wolfer, director del Observatorio de Zurich y sucesor de Wolf en dicho cargo, ha encontrado en las manchas cierta tendencia a agruparse sobre determinados meridianos, y aún a veces sobre meridianos opuestos; y Lockyer y Schuster descubrieron la existencia de períodos más largos y más cortos superpuestos al undecenal, y relacionados entre sí por una ley sencilla.

Respecto a las fáculas se ha visto que, en general, las inflexiones de las curvas que las representan concuerdan con las que ofrecen las de las manchas, y, por lo tanto, obedecen también al período undecenal. En cuanto a su distribución en latitudes, Mascari descubrió dos máximos: uno principal, que cambia de posición con las manchas, y otro secundario próximo a los polos, que desaparece cuando las manchas disminuyen de un modo notable.

Actualmente las perturbaciones de la fotosfera, a que vengo refiriéndome, manchas y fáculas, se consideran por los astrónomos y los físicos como verdaderas tempestades solares. Estas tempestades se producen por fenómenos de una amplitud tal que nos es imposible representárnoslos en la imaginación de una manera adecuada. Así, las llamas o protuberancias de que hablaré en seguida se elevan por encima de la fotosfera con velocidades de 100 a 400 kilómetros por segundo, y a veces alcanza alturas hasta de

700.000 kilómetros.

Es muy probable, desde luego, que estos fenómenos de la capa esférica gaseosa que rodea al sol se acompañen también por perturbaciones de la masa fluida subyacente, que constituye el globo o núcleo solar. Si tenemos en cuenta que las tempestades de la atmósfera terrestre, que se desarrollan en un campo que tiene apenas algunos kilómetros de altura y algunas decenas de kilómetro de extensión (con temperaturas que varían solamente pocas decenas de grados) producen entre nubes únicamente compuestas por vapor de agua, diferencias de potencial eléctrico de varios millones de voltios, podemos imaginar fácilmente el poder extraordinario de las tempestades solares, cuya superficie y altura son del orden de magnitud de centenares de millones de kilómetros y que se desarrollan entre nubes de metales al estado gaseoso, cuya temperatura media es de 6.000 grados y cuyas variaciones térmicas sufren, sin duda, oscilaciones de varios millares de grados.

Ciertamente, la más poderosa imaginación se pierde al pensar en los gigantescos campos eléctricos y magnéticos a que habrán de dar lugar esas tempestades que se nos hacen visibles por las manchas y fáculas, ya brevemente descritas, y por las protuberancias cuyo exacto conocimiento requiere el empleo juicioso del espectroscopio.

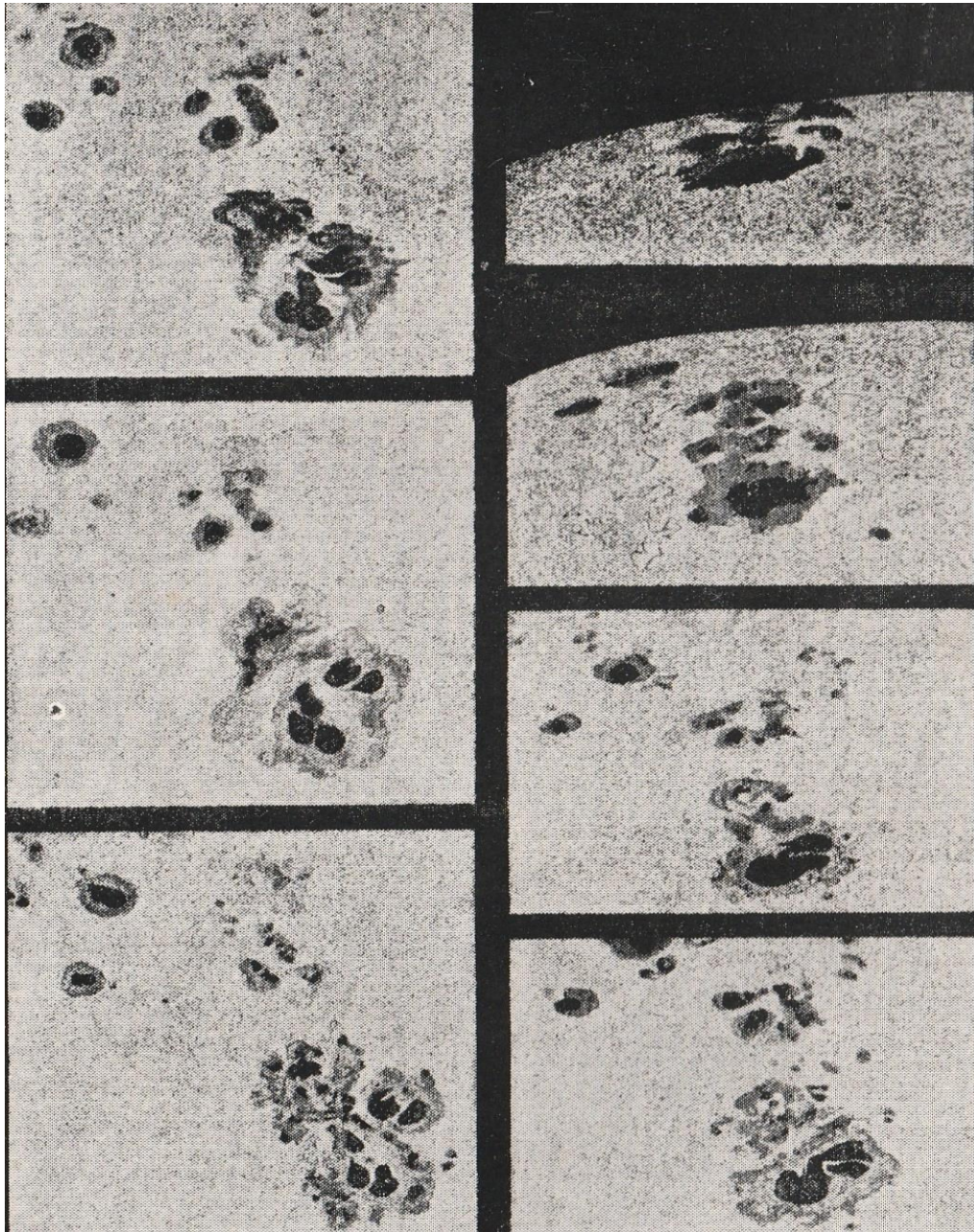
Con estas explicaciones vamos a entrar ahora al estudio breve que se puede hacer en esta exposición, de la parte exterior de la atmósfera solar, estudio que últimamente ha sido posible iniciar en este Observatorio mediante la adaptación de un espectroscopio de prismas — de gran dispersión — al anteojo ecuatorial de 200 m.m de abertura y 300 cm. de distancia focal, de que hablé atrás.

Para entrar en materia me permito hacer un breve recuento histórico referente a los métodos espectroscópicos usados para la observación de las capas que envuelven la fotosfera o superficie luminosa del sol.

He dicho que exteriormente a la fotosfera hallase la parte de la atmósfera solar, invisible de ordinario aun con los mejores anteojos, y observable a simple vista y en toda su magnificencia, durante los eclipses totales de sol.

El siglo pasado, porque la parte astronómico-matemática se hasta la total atención de los entes cultos que observaban los eclipses totales de sol.

En el año de 1842 se llegó al convencimiento de que la aureola o resplandor que se extendía en torno del sol, la formaban dos partes bien diferenciadas: la interior llamada entonces "sierra" por Airy, inmediatamente al disco de la luna, o sea la cromósfera con las protuberancias rojas, y al exterior la corona, suavemente luminosa y de intensidad decreciente a medida que se aleja del sol. En lo que no hubo Cuerdo entre los astrónomos fue en si dicha aureola o gloria pertenecía realmente al sol, o si debía atribuirse a la luna, o, últimamente, en si era una ilusión óptica o no. El estudio del eclipse de 1860 desvaneció por completo estas dudas, demostrando que la cromósfera con las protuberancias y la corona, son verdaderas expansiones solares.



Grupo de manchas solares con sus variaciones sucesivas. Fotografías ampliadas de M. Rutherford

Los trabajos hechos hasta hoy respecto a esta parte de la atmósfera del sol permiten asegurar que está formada de tres porciones práctica y físicamente distintas: 1ª — La inmediata a la fotosfera, de color blanco, de unos 2" de altura (como $\frac{1}{4}$ de nuestro radio terrestre), llamada capa inversora o "espectro relámpago" vista por primera vez por Young durante el eclipse total del sol del 28 de diciembre de 1870. 2ª — La cromósfera, que sigue a la anterior, de color rojo purpúreo de 8" a 12" de espesor, de la que nacen surtidores incandescentes, de forma y dimensiones varias, denominados protuberancias, y 3ª — La

corona que por encima de la cromósfera y entre las protuberancias y más allá de éstas, se presenta de color blanco plateado, o blanco de perla o nácar o blanco mate aterciopelado según las diversas apreciaciones de los que la hemos visto.

Por impresión personal mía, habida en el eclipse total de sol que observó el personal de este Observatorio el 10 de febrero de 1916, en Puerto Berrío, el verdadero color de la corona es indescriptible, y no corresponde a estas apreciaciones, pues no es ni el blanco de perla o nácar, ni el blanco mate aterciopelado, ni el blanco plateado y luminoso, lo que en ella predomina, sino una mezcla y fusión gradual de todos estos aspectos, hasta la dispersión finísima de esa luz misteriosa sobre el fondo oscuro del cielo, en forma análoga a la cauda de un cometa. Naturalmente, el conjunto de la corona, sobre la cual se destacan las llamas rojas de color intenso de las protuberancias que rodean al disco absolutamente negro de la luna y el del cielo de azul muy oscuro, tirando a negro, que la rodea durante un eclipse total de sol constituye uno de los espectáculos más bellos que puede ofrecernos la naturaleza.

Este espectáculo, en que se refiere a la corona, sólo nos es dado durante los cortos instantes de un eclipse; pero en lo que dice a las protuberancias, desde 1868 se pudo apreciar que con el espectroscopio podían hacerse aparentes, en cualquier momento, en pleno día.

En la observación del eclipse acaecido en agosto de ese año diversos físicos y astrónomos usaron por primera vez tal instrumento, demostrando, entre otros extremos, que las protuberancias observadas eran enormes masas gaseosas incandescentes, compuestas principalmente de hidrógeno.

Uno de los observadores, Janssen, encontró tan brillantes o luminosas las rayas denunciadoras del hidrógeno, que no le cupo la menor duda de que las volvería a ver en seguida, tan luego finalizara el eclipse. No pudo, sin embargo, comprobarlo aquel mismo día por impedírselo las nubes; pero, en la mañana siguiente dirigió la rendija de su espectroscopio hacia la región del limbo del sol, en que horas antes había observado las protuberancias más notables, viendo en efecto, las anheladas rayas luminosas, cuyo número posición determinó sin prisas, rectificando, en parte, lo observado la víspera. Movié luego el aparato, haciendo que la rendija fuera tomando diversas posiciones con respecto al limbo, y quedó plenamente convencido de que por este medio se podrían dibujar con fidelidad las formas de las protuberancias.

Lockyer, por los mismos días, en posesión del espectroscopio que acababa de construirse con fondos de la Royal Astronomical Society, encontró también las protuberancias en pleno día, apresurándose a comunicarlo a dicha Sociedad y a la Academia de Ciencias de París.

Pocos meses después, en febrero de 1869, completaba Huggins el descubrimiento de Janssen, demostrando que era posible ver total y simultáneamente una protuberancia a toda hora, sirviéndose para ello de un espectroscopio de un poder dispersivo grande, y separando los bordes de la rendija con el tornillo que al efecto acompaña al aparato. A medida que se ensancha la rendija, o ventanilla, aumenta la parte visible de la protuberancia; y si ésta no rebasa ciertos límites o si la dispersión del espectroscopio es suficiente, cabe verla por completo.

Como dije, los descubrimientos de Janssen y de Huggins han servido de base para que desde hace sesenta años se emprendiera el estudio sistemático de las protuberancias, ya con relación a las variadísimas formas que toman, ya considerando su naturaleza química, ya tocante a su distribución al rededor del disco solar, ya respecto a su número y posición, ya, en fin, viendo si el conjunto de este fenómeno de la actividad del sol respondía a alguna ley periódica con el transcurso del tiempo.

La forma y la naturaleza química de las protuberancias están tan íntimamente relacionadas, que han servido de base para su clasificación en quiescentes o hidrogenadas y eruptivas o metálicas.

Como todos vosotros sabéis, en el espectroscopio de que os he hablado, que es un instrumento óptico donde se descompone la luz blanca solar en los siete colores del espectro, se observan claramente esas rayas negras, paralelas a las caras de los prismas del aparato, y que corresponden precisamente a las rayas brillantes producidas por los cuerpos simples que se queman o se elevan a la incandescencia ante la rendija o ventanilla del mismo aparato ya mencionado atrás.

Por ejemplo, si se observa en la oscuridad una llama incolora de alcohol con el espectroscopio, y se introduce en ella un alambre de platino mojado en una solución de cloruro de sodio, inmediatamente aparece en la banda del espectro una raya amarilla brillante, que, con otras menos connotadas, precisa siempre el espectro del sodio. Ahora bien, si se interpone entre una fuente luminosa que produzca un aspecto continuo de los siete colores (la luz incandescente de un pedazo de cal elevado al rojo blanco, verbi gratia), un recipiente que contenga vapores de sodio inmediatamente aparece en el espectro continuo de antes, rayas oscuras que coinciden exactamente en posición con las características rayas brillantes del sodio. Este espectro invertido se llama espectro de absorción, y, precisamente, por él se ha podido determinar la presencia en la atmósfera solar de cuerpos bien conocidos en la tierra por sus espectros respectivos cuidadosamente estudiados en los laboratorios.

Creo que en esta conferencia de mera propaganda y de vulgarización científica, sin compromisos de carácter académico, basta con lo expuesto para dar una idea siquiera sea somerísima, de lo que es esa rama de la Química que se llama el «análisis espectral», aplicada en Astronomía a la investigación de la constitución de los astros.

Especialmente, en lo que respecta al sol, esta noción elemental es necesaria para entender qué es lo que se ha hecho con el espectroscopio para estudiar a fondo la constitución de las manchas, como veremos adelante, y para observar las protuberancias, ya clasificadas, según se dijo, en quiescentes o hidrogenadas y eruptivas o metálicas.

Las primeras, las quiescentes, en cuanto a su forma y estructura, se parecen a nuestras nubes, y se presentan más bajo la forma decirrus o stratus que como cumulus. Por la regular es tan estable su forma que es raro observarlas durante bastantes horas y aún días, sin variación notable; sin embargo, algunas cambian a veces en poco tiempo. Encuéntrense en todas las regiones del borde solar, tanto en las partes limítrofes a las manchas como en las próximas a los polos. Comúnmente nacen de la cromósfera, a la que las unen cortas

columnas o filamentos más o menos separados que, ensanchándose y difundiéndose en las alturas, forman las nubes.



Fotografía de la superficie solar con ampliación previa. Diámetro del disco 0m891 -
Observatorio de Meudon

El espectro de estas protuberancias presenta siempre las llamadas rayas permanentes de la cromósfera, que son: las cuatro clásicas del hidrógeno, la D3 del helio y las H y K del calcio. Las protuberancias eruptivas ofrecen formas más variadas, y son éstas tan efímeras, que se

han observado cambios radicales en el breve lapso de un cuarto de hora. Semejan a veces inmensos surtidores de líquido inflamado que, elevándose en distintas direcciones, toman al caer la forma de parábola; otras, estos surtidores divergentes terminan en punta, cual si fueran púas o pinchos ya rectos, ya un poco curvados; con frecuencia, el surtidor recuerda las columnas salomónicas rematadas por grandes nubes, y nos trae a la memoria el tronco y la copa de un árbol si sólo vemos una protuberancia, o un bosque si son varias protuberancias las que aparecen en el campo del instrumento.

Encuéntrense, en general, en las cercanías de las manchas y nunca en las proximidades de los polos. Estudiadas en el borde mismo del sol, se ha visto que muchas proceden de la parte baja de la cromósfera, de la parte inversora, y hasta se han encontrado que arrancaban de las mismas fáculas.

El espectro presenta las rayas permanentes cuando se estudia la parte alta de las protuberancias eruptivas; y denuncia, además, la presencia del hierro, del magnesio y de otros metales cuando se examina la parte baja.

Esta regla, bastante general, da mayores visos de certeza a lo ya dicho respecto al origen de las protuberancias: las quiescentes como oriundas de la región media de la cromósfera, y las eruptivas como originarias de la base de ésta, del estrato inversor y aun de las fáculas o prominencias fotosféricas.

Como resumen de los estudios sistemáticos hechos sobre las protuberancias en general, emprendidos y continuados con ahínco y tenacidad por los espectrocopistas europeos y americanos, puede decirse: 1º Que las protuberancias en su conjunto aparecen en todos los puntos del borde solar, presentando con frecuencia dos máximos de actividad: uno próximo a los polos y otro hacia la región de las manchas. 2º Comparado el conjunto de las de un año con las de los años sucesivos, manifiéstese muy marcada una oscilación general cuyo período es el de las manchas, pero en el que no concuerdan las épocas del máximo y del mínimo. El acuerdo con el período un decenal es bastante completo, si sólo se consideran las protuberancias eruptivas.

Desde 1860 para acá, en todos los eclipses de sol ha figurado la fotografía en la mayoría de los programas trazados de antemano por las expediciones oficiales y privadas que han acudido a la zona totalmente oscura a estudiar el fenómeno. En todas las fotografías del eclipse tomadas durante la totalidad, aparecen bien definidas la cromósfera, con las protuberancias, y la corona.

Comparando esas fotografías de los eclipses totales se puede casi asegurar que la extensión y aún la forma que presenta la corona, guardan una relación marcada con el período undecenal. Así: en la época del mínimo de las manchas solares, la corona se extiende principalmente en la dirección ecuatorial; en las cercanías de los polos se presentan haces regulares de rayos curvos y bien deslindados, que caen hacia el mismo ecuador del sol. Por la época del máximo, las radiaciones luminosas se reparten de un modo muy irregular alrededor de todo el disco.

Estas reglas sirvieron al astrónomo Hansky del Observatorio de Pulkowa, para predecir la

forma que presentaría la corona en el eclipse total de sol de 1900, vaticinio que pudieron comprobar cuantos, sabiéndolo, presenciaron aquel espectáculo.

Además de la fotografía directa del conjunto del eclipse, ha habido astrónomos que han dirigido sus esfuerzos a registrar algún detalle cuya observación directa era a todas luces defectuosa fase Eficiente. Así es como Lockyer en 1896 y otros después, han conseguido imágenes perdurables del espectro de la capa inversora: espectrogramas que han servido para fijar con facilidad el número y posición de las rayas brillantes del espectro «relámpago», y comprobar que estas coincidían, bajo todos conceptos, con las negras del espectro normal.

Fuera de los eclipses han sido también muy notables los procesos hechos en la fotografía de la atmósfera solar, especialmente si nos atenemos a los resultados conseguidos en estos últimos

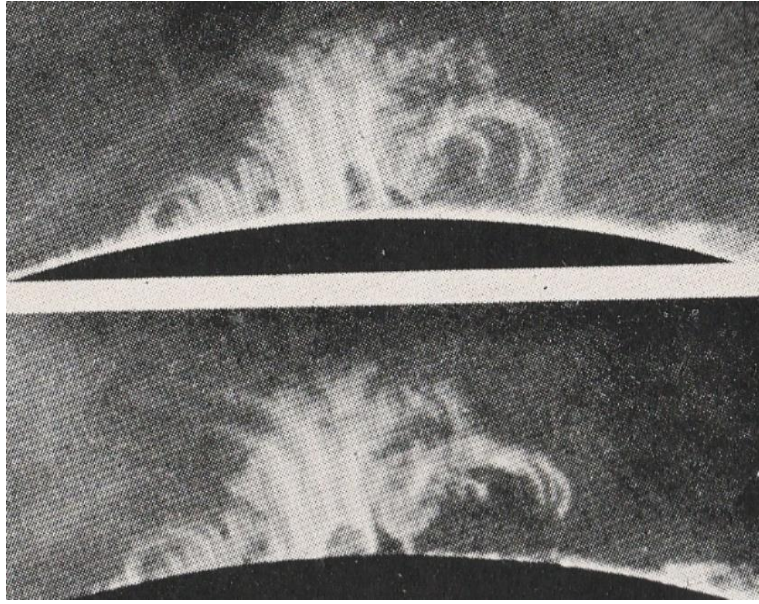
Compréndase, desde luego, que, si el ocular del anteojo analizador de un espectroscopio se reemplaza por una cámara fotográfica convenientemente dispuesta, podrá impresionarse una placa y obtenerse así la imagen parcial o total del espectro. El espectroscopio, así modificado, toma el nombre de espectrógrafo; y con él consiguió Young, en 1874, la primera fotografía de las protuberancias situadas en el borde del sol, siguiendo el método de la rendija abierta o de Huggins, y operando con la radiación violada G' del hidrógeno. Pero como él mismo dice, en su afamada obra «Le Soleil»: «la luz era débil, la imagen tan pequeña, la exposición tan larga, y tan difícil de conseguir la exactitud necesaria en el aparato de relojería que mueve el anteojo, que fueron de escaso valor real las imágenes obtenidas entonces por este procedimiento».

Ese ensayo, las magníficas fotografías fotosféricas hechas por Janssen, los estudios y tentativas de éste y de otros astrónomos para alcanzar imágenes visuales monocromáticas totales de las protuberancias del borde, empleando la rendija estrecha y moviendo el espectroscopio, y la disposición especial ya propuesta en 1872, para fotografiarlas, fueron otros tantos motivos para que físicos, artífices, mecánicos y astrónomos se empeñaran más y más en allanar los múltiples obstáculos que ofrecía el problema de fotografiar, además de las protuberancias que se presentan al rededor del disco del sol, las que seguramente existen sobre el hemisferio solar visible para el observador terrestre.

Fruto de tantos trabajos es el espectroheliógrafo de Hale, Desslandres y Evershed, los astrónomos que mayores impulsos han dado, 60 la práctica' a esta novísima rama de la física solar.

Hé aquí, en pocas palabras, la teoría de este instrumento, apongamos que sobre la rendija ventanilla de un espectroscopio de visión directa, se forma una imagen fija del sol, dada por un potente objetivo convenientemente instalado. Sustitúyase el ocular del espectroscopio una segunda rendija móvil que sirva para aislar determinada región espectral, comprendida entre los límites extremos que puede abarcar esa rendija móvil. Si la radiación aislada del es de gran poder actínico, por ejemplo, la referente a las rayas K o H de calcio, e impresiona una placa fotográfica colocada detrás y junto a la segunda rendija, obtendremos la región del sol limitada por la a rendija, descompuesta su luz por el llamado prisma compuesto, y seleccionada o aislada la radiación monocromática K o H por la segunda rendija. Si,

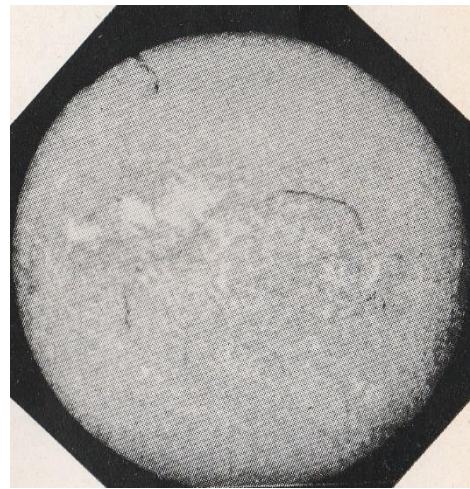
permaneciendo fijas la placa y la primera imagen del sol producida por el objetivo, diéramos a todo el espectroscopio un movimiento de traslación perpendicular a su eje óptico, la placa iría impresionándose sucesivamente y nos daría las imágenes de las distintas cuerdas solares, o zonas limitadas por la primera rendija: conseguiríamos, pues, la imagen fotográfica del hemisferio solar provisto de la radiación H o K.



Protuberancia en movimiento rápido. Del 10 de octubre de 1910
fotografía del Observatorio de Yerkes.



Fotografía espectro heliografía del sol. Del 20 de noviembre de 1908.
Capa Superior K^2 del calcio. Del Observatorio de Meudon.



Fotografía espectro heliografía del sol
Del 20 de noviembre de 1908. Capa media K^2 del calcio. Del Observatorio de Meudon

Reflexionando sobre esa elemental y breve descripción del espectroheliógrafo, aparecen las dificultades que ha habido que vencer en su construcción. Desde luego saltan a la vista las siguientes:

«Primera. Producir una primera imagen del sol de algunos centímetros de diámetro, imagen fija con respecto a la placa sensible.

»Este inconveniente queda salvado empleando el ecuatorial fotográfico: interponiendo el espectroscopio de visión directa (con segunda rendija aisladora) entre la placa y la primera imagen del sol, y dando al espectroscopio un movimiento adecuado, independiente del del ecuatorial. Prefiérase, sin embargo, dar gran estabilidad al objetivo productor de la imagen solar fija y al bastidor de la placa; y en tal caso, para conseguir el objeto del ecuatorial y obtener aquella primera imagen, se recurre de ordinario a un celeóstato que refleja siempre los rayos solares sobre el objetivo y en la dirección del eje principal de éste.

«Segunda. Conseguir una fotografía o espectroheliograma circular (de todo el disco del sol).

«Ciñámonos al instrumento que nos ha servido de modelo para presentar la teoría del espectroheliógrafo: primera imagen solar y placa fijas; entre ambas, un espectroscopio de visión directa, en los focos de cuyas lentes, la colimadora y la del anteojo analizador, están la primera y segunda rendijas o ventanillas; y un movimiento rectilíneo y uniforme dado al espectroscopio, normalmente a su eje óptico.

«Si las distancias focales de las dos nombradas lentes fueran distintas, el espectroheliograma resultaría elíptico: ya que, como lo requieren las leyes de la Dióptrica, cualquiera cuerda de la imagen solar definida por la primera rendija, no se reproduciría con idéntica longitud en la imagen fotográfica final. Vemos, pues, que en este caso la solución es sencilla, pero costosa: ante todo un objetivo de bastante diámetro, capaz de producir una primera imagen de relativa magnitud, y además dos lentes de la misma distancia focal para el espectroscopio.

«También se obtienen espectro-heliogramas circulares, empleando el espectroscopio de visión directa con lentes, colimadora y del anteojo analizador, de distancias focales distintas. El movimiento uniforme que en este caso ha de darse al espectroscopio, ha de ser de tal índole que las trayectorias descritas por las rendijas guardan proporción con las respectivas distancias focales de las lentes. Consíguele éste, agrandándose, al mismo tiempo, la imagen fotográfica solar, de este modo: se coloca el espectroscopio formando cuerpo con una plataforma giratoria alrededor de un eje, haciendo que éste caiga sobre el eje principal del objetivo; se ajustan las distancias del eje de giro a cada una de las rendijas de modo que sean proporcionales a las distancias focales de dichas lentes, y se imprime a la plataforma móvil un movimiento de rotación uniforme, de manera que la primera rendija vaya barriendo la primera imagen solar. Así, sobre la placa sensible, inmediata a la segunda rendija y aislada de la plataforma móvil, se formará la fotografía monocromática ampliada de la primera imagen del sol.

Tercera. Aislar una radiación determinada.

Las piezas que forman la primera y segunda rendijas reúnen los detalles necesarios para

conseguir: primero el perfecto paralelismo de sus bordes, y, además, el de éstos con las aristas del prisma compuesto.

Para aproximar más o menos los bordes de las rendijas, empléense en ambos tornillos micrométricos, sobre cuyas cabezas o tambores se lee la amplitud de la ranura, dada en centésimas de milímetro, o sea el doble micrón. Además, el bastidor de la segunda rendija lleva otro tornillo micrométrico que sirve para arrastrarlo en el sentido de la longitud de la banda espectral; consiguiendo así aislar una radiación determinada entre ciertos límites de longitud de onda».

Con la breve exposición que antecede creo que no sólo el origen sino el aspecto físico químico de las protuberancias quedan bien estudiados dentro de los límites, necesariamente muy estrechos, que se imponen para esta conferencia; además, pienso que ella habrá de facilitarnos la comprensión de lo que es una mancha solar, fenómeno impropriamente llamado así, por cuanto, como se dijo, la mancha es una verdadera cavidad sobre la superficie del sol, que al ser examinada con un antejo de mediano poder se nos revela como un remolino o vórtice, según lo describió admirablemente Langley en un dibujo clásico, reproducido en la siguiente página.

Este vórtice o remolino de dimensiones colosales, nace del fondo de la fotosfera, atraviesa el estrato o capa llamada de inversión, por razones espectroscópicas, que ya vimos, y sale al espacio exterior ampliando su radio considerablemente después de pasar la cromósfera.

Así algunos creen que la parte relativamente negra de la mancha, que se nos aparece negra en comparación con la luz vivísima de la fotosfera - pertenece propiamente al núcleo gaseoso – pastoso o semifluido que se encuentra a altísima temperatura, y en cuyo seno se sumergen masas descendentes enormes de materia con violencia inaudita, y proyectadas del exterior, según trayectorias semejantes, hasta cierto punto, a las que siguen las masas de aire en los movimientos ciclónicos de la atmósfera terrestre.

Naturalmente, y como ya expuse atrás, los fenómenos de condensación que entonces se operan, son causa de diferencias de potencial eléctrico de tal magnitud que se escapan a todo cálculo basado en experiencias terrestres, y así esos vórtices o torbellinos, de la llamada atmósfera solar, tienen que ser centro de campos eléctricos y magnéticos de una intensidad realmente fantástica.

Según se muestra por las fotografías de vértices conspicuos, existe un verdadero alineamiento, más o menos visible y por decirlo así, de materiales alrededor de la sombra o núcleo (umbral) y se presenta una fuerte succión indicada por el movimiento de los flocúli de hidrógeno. Además, según acabo de indicar, una mancha presenta siempre las propiedades magnéticas de un campo de fuerza magnética poderoso que afecta las líneas del espectro de ella, como lo demostró Hale. Por el mismo espectrógrafo se demuestra también que los materiales de que se compone la atmósfera solar a alturas considerables se dirigen hacia el centro de la mancha, en tanto que los gases a niveles más bajos, se mueven hacia su periferia.



Dibujo de una mancha solar por S.P. Langley, exsecretario del Instituto Smithsonian.

Todas estas varias relaciones se demuestran esquemáticamente en la figura dibujada por St. John, (pag. 130). Las flechas trazadas en ella indican las direcciones según las cuales se mueven los varios materiales, y las velocidades con que lo hacen. En las porciones superiores el movimiento es hacia adentro y hacia abajo, en tanto que en las regiones más bajas el movimiento predominante es hacia la periferia. Las líneas en espiral de la figura indican que el movimiento de descenso se efectúa en forma de torbellino y no directamente. Agregándose a esto que correlativamente al torbellino o vórtice superior, se presenta otro

o manchas aisladas unipolares, son aquellas que demuestran una sola polaridad magnética, en tanto que en los grupos bipolares, en su concepción más simple de un par de manchas muy próximas, éstas manifiestan polaridades de nombre contrario.

Las medidas cuidadosísimas que han permitido esta clasificación se han hecho en el Observatorio del Monte Wilson, en donde Hale y Nicholson, en 1925, expusieron su ley de polaridades reversas durante los ciclos undecenales, ley demasiado compleja para ser explicada en tan corto tiempo como el de que dispongo.

Pero eso no importa, porque lo que necesitamos ahora es solamente comprender por qué las tempestades magnéticas terrestres y las auroras boreales tienen que ver con las manchas del sol.

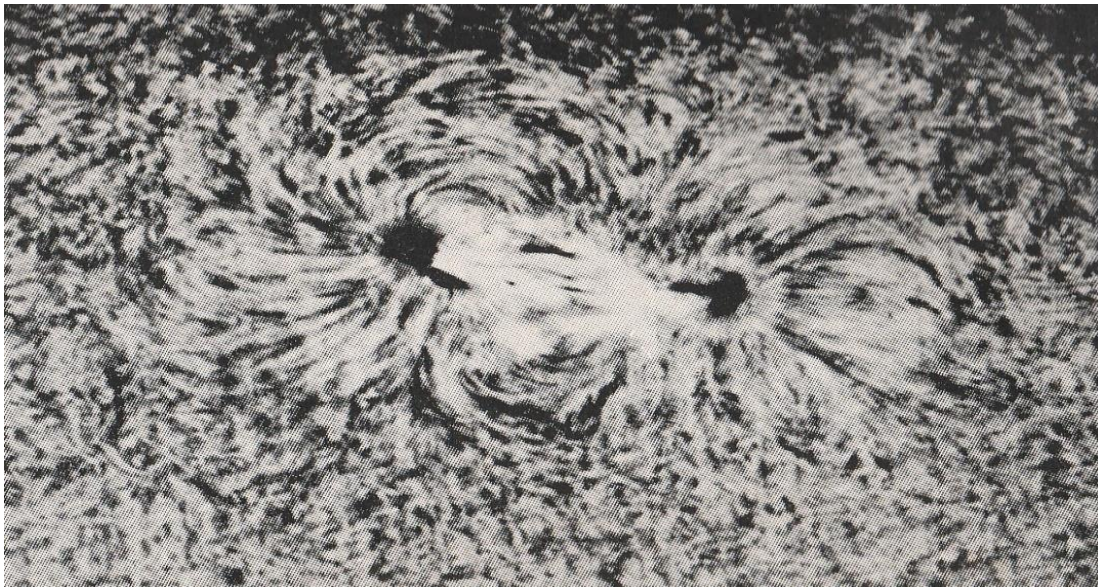
Como todos sabemos, ocasionalmente ocurre que en la tierra se experimentan hondas perturbaciones magnéticas y eléctricas, es decir, que la aguja magnética o brújula, entonces sufre variaciones bruscas en su dirección de norte a sur, y que las corrientes eléctricas, llamadas telúricas, son tan intensas e inducen corrientes fluctuantes de tal intensidad en las líneas telegráficas y telefónicas, que llegan éstas a interrumpir la comunicación por ellas. Ahora bien, cuando tal sucede sobre extensiones muy grandes de la superficie terrestre, las auroras boreales, bellísimos meteoros característicos de las regiones polares y de que todos tenemos noticia, se suceden con extraordinaria intensidad, siendo notable la coincidencia de estos fenómenos eléctricos y magnéticos en la tierra, con la aparición de grandes manchas o grupos de manchas considerables sobre la superficie del sol.

La explicación que Edward Arthur Fath da de esto en su libro de Astronomía publicado en 1934, es la siguiente: «En la atmósfera solar hay enorme cantidad de electrones libres. En donde quiera que ocurre una perturbación considerable de la superficie del sol se produce una fuerte corriente de estos electrones, algo así como un rayo o un haz de rayos de ellos que procediera de un lugar de la perturbación. Si este haz o rayo llega a golpear la atmósfera de la tierra, los gases que la forman, a una altura considerable, se ionizan, y, por consiguiente, se vuelven luminosos. Este haz de rayos, semejantes a los rayos catódicos, se maneja como una corriente eléctrica que engendra campos magnéticos con ella concadenados. El resultado natural de esto son las perturbaciones del campo magnético terrestre, que se ponen de manifiesto por los cambios bruscos de dirección de la brújula, que entonces se registran, y por las fuertes corrientes eléctricas que se inducen en las líneas telegráficas y telefónicas».

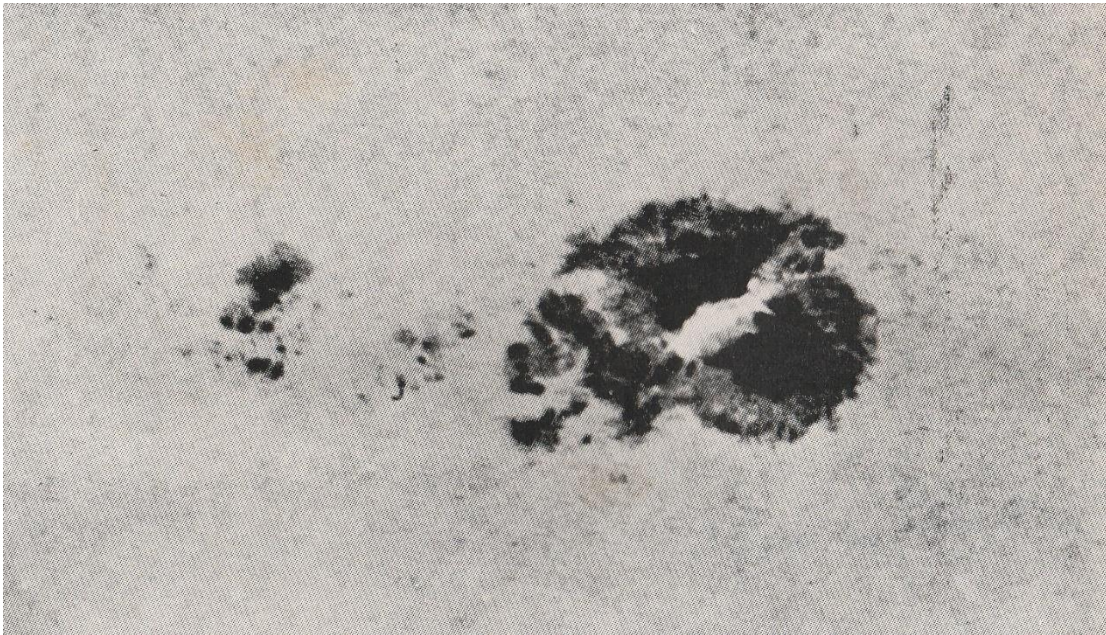
Resumiendo, brevemente lo que hasta aquí he dicho, se puede deducir:

- 1º) Que, por medio del concurso admirable de la astrofotografía, del espectroscopio y de la fotografía espectroscópica, se ha podido estudiar íntimamente la superficie del sol, intensamente agitada por corrientes descendentes en forma espiral, y con proyección de gases o vapores metálicos, cuyos cambios de presión hacen que ora emitan espectros continuos, ora espectros oscuros caracterizados por rayas brillantes.
- 2º) Que la atmósfera solar, impropriamente llamada así, se puede dividir en tres capas o estratos: a) la fotosfera, que es la estrictamente luminosa, compuesta por gránulos,

- fáculas y demás porciones más brillantes de la superficie visible; b) la cromósfera, región en donde flotan las protuberancias quiescentes o hidrogenadas, como nubes relativamente tranquilas, y donde aparecen las protuberancias eruptivas o metálicas en forma de eyecciones violentas de la región más baja y c) la corona, porción extensa de la atmósfera solar, que sólo es visible durante los eclipses de sol. Entre la fotosfera y la cromósfera existe una superficie o estrato de inversión que da lugar al espectro llamado «relámpago» por su corta duración, durante los eclipses de sol.
- 3º) Que los movimientos ciclónicos o en forma de torbellino de la atmósfera solar en sus dos capas inferiores, dan lugar a lo que se llama «manchas» y que no son sino vórtices profundos, donde se producen fenómenos eléctricos y magnéticos de singular intensidad.
- 4º) Que las manchas nunca aparecen hacia las regiones polares del sol, y son muy raras en el ecuador; siendo especialmente frecuentes en dos zonas llamadas «regias» a uno y otro lado del ecuador; en tanto que las protuberancias aparecen indistintamente sobre todos los puntos de los bordes del disco solar.
- 5º) Que tanto las manchas como las protuberancias se hacen más numerosas durante ciertas épocas, para disminuir mucho en otras determinándose así épocas de máximos y mínimos que corresponden al periodo undecenal de once años y medio, aproximadamente; y
- 6º) Que los fenómenos eléctricos y magnéticos de las manchas tienen correlación estrecha con las perturbaciones del campo magnético terrestre, las corrientes telúricas y las auroras boreales.



Grupo de dos manchas con luz H2. Del 30 de agosto de 1924. Fotografía del Observatorio del Monte Wilson.



Mancha solar con puente luminoso – (De julio de 1907). Fotografía del Observatorio de Yerkes.

Resumiendo lo visto hasta aquí, en esa forma, agregaremos que la velocidad de rotación del sol (veinticinco a veintiocho días aproximadamente), determinada por la observación de las manchas durante muchos años, no es la misma para todos los puntos de su superficie, siendo de notar que tal velocidad decrece con la latitud. Según las últimas observaciones de Plaskett y De Lury, fundándose en el principio de Doppler, el período de rotación del sol es de 25 días 3 en el ecuador; 25 días a los 35° de latitud y 35 días 4 en los polos. Naturalmente hay que distinguir entre el período sinódico de rotación y el período sideral; siendo el primero el que nos interesa para efecto de las manchas que desaparecen después de cruzar el meridiano central del sol, por un borde, vuelven a aparecer por el borde opuesto, y cruzan este mismo meridiano, después de 26 días 8 aproximadamente, como promedio.

Entremos ahora a estudiar brevemente lo que se llama radiación solar y que nos llega directamente en forma de calor. Por lo pronto observemos que no todos los puntos de la superficie del sol tienen la misma temperatura; siendo de notar que, en las manchas, la parte oscura (umbra) es considerablemente más fría que la superficie brillante que la rodea. Nicholson y Richardson del Observatorio del Monte Wilson, han encontrado en las grandes manchas temperaturas hasta de 3.800° centígrados, cuando la temperatura media de la fotosfera es de cerca de 6.000°. Desde luego así se explica la relativa oscuridad del núcleo de la mancha (umbra)..

Si esto fuere así, naturalmente, la cantidad de calor que el sol irradia en el espacio no es constante, sino que depende, hasta cierto punto, del número de manchas que a cada momento se hacen presentes sobre su superficie. Por consiguiente, lo que se había venido llamando constante solar, no merece, en propiedad, tal designación.

De tiempo atrás se ha venido trabajando en la determinación de la cantidad de energía, bajo forma de calor, que el sol envía a la tierra, empleando para ello pireheliómetros, más o menos perfeccionados, desde el primitivo tipo de Pouillet hasta la forma casi perfecta ideada por Langley y perfeccionada por Angstrong y otros en los últimos años. Esta cantidad, expresada en calorías por centímetro cuadrado y por minuto, se llamó al principio constante solar, por creerse que las variaciones notadas provenían de la absorción de la atmósfera terrestre, de acción muy variable y difícil de determinar, y porque no había razón alguna de orden físico para pensar que esa radiación no fuera rigurosamente permanente.

Por lo que toca a este Observatorio es preciso indicar que desde hace más de tres años vengo insistiendo ante el Gobierno para conseguir que se le dote de un pireheliómetro Angstrong universal para los tres servicios que, generalmente, se prestan en los observatorios con tres clases de instrumentos distintos, a saber:

- 1º) Pireheliómetros de lectura directa, o registradores, para la medida de la intensidad normal de la radiación solar;
- 2º) Solarímetros de lectura directa, o registradores, para la medida de la intensidad global de la radiación difusa del sol y del cielo, conjuntamente, y
- 3º) Espectroheliógrafos para el estudio de la repartición de la energía solar en las diferentes partes del espectro (infrarrojo, espectro visible y ultravioleta).

Actualmente las observaciones actinométricas se practican aquí con un actinógrafo sistema Fuess, controlado por dos termómetros conjugados, obteniéndose así, de manera directa, aunque no con mucha precisión, la radiación global del cielo y del sol (radiación difusa) en gráficos que dan a cada instante la cantidad de calor recibida por el suelo, por centímetro cuadrado y por minuto de exposición, expresada esta cantidad en pequeñas calorías.

Naturalmente, con esto sólo se persigue obtener la radiación media sobre el suelo para conocimiento del clima, lo mismo que el dato aproximado referente a la proporción del vapor de agua en la atmósfera terrestre, mediante el cálculo de la absorción, según las fórmulas conocidas de Angot.

Pero en el punto importante de una contribución eficaz de este Observatorio para la precisa medida de la constante solar y la discusión de sus pequeñas variaciones, tal como se practica en otros lugares de América del Sur, hay que confesar que ello es imposible por causa del material relativamente deficiente y primitivo que poseemos.

Este material debiera consistir en un pireheliómetro integrado por un elemento de pila termó-eléctrico de exquisita sensibilidad, generalmente compuesto por laminillas de manganina y de constantan soldadas a soportes macizos de cobre, o por dos placas de platino muy delgadas (una negra y otra blanca) que formaran dos de los brazos de un puente de Wheastone (según el sistema del bolómetro de Langley) y por un conjunto de conductores y galvanómetros sensibilísimos patronados previamente.

Tanto con los aparatos de pila termoeléctrica, como con los que se fundan en las variaciones de resistencia de un conductor por causa de variaciones de la temperatura, se pueden obtener medidas tan precisas que con ellas se determinan diferencias hasta de millonésimas de grado. Así ha sido posible, como lo dije antes, encontrar la diferencia de temperatura

que existe entre el núcleo de las manchas y la fotosfera, precisar las diferentes cantidades de calor que el sol envía directamente a la tierra, determinando el poder absorbente de la atmósfera terrestre, y medir cuidadosamente las variaciones de la constante solar, previas las numerosas correcciones del caso y que se han tenido en cuenta por las estaciones meteorológicas encargadas exclusivamente de estas delicadísimas medidas.

A este propósito me permití decir en un reportaje que me hizo *El Tiempo* de esta ciudad, no ha mucho:

«Esta radiación no es constante y sus modificaciones permanentes, aunque muy leves, se han podido verificar por los observatorios. Últimamente, desde hace ya 16 años, el Instituto Smithsonian de Washington mantiene varias estaciones encargadas solamente de medir la radiación solar. Entre estas hay dos notables: una en el monte Montezuma en Chile, a 3.000 metros de altura, en un desierto en donde llueve muy poco y no hay vegetación, y la otra en Table Mountain, en California.

Desde 1918 se practican en estas estaciones observaciones diarias cuidadosísimas del sol con pireheliómetros finísimos capaces de acusar variaciones térmicas de millonésimas de grado. Estas observaciones actinométricas, aconsejadas por Langley en 1884, han dado últimamente resultados maravillosos, pues han demostrado la existencia bien marcada de períodos de 68, 45, 25 y 8 meses en la intensidad de la radiación solar, siendo el primero, y el más importante, concordante con el período undecenal de las manchas del sol.

Este período es de 11 años y un cuarto, poco más o menos, y se extendió desde 1883, así: mínimum de las manchas: 1889 1901, 1913 y 1923; máximium de las manchas: 1893, 1907, 1917 y 1928; coincidiendo perfectamente en los gráficos del Instituto Smithsonian, los años de máxima radiación solar con los de mayor cantidad de manchas sobre la superficie del sol.

Lo importante de estos estudios se deduce de las siguientes afirmaciones de C. G. Abbot, distinguidísimo sabio americano, Secretario del Instituto Smithsonian, quien en un estudio publicano en 1931 (*The Ohio State University Bulletin*, vol. 36, número 3) dijo: "He comparado con estos datos el estado del tiempo en Washington, Williston y Yuma, con el interesante resultado de que tanto las variables de la temperatura como las de la presión barométrica, siguen muy de cerca el aumento o la disminución de la radiación solar".

"Si esto es así, debemos esperar que periodicidades regulares que comprenden los principales cambios solares ocurridos desde 1918 se reflejen en el estado del tiempo. De los gráficos respectivos de la temperatura ambiente en Washington, se saca que éstos se representan por la suma de seis periodicidades regulares, de las cuales cinco se encuentran en la radiación solar. Esto me da fundadas esperanzas de que con el tiempo se pueda conocer, aproximadamente, las características de las estaciones en los años venideros, si con estudio conveniente se prueban experimentalmente las deducciones que se hacen ahora".

Desde luego se ve que las predicciones de Abbot respecto de la actividad solar para el año próximo han tenido su completo desarrollo en cuanto a las manchas del sol se refiere. Así

es de creerse que dicha actividad, que como radiación fue máxima en 1920, 1925, 1930 y 1931, también lo sea en 1936.

Así tenemos como probable, para el año que viene, un máximo de la radiación solar que coincide de modo notable con el periodo meteorológico de Bruckner, si contamos este periodo que es de 34 a 35 años, a partir de 1902, cuando se presentó para el país un mínimo de lluvias. Este año llovió en Bogotá la cantidad total de 774 mm, cuando el año normal es de un metro. Y es notable también la coincidencia del mismo periodo para 1866, época en la cual se presentó, igualmente, mínimo de lluvia caída de: 0m,889.

Con la transcripción anterior volvemos a lo que copie de Garavito al principio de esta conferencia, cuando transcribí la afirmación de este ilustre sabio Colombiano: el sol es la única causa conocida de todos los fenómenos meteorológicos. Siendo de notar, desde luego, que cuando Garavito habló así, en el mundo científico pocos sabios, entre ellos Langley, fundaban esperanzas en los estudios actinométricos para efectos de la Meteorología. Naturalmente hoy no hay mérito alguno en reconocer, después de los trabajos minuciosos y constantes del Instituto Smithsonian y de varios observatorios y estaciones meteorológicas, que las pequeñas variaciones periódicas de la constante solar afectan la marcha regular de las condiciones climáticas en todo el globo y que es el sol la causa única de las perturbaciones que tan grandemente afectan nuestra vida económica y social.

A priori, hubiéramos podido afirmar esto considerando solamente que gracias al calor solar se evaporan las aguas de los mares, se dilatan considerables masas de aire para dar lugar a los vientos que las llevan sobre los continentes, en donde caen en forma de lluvia bienhechora o se condensan en nieve y hielo, de acuerdo con la distribución de ese calor sobre la superficie del globo. Cayendo la lluvia, corren los ríos al mar, produciéndose los fenómenos de orden geológico conocidos de erosión, transporte y sedimentación, y por su causa viven los vegetales, que directamente también necesitan de la luz y del calor del sol para su desarrollo. Los demás seres vivos también deben su existencia a la acción benéfica y vivificante de los rayos del astro del día, pudiéndose decir que si, por cualquier causa, la tierra se viera desprovista de ellos por solo dos meses, todo vestigio de vida desaparecería de su superficie para convertirse en un astro muerto.

Así, de la enorme suma de calor que el sol irradia en el espacio, y que se calcula fácilmente suponiendo una constante solar de 1.54 calorías pequeñas por centímetro y por minuto, sobre una esfera de 150.000.000 de kilómetros de radio, la tierra solo recibe una porción pequeñísima, pero que es lo suficiente para causar casi todos los fenómenos de fuerza, vida y movimiento que en ella observamos actualmente, y los que se sucedieron en las épocas geológicas. Siendo de notar que aún utilizamos, bajo forma de combustibles fósiles, el calor del sol de otras edades que se acumuló en forma de carbón, petróleo, etc.

Esta consideración nos lleva a esta otra: si se reconoce que el centro de nuestro sistema planetario es, por su luz y su calor, la causa de casi la totalidad de los fenómenos físicos y químicos que nos afectan, ¿por qué se habrá de encontrar resistencia en creer que el saldo de la energía total del sol, que nos llega bajo otras formas, también ha de afectarnos de modo sustancial?

Porque la energía que el sol irradia en el espacio es no sólo luz y calor, dentro de los espectros visible y térmico que, como dijimos, se extienden desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, sino que una porción de ella, aunque sea pequeña, debe corresponder a los rayos ultravioletas, a las corrientes de electrones, de que ya hablamos, a los rayos cósmicos y, tal vez, a otras misteriosas formas de energía que aún no ha precisado la Física.

Con lo que acabo de insinuar entro al punto capital de esta conferencia con el justo temor de que las gentes puedan tacharme de charlatán, aun respaldándome en la altísima autoridad del "Instituto Internacional de estudios de las radiaciones solares, terrestres y cósmicas" fundado en Hyres, cerca de Niza, por el Dr. Emile Vidal, en 1933.

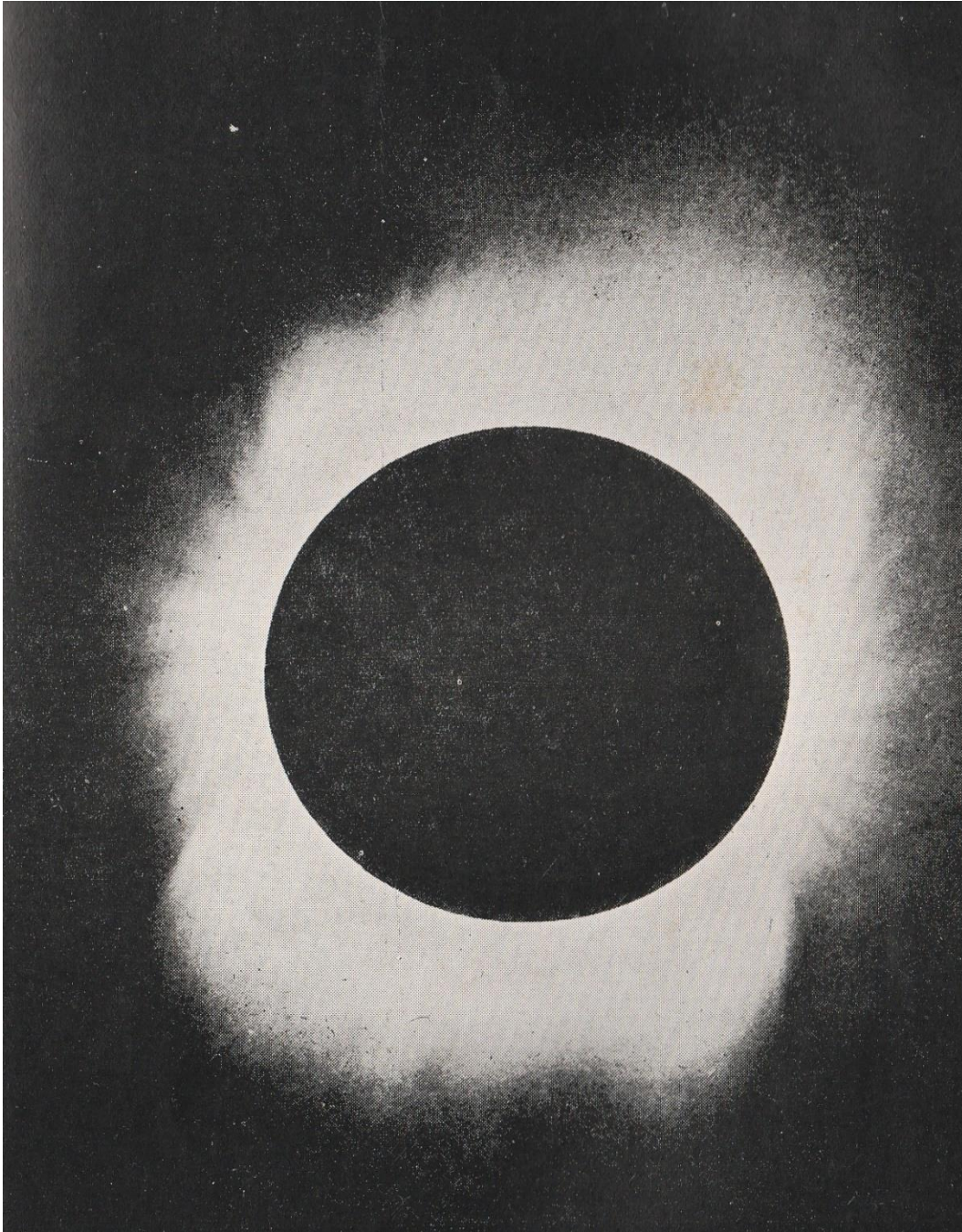
Este Instituto que se debe al patronato directo de la Universidad de París, depende directamente del Observatorio Meteorológico de Niza, y cuenta entre sus miembros a muchas y distinguidas personalidades científicas de Francia y de otros países de Europa. De un interesante trabajo publicado por el Dr. Maurice Faure en los Anales de la Oficina Meteorológica de Niza (Annales de l'Office Météorologique de la Ville de Nice —Tomo II-1933), me permito tomar algunos apartes, como los siguientes:

«Las perturbaciones que se llaman «tempestades solares» se hacen visibles para nosotros por los elementos enumerados a continuación: 1° Las manchas que son huecos en la fotosfera y cuyo fondo está constituido por la masa fluida del globo solar, con un brillo muy inferior al de la fotosfera. El embudo así formado (por un torbellino o ciclón análogo a los de nuestra atmósfera terrestre) tiene paredes de coloración sombría intermedia entre el brillo de la fotosfera y el aspecto negruzco de la masa solar. Se puede, sin embargo, admitir, que, a pesar de esta coloración negruzca, la luminosidad de la mancha, sino estuviera rodeada por la fotosfera deslumbrante, sería superior a todas las fuentes luminosas que conocemos. 2° — Las fáculas, placas y gránulos brillantes, que parecen ser focos más ardientes, y se presentan bajo la forma de «sopladuras» o erupciones de la fotosfera. 3° — Las protuberancias, que son llamas vistas de perfil, y filamentos, que son llamas vistas de frente o poco menos.

«Entre estos diversos elementos, las manchas son las más visibles, por razón de su coloración oscura sobre un fondo claro, y por eso durante largo tiempo fueron el sólo síntoma conocido de las modificaciones de la superficie solar. Son estas manchas las que por su desalojamiento diario han puesto en evidencia la rotación del sol sobre sí mismo en 27 días $\frac{1}{4}$ (con relación a la tierra). Las manchas son, pues, visibles, poco más o menos, durante 13 días y medio, sobre el hemisferio solar que nos domina; pero esta cifra no es perfectamente exacta, porque el ciclón que forma la mancha se desaloja sobre la superficie del sol, sea en el sentido de la rotación de este astro, sea en sentido contrario.

» La forma de embudo de la mancha hace que ella sea tanto más visible cuanto se aproxima más al centro del sol. Al contrario, cuando la mancha aparece sobre el borde oriental del sol, o cuando está próxima a desaparecer sobre el borde occidental, se presenta bajo la forma de una rendija más o menos ancha correspondiente a la abertura mayor del embudo visto de perfil. Las fáculas y las protuberancias, que en lugar de estar incrustadas en la fotosfera se elevan por encima de ella, son, por el contrario, mucho más visibles cuando están sobre el borde oriental o el occidental, es decir, cuando se les ve de perfil.

Cuando están sobre la periferia misma del disco solar, se salen de su superficie y dan a su contorno un aspecto dentelado, particularmente visible durante un eclipse total. De manera completamente diferente, cuando estos elementos se aproximan al centro solar, no aparecen allí sino como puntos o filamentos más brillantes que la fotósfera situada a su rededor.



Eclipse total de sol del 28 de mayo de 1900. Fotografía de la corona con una cámara de 13 metros de distancia focal.

»Se puede admitir que este conjunto de síntomas visuales de la tempestad solar se acompaña con ciertas modificaciones de las radiaciones emitidas por este astro. Así, la multiplicidad de estas tempestades produce un aumento de la luz solar, particularmente visible cuando se observa su reflejo sobre el planeta Júpiter: en efecto, este planeta el más grande del sistema solar (1.295 veces el volumen de la tierra), emite una luz muy blanca durante los períodos de actividad solar, es decir, cuando el sol presenta un gran número de tempestades; por el contrario, la coloración de Júpiter se vuelve amarillosa durante los períodos de mínima actividad solar. Ciertas diferencias de calor también se perciben sobre Marte, pues M. Antonaldi ha notado en el Observatorio Flamarión de Juvisy, una correlación entre las dimensiones de las nieves polares de Marte y las variaciones de la actividad solar. Sobre la tierra no percibimos directamente diferencias sensibles de luz, pero si sentimos variaciones de calor que, según los notables trabajos del Abate Moreux y de M. Mémary, se traducen por variaciones de la temperatura atmosférica, de la humedad o de la sequedad de ella, de las lluvias, de las inundaciones, etc y, por consiguiente, de las cosechas.

» Actualmente no hay instrumentos que permitan discriminar de una manera cierta las variaciones de las otras radiaciones emitidas por el sol, es decir, de las radiaciones que no son luminosas ni caloríficas. Sin embargo, sabemos que durante los periodos en que se perciben manchas sobre el sol, hay en la tierra modificaciones en la orientación de la aguja imanada y en la electricidad atmosférica; se ve entonces aparecer auroras boreales, tempestades, ciclones, etc. etc. Se ha constatado también que los pasos de las manchas se acompañan por modificaciones de la corteza terrestre, como erupciones volcánicas, sismos, etc.

»Pero lo que para nosotros, seres humanos, tiene mayor interés y se presenta con caracteres más asombrosos, es lo que hemos podido demostrar por medio de las investigaciones comenzadas en 1921 con la colaboración de Gastón Sardou y Josep Vallot, y proseguidas después con la ayuda de los colaboradores que hemos citado en el tomo 1º de los «Annales de l'Office Météreologique de Nice», es a saber: que en el momento de esas tempestades solares el organismo sufre modificaciones físicas, nerviosas y mentales, que se traducen, de una manera muy notoria por toda clase de accidentes, entre los cuales se pueden poner, en primer lugar, las crisis agudas de las enfermedades crónicas. No es, en efecto, a una casualidad que se deban los sufrimientos que mortifican, al mismo tiempo, a los gotosos, a los reumáticos, a los neurálgicos, a los cardíacos, a los hepáticos, a los nefríticos, etc., etc.; y no es sin motivo que los accesos de angina de pecho y muertes repentinas tienen lugar al mismo tiempo, en sitios muy diferentes y distantes. Tales son los primeros efectos que hemos constatado y publicado».

Acabo de decir que al incluir estas opiniones en la presente conferencia, abráseme de tachar de charlatanismo, porque de tiempo atrás se ha venido considerando por el mundo científico como excesivamente confiadas las esperanzas de quienes creyeron encontrar anteriormente relaciones estrechas entre las manifestaciones de la actividad solar y la Meteorología del globo terrestre, y porque aún más desconfianza debe existir ahora respecto de estas afirmaciones, que para los escépticos habrán de parecer exóticas y carentes de fundamento científico, como si se tratara de la creencia popular en la influencia de la luna sobre los locos, a quienes se ha llamado lunáticos, o de la intervención de los planetas y de los signos

del zodíaco en los destinos humanos, según concepto medioeval de los astrólogos. Y eso ha sucedido porque las estadísticas que se han llevado, de tiempo atrás, referentes a la actividad solar, se han basado en la proporción entre la superficie del disco del sol cubierto por las manchas y la parte limpia de la fotosfera, proporción que se expresa en millonésimas de la superficie total del disco. Así no se ha tenido en cuenta, sino hasta hace relativamente poco, las fáculas, los filamentos, las protuberancias y demás manifestaciones que acompañan, o no, a las manchas, y son prueba de lo que últimamente se ha llamado «tempestades solares».

Además, para llevar las estadísticas correlativas entre los fenómenos de la atmósfera solar y los fenómenos terrestres, que se han anotado atrás, anteriormente no se tenía en cuenta la posición de las manchas con relación a la tierra, cosa importantísima, como se verá en seguida.

Actualmente los observatorios especializados en el estudio del sol hacen conocer, de una manera clara y explícita, la presencia de las manchas sobre la superficie solar, suministrando, al propio tiempo, las indicaciones siguientes: número de días de observación sin manchas, número de días de observación con manchas, número de manchas o de grupos de manchas, superficie total de las manchas observadas, expresadas en millonésimas de la superficie solar, superficie diaria de las manchas, latitud media (norte o sur) de las posiciones de las manchas observadas, los mismos datos para las fáculas, horas del paso de las manchas por el meridiano central, duración del paso de éstas por ese meridiano y latitudes más precisas de las manchas individuales, juntamente con indicaciones más generales referentes a las protuberancias y los filamentos.

En esta forma se han hecho cuadros que dan datos como los siguientes: «Año de 1933 — octubre 28. Latitud de una mancha: igual a $+ 10^{\circ}$ (boreal). Superficie de esa mancha: igual a 150 millonésimas. Duración del paso por el meridiano central: del 26 de octubre a las 15 horas hasta el 27 a las 2 horas. Otro ejemplo: noviembre 2 de 1933. Latitud de otra mancha más pequeña: igual a $- 3^{\circ}$ (austral). Superficie de ella de 4 millonésimas de la superficie total del disco. No se observó la duración del paso por el meridiano central porque se formó después del paso».

Con estos ejemplos y la observación general de que si el disco de la tierra se proyectara sobre el disco solar sólo ocuparía 84 millonésimas de éste, es fácil comprender que una estadística así llevada, a pesar de la dificultad de la medida, permite, a cada instante, formar idea precisa de las correlaciones que se han creído encontrar entre las manchas y los demás fenómenos solares, y ciertos fenómenos terrestres, cuyas estadísticas se perfeccionan a medida que se extienden a mayor número de países.

Como resultado de tales estadísticas se ha deducido el período undecenal, tantas veces nombrado en esta conferencia, de máxima y de mínima actividad solar.

Pero es claro que para los efectos de que tratamos aquí, desde el punto de vista que nos interesa, es decir, para el estudio de los efectos terrestres de las tempestades magnéticas solares, estos términos de máxima y de mínima dan una idea exacta de los fenómenos. Porque es preciso saber que el paso de las tempestades solares por el meridiano central

tiene, desde este mismo punto de vista, una importancia capital, y porque su distancia del ecuador del sol, es decir su latitud, influye de modo decisivo en tales efectos. Así las manchas, en su paso por el meridiano central, son mucho más nocivas cuando están más cerca del ecuador, que cuando aparecen más excéntricas, aunque sean mucho mayores. Así, una pequeña mancha de 20 millonésimas, a 1° de latitud, es mucho más peligrosa, para nosotros, que otra de 800 millonésimas, por ejemplo, situada a 35° de latitud.

V esto porque las manchas y demás accidentes solares no se presentan sobre un disco plano, cuyas radiaciones, normales a su superficie, constituyeran un haz de rayos paralelos, sino que están dispuestos (estos accidentes) sobre la superficie convexa del globo del sol, de manera que las radiaciones que salen de los distintos puntos de esta superficie son rayos divergentes.

Si recordamos en qué forma expuse la explicación esquemática de una mancha, se ve claramente que el eje del vértice que la constituye debe ser próximo a la normal a la superficie media de nivel considerada, de modo que la corriente de electrones que sale de esta mancha, o haz de rayos catódicos producidos por ella, no debe apartarse mucho de dicha normal a la superficie solar en ese punto.

Así se ve que cuando una mancha (o la tempestad solar que la rodea) está cerca del ecuador y del meridiano central del sol, envía un haz de radiaciones que pasan, en parte, por el plano de la órbita terrestre, y encuentran la tierra en el plano de ese meridiano, envolviéndola completamente. Así la tierra se encuentra entonces, durante algunas horas, bañada, por decirlo así, dentro de un haz de radiaciones, cuyo origen íntimo nos es desconocido, pero que, en todo caso, crean una situación electro-magnética en nuestro globo enteramente anormal.

Doy esta explicación sin compromisos y sólo con mira de realizar una labor completa de vulgarización científica, basándome en la autoridad del Observatorio Meteorológico de Niza, expuesta en forma clara y precisa por el doctor Maurice Faure, quien refiriéndose a estos puntos dice:

«Tales son las nociones sobre las cuales hemos llamado la atención, y que son capitales en estos estudios, pues permiten explicar por qué las manchas pequeñas están acompañadas por accidentes telúricos y humanos generalmente más importantes que las grandes, y por qué estos accidentes aparecen bruscamente poco tiempo antes de la llegada de la mancha al meridiano central, y desaparecen, poco más o menos lo mismo, después de su paso por ese meridiano». «Naturalmente es preciso advertir, dice Faure en otro lugar, que siendo la fotosfera de un espesor relativamente reducido, las manchas pequeñas que forman, por decirlo así, un cono de sección mínima, emiten rayos cuya divergencia es poco sensible. Por el contrario, las grandes manchas ofrecen una sección muy considerable en relación con su profundidad, de suerte que emiten un haz de radiaciones extenso y muy divergente. Así puede suceder que manchas grandes a latitudes altas (muy alejadas del ecuador solar) emitan radiaciones que puedan alcanzar, aunque oblicuamente, al globo terrestre. En este caso los rayos que llegan a la tierra son muy oblicuos y esta oblicuidad las hace sin duda, menos potentes, pues determinan accidentes terrestres más suaves que los debidos a las manchas pequeñas cercanas al ecuador».

Pudiera citar otros párrafos del mismo Faure, del profesor Krafft, de Zurich (Les phénomènes sociaux et les perturbations cosmiques), del profesor Jules Regnault (Les radiations telluriques et leur action sur les êtres vivants), del doctor Saidman, Director del Instituto de Actinología de París (Los rayos solares ultravioletas y sus efectos biológicos), del profesor Cabannes de la Facultad de Ciencias de Montpellier (Le bleu du ciel: les radiations solaires et leur difusión par l'atmosphère), etc., etc., para demostraros que el interés del mundo científico se ha despertado últimamente en grado máximo, desde 1933, alrededor de estos asuntos, cuyo estudio requiere el concurso de la física del sol en la forma que detalladamente expuse atrás, y el de estadísticas cuidadosas y de carácter internacional, que es preciso fomentar en todos los países del globo, para que la acumulación de datos permita deducir en un futuro, más o menos próximo, leyes dignas de más entero crédito..

Entre tanto, y como no se ha dicho la última palabra sobre estos asuntos, conviene aceptar con reservas las afirmaciones expuestas atrás y que han servido a algunos para pensar que el estudio cuidadoso de la absorción de los rayos ultravioletas de la luz solar por la pequeñísima proporción de ozono que se encuentra en las altas regiones de la atmósfera terrestre (la estratósfera), de los rayos cósmicos verificado en la estratósfera misma y en la superficie del suelo, de los rayos catódicos o corrientes de electrones que salen del sol, especialmente de los vórtices de las manchas, y de la radiación térmica de la luz solar en las diversas partes del espectro, conducirá, tarde o temprano, estudiando conjuntamente los fenómenos de la vida perturbados sobre la tierra por esas causas, a una nueva ciencia, que el Instituto de Niza se ha apresurado a llamar: «Cosmobiología».

Esta nueva ciencia, en mi pobre concepto, está aún en embrión; pero evidentemente, promete un amplio desarrollo con el concurso maravilloso de la Actinometría moderna. Por ella se sabrá algún día qué cosas son esos rayos cósmicos que Millikan ha estudiado con empeño, y que se ha hallado ser muchísimo más penetrantes que los mismos rayos X. Por ella se podrá averiguar a qué concurso de circunstancias fortuitas y felices se debe la existencia de la vida sobre la tierra, que, a no ser por esa pequeñísima proporción de ozono de la atmósfera que absorbe gran parte de los rayos ultravioletas, habría acabado por desaparecer. Por ella se sabrá qué influencia sobre los seres organizados ejercen los cambios eléctricos y magnéticos de origen telúrico, causados por la acción directa de los rayos catódicos que provienen especialmente de las manchas solares; en fin, por ella habremos de llegar al conocimiento de la influencia que los cambios anotados hasta ahora, de la constante solar, ejercen sin duda sobre la Meteorología del globo, y, por ende, y de modo indirecto, sobre las condiciones de su habitabilidad.

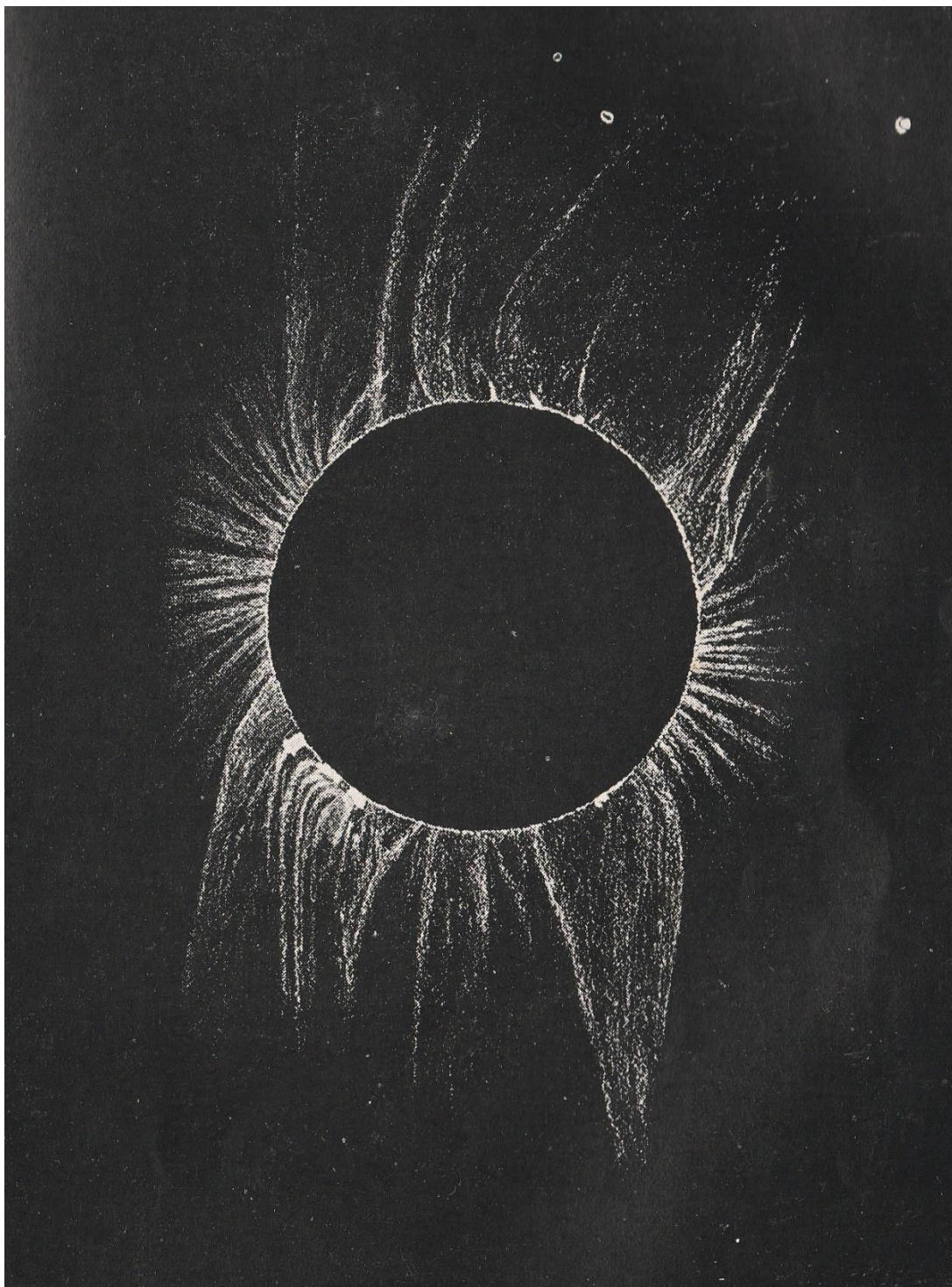
Esta nueva ciencia: la «Cosmobiología», o sea la ciencia de las relaciones que deben existir entre los fenómenos de la vida sobre la tierra y las influencias cósmicas, entre las cuales es, sin duda, predominante la del sol, habrá de efectuar con el tiempo una verdadera revolución en el orden de nuestros conocimientos, y, sobre todo en los planes que sigamos para adaptarnos a métodos y elementos de carácter técnico con los cuales podamos defender y mejorar nuestra existencia sobre la tierra.

Entre tanto procuremos limitarnos al campo más modesto y concreto de los fenómenos

meteorológicos en relación con la actividad solar, reproduciendo en seguida los conceptos de Faure al respecto cuando dice : «Las conclusiones precisas que hemos sacado de nuestros doce años de observaciones de la actividad del sol, no tienen risa interpretación sino para los accidentes de carácter biológico que respecta a las perturbaciones atmosféricas tan frecuentes numerosas en el momento de las tempestades electromagnéticas solares, hay que decir que ellas parecen obedecer a leyes diferentes. Ordinariamente no comienzan sino después del paso de las manchas por el meridiano central, pero se extienden por un tiempo más largo que los accidentes humanos. Hasta algunas veces persisten después de que la mancha ha desaparecido por el borde occidental del disco, lo que parece confirmar los puntos de vista de Albert Nodon, Presidente de la Sociedad Astronómica de Burdeos, quien piensa que las tempestades electromagnéticas solares tienen un campo de acción terrestre que dura un tiempo mayor que el de su paso sobre la porción de superficie solar que mira a la tierra. M. Mémyer, miembro de la misma Sociedad, quien dirige el Observatorio de Meteorología y de Astrofísica solar, fundado por él en Talence, cerca de Burdeos, indica que las perturbaciones atmosféricas están principalmente en relación con el decrecimiento o la desaparición de las manchas, es decir, con la disminución de su superficie o la oblicuidad de sus rayos. Esta observación explicaría la coincidencia de las perturbaciones atmosféricas con la faz decreciente de la revolución de las manchas, que las lleva del meridiano central al borde occidental y hasta detrás de este borde.

» Además, si es verdad que la acción de las manchas nos parece indudable, no podemos por eso dejar de pensar que esta acción no es la sola causa de las perturbaciones terrestres que acompañan a las tempestades electromagnéticas solares. Sin duda, otras acciones, aún desconocidas, intervienen igualmente, y por eso es preciso insistir en la necesidad de un examen más preciso de las fáculas, de las protuberancias, de los filamentos, etc. que, con la mancha, constituyen los síntomas visibles de una tempestad solar. Así se podrá conocer mejor la extensión de tales tempestades. Esta extensión ciertamente muy variable, de manera que la mancha a veces está al principio de la zona tempestuosa, a menudo hacia la mitad, y frecuentemente al fin. Así el reparo suministrado por el paso de la mancha es seguramente el más visible, pero, por lo dicho, es de exactitud insuficiente».

Si el tiempo de que dispongo en esta conferencia no fuera tan limitado, procuraría dar una idea más completa de las teorías de los meteorologistas y astrofísicos que he nombrado atrás; pero como ello no me es posible me contento con hacer notar que lo sostenido últimamente por científicos que han llevado a su último extremo los estudios actinométricos como Abbot en los Estados Unidos, o por los directores del Observatorio de Niza y de la Sociedad Astronómica de Burdeos, etc. concuerda perfectamente con lo dicho por Garavito y que cité al Principio: Es evidente que si la cantidad de calor solar fuer recibida por la tierra durante un intervalo de tiempo determinado, fuera constante, los períodos meteorológicos, diurno o anual, no tendrían porque sufrir alteraciones; así, pues, los fenómenos perturbadores o anormales deben provenir de que el sol no arroja siempre la misma cantidad de calor y de que no todos los puntos de la superficie solar deben emitir esa misma cantidad, sucediendo que la rotación solar debe ocasionar un nuevo período meteorológico». (Garavito - El clima de Bogotá).



Eclipse total de sol 28 de mayo de 1900. Detalles de la corona dibujados por H.R. Morgan.

Y en realidad eso es lo que pasa y que ha dado lugar a la creencia popular de que las fases de la luna tienen que ver con la lluvia y de que los recrudecimientos colectivos de las enfermedades mentales se deben a una acción directa de este astro muerto, en forma tal

que, a los locos, desde tiempo inmemorial, se les llama «lunáticos». Porque como el período de rotación del sol tiene una duración casi igual al mes lunar, ha sido muy fácil que el período meteorológico, debido a esa rotación, y que, naturalmente, es irregular, susceptible de anomalías notables y de una complejidad enorme, haya impresionado durante muchos siglos atrás, por coincidencias repetidas, a la imaginación popular, concordando los efectos morbosos registrados sobre los locos por la experiencia secular, con esas coincidencias.

Para terminar esta exposición quiero resumir brevemente lo dicho, en la forma siguiente:

- 1º) El sol como centro poderoso de irradiación de energía en nuestro sistema planetario, con una masa que vale aproximadamente 750 veces más que la de todos los planetas juntos (330.000 veces mayor que la de la tierra), a una temperatura exterior de 4.000° a 6.000° (superior tres o cuatro veces a las mayores que el hombre puede obtener en sus laboratorios), y a una temperatura interior, que algunos suponen de millones de grados, es un vasto laboratorio, en donde a presiones colosales de centenares de miles de atmósferas, la materia está sujeta a acciones enteramente desconocidas, y a transformaciones que ni siquiera sospechamos.
- 2º) El movimiento de rotación del sol sobre su eje, con velocidades distintas (máxima en el ecuador y mínima en los polos), presupone, según lo enseña la Mecánica, movimientos ascendentes y descendentes, dentro de la misma masa del astro, de enormes cantidades de materia, a temperaturas fantásticas — y que no permiten ninguna acción química — movimientos que se manifiestan al exterior por fenómenos de la fotosfera y de la cromósfera similares a los ciclones de nuestra propia atmósfera.
- 3º) Estas circunstancias, y diversas consideraciones referentes a la duración de la radiación solar por millones y millones de años, durante todas las épocas geológicas de la tierra, que enseña la Paleontología, han hecho suponer a los físicos modernos que el sol es ese vasto laboratorio de que acabo de hablar, en donde se opera la desintegración del átomo.
- 4º) Sin duda esta desintegración tiene que producir una enorme radiación de energía que llega a la tierra en forma de luz y calor y de otras manifestaciones, cuantitativamente mucho más pequeñas, y que nos son desconocidas.
- 5º) Natural es suponer que estas últimas formas de la energía: rayos catódicos, rayos cósmicos, etc., sean causa de ciertos fenómenos electromagnéticos sobre la superficie terrestre, y que la acción variable de tales radiaciones y de otras aún desconocidas, debe influir sobre los seres vivos de modo notable.
- 6º) El estudio, pues, de la física del sol en sus más nimios detalles, con el concurso de los elementos técnicos que he descrito brevemente, puede dar lugar, combinándolo con estadísticas terrestres inteligentemente conducidas, al desarrollo maravilloso de la nueva ciencia llamada «Cosmobiología», y al perfeccionamiento de la Meteorología en forma no sospechada hasta ahora. Llamar la atención sobre estos puntos y efectuar una labor modesta de vulgarización científica, constituyen el objeto de esta conferencia o «charla científica» sin compromisos.

Repito que sólo me he propuesto en ella divulgar conocimientos que se encuentran dispersos en infinidad de tratados y opúsculos inaccesibles para la mayoría de los lectores por su costo

y por lo difícil de su adquisición. Así, quienes me oyen ahora, deben pensar que no trato de hacer obra científica original de ninguna especie, y que tampoco pretendo ni he pretendido hacerla, al referirme a las escasas labores de este Observatorio en materia de Actinometría y a las consideraciones que me he atrevido a formular sobre las anomalías del clima de Bogotá, de las cuales las presentes tienen especial importancia.

He dicho.

Jorge Álvarez Lleras



Revisado por: FEPP