

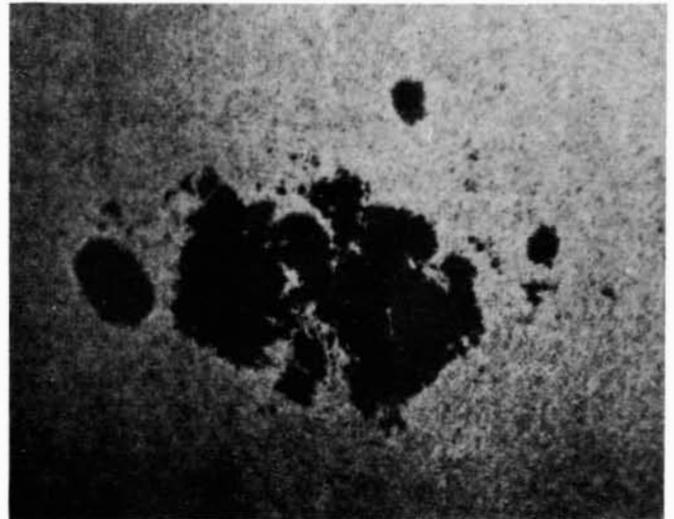
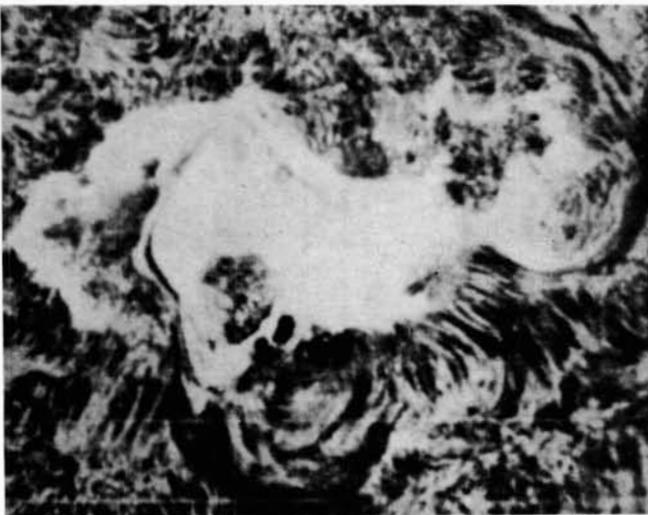
EL SOL Y SU ACTIVIDAD

por JOSE LUIS BALLESTER
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS

A finales de este año o principios del ochenta se producirá el máximo de la actividad solar correspondiente al presente ciclo. Para el estudio y seguimiento de este máximo se ha iniciado un proyecto internacional de investigación conocido como SMM (Solar Maximum Mission), su atención estará dedicada, preferentemente, a las fulguraciones solares.

Pero, ¿cuál es la importancia del seguimiento y vigilancia del Sol y su actividad?. No debemos perder de vista en ningún momento que el Sol permite y facilita la vida sobre la Tierra, cualquier ligera vacilación en su emisión de energía tendría repercusiones muy importantes en nuestro planeta, no olvidemos que la radiación solar condiciona el tiempo meteorológico, con todo lo que ello conlleva, y permite la realización de un proceso de vital importancia como es la fotosíntesis, que restablece el equilibrio de oxígeno de la atmósfera. Por todas las razones anteriormente expuestas, y por algunas que aduciremos más tarde, resulta de capital importancia el estudio, seguimiento y vigilancia del

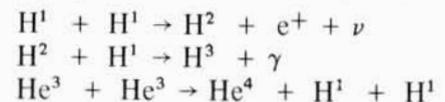
Fulguración solar.



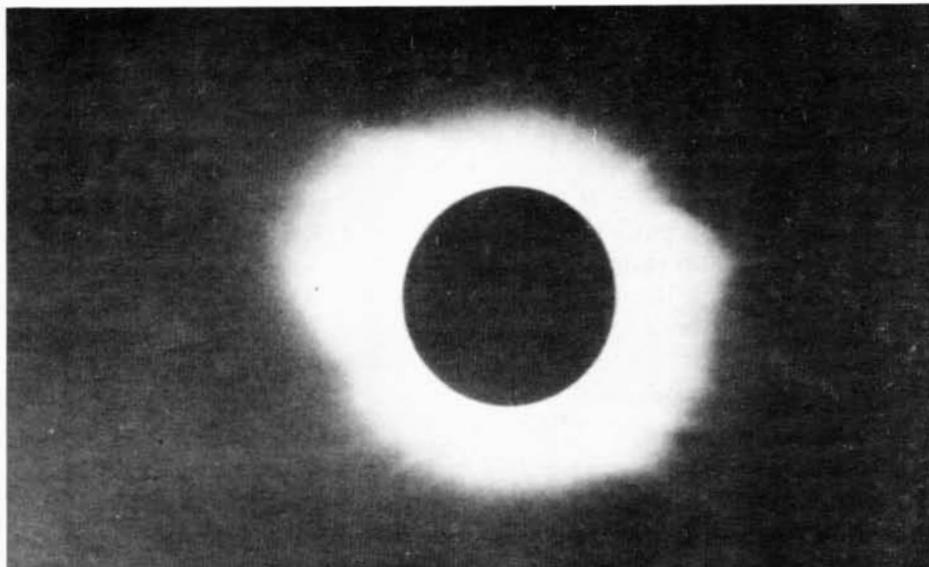
Grupo de manchas solares.

Sol tal como se realiza diariamente en gran número de observatorios a lo largo y ancho de todo el mundo.

La energía emitida por las estrellas es producida por la fusión de núcleos ligeros, tales como los de hidrógeno, según reacciones del tipo siguiente



Estas reacciones generan energía a partir de la transformación de masa en energía expresada por la ecuación de Einstein $E = \Delta mc^2$. Desde 1955, está en marcha una experiencia dirigida a la detección de los neutrinos producidos en este ciclo de reacciones. Los neutrinos (ν) son partículas que se mueven a la velocidad de la luz y que casi no interactúan con la materia, lo que les permite salir directamente desde el interior solar al espacio exterior. Existen predicciones teóricas sobre la tasa de neutrinos que deberían ser detectados en la Tierra, pero los resultados experimentales no concuerdan con la teoría. Si en un futuro próximo no se consigue la concordancia entre teoría y experiencia, deberemos pensar que nuestros conocimientos sobre la generación de la energía estelar no son definitivos y esto, además de reabrir un problema, nos plantearía una incógnita en lo que se refiere al comportamiento presente y futuro del Sol. A lo largo de la historia de nuestro planeta han existido períodos en los que la mayor parte de



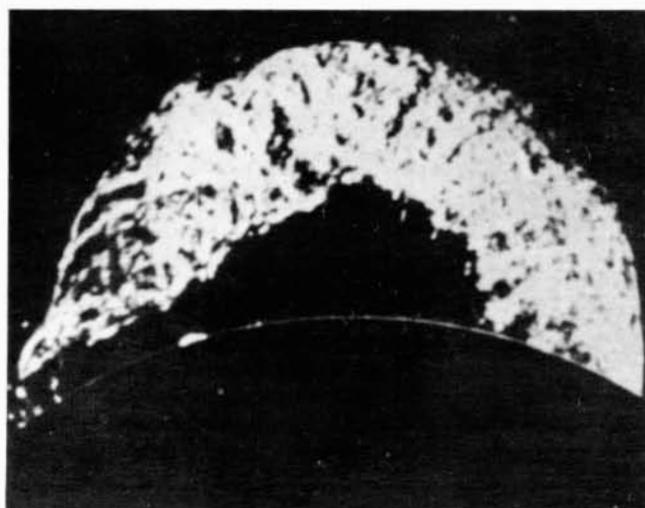
La corona solar vista en un eclipse total.

la Tierra ha estado cubierta por hielos, nos referimos a las Glaciaciones. ¿Cuál podría ser la explicación científica de estos períodos? Se ha especulado con la posibilidad de que el sistema solar haya atravesado algunas de las numerosas nubes de gas y polvo que pueblan nuestra galaxia. (La nube actuaría como medio absorbente y disminuiría la radiación solar que alcanza la Tierra)¹ o bien con la posibilidad de que el Sol haya variado su emisión de energía en algunas épocas; si esta última hipótesis fuera cierta se nos plantea inmediatamente la pregunta ¿por qué se alteró el ritmo de emisión de la energía solar? Para dar cumplida respuesta a esta cuestión se hace necesario profundizar cada vez más en el estudio de la estructura y evolución de las estrellas e intentar verificar las hipótesis y deducciones teóricas con los limitados medios de que disponemos en la Tierra.

Se conoce como Actividad Solar a los cambios que sufre la atmósfera solar, estos cambios son: Manchas solares, protuberancias y fulguraciones, entre los más importantes. La actividad solar es un fenómeno periódico, es decir, se repite en un intervalo de tiempo determinado. Cada once años la actividad del Sol pasa por un máximo, el número de manchas, fulguraciones y protuberancias crece enormemente para decrecer a continuación hasta alcanzar un mínimo y comenzar de nuevo el crecimiento. ¿Qué importancia tiene la actividad solar? La influencia de esta actividad sobre la Tierra es debida, fundamentalmente, a las fulguraciones. Las fulguraciones son fenómenos que, vistos ópticamente, se nos muestran como rápidos abrillantamientos de zonas de la atmósfera solar situadas sobre grupos de manchas, estos fenómenos van acompañados de emisión de radiación corpuscular

y electromagnética altamente energéticas. (La energía emitida por una fulguración es del orden de 10^{32} ergios). Pero, ¿cuál es la repercusión de una fulguración sobre la Tierra? La radiación corpuscular emitida cuando alcanza la zona de influencia del campo magnético terrestre deforma sus líneas de fuerza provocando oscilaciones en el valor numérico, es decir, en el módulo del campo magnético. (Tormentas geomagnéticas). Por otra parte, estas partículas son llevadas a lo largo de las líneas de fuerza hacia los polos donde excitan a los átomos de nitrógeno y oxígeno, la desexcitación de estos átomos da lugar a las auroras boreales. Las partículas más energéticas logran penetrar en la atmósfera terrestre y dan lugar a la radiación cósmica secundaria. La componente electromagnética produce perturbaciones en la Ionosfera y provoca interrupciones en las comunicaciones (Atmosféricas), por todo ello, la vigilancia de las fulguraciones es de suma importancia, baste decir que son seguidas atentamente por el ejército americano, e imagino que también por el ruso, a causa de las perturbaciones que pueden ocasionar en sus comu-

Una de las protuberancias más grandes que se ha observado. Se elevó sobre el Sol hasta una altura de 400.000 Kms.



¹ Para una lúcida descripción de los fenómenos que provocaría tal eventualidad, véase: *The Black Cloud*, F. Hoyle. Penguin Books.

nicaciones que les son de vital importancia; también la NASA ha vigilado cuidadosamente a las fulguraciones en la época de los vuelos tripulados, ya que la radiación de alta energía podía resultar muy peligrosa para los astronautas, se sabe de una tripulación rusa que fue devuelta a la Tierra a causa de una fulguración. ¿Cuál es el origen de las fulguraciones? Nos adentramos ya en el terreno de las hipótesis pues no existe todavía una teoría que explique de manera irrefutable la génesis de estos fenómenos; los campos magnéticos que se encuentran en las manchas solares son del orden de los 3000 G., la aniquilación de campos de polaridad opuesta y de intensidad tan elevada puede proporcionar la energía necesaria para la producción de estos fenómenos. Por otra parte, es necesario poner de manifiesto la diferencia que existe entre el campo general del Sol, cuya magnitud es de 1 G., y con líneas de fuerza contenidas en planos meridianos (Campo Poloidal), y los campos magnéticos de las manchas, de magnitud del orden de los 3000 G. y con líneas de fuerza contenidas en planos azimutales (Campo Toroidal). ¿Cómo se generan estos diferentes campos magnéticos? Para explicar la regeneración del campo general solar se recurre, actualmente, a las teorías dínamo que, grosso modo, podríamos explicar diciendo que el movimiento del plasma del interior solar a través de las líneas de fuerza del campo provoca un fenómeno de inducción que refuerza o regenera este campo general, en lo que respecta a los campos toroidales intentan explicarse a partir de la rotación diferencial del Sol, éste no gira como un sólido rígido sino que los polos giran más lentamente que el ecuador con lo cual al cabo de unas rotaciones se ha producido un enmarañamiento de las líneas de fuerza del campo general y esta mezcla de líneas da lugar a los campos toroidales.

Las manchas solares son zonas oscuras de la atmósfera solar con temperaturas inferiores a las de sus alrededores y con campos magnéticos elevados, aparecen al comienzo de cada ciclo de actividad a latitudes de 40° en los dos hemisferios y van descendiendo hacia el ecuador a lo largo del ciclo, por regla general se presentan formando grupos con propiedades curiosas, por ejemplo, en el hemisferio norte la primera mancha posee polaridad norte y la siguiente sur y así sucesivamente, mientras que en el hemisferio sur ocurre justamente lo opuesto, pero en el siguiente ciclo se invierte la situación. Al parecer, no siempre ha existido actividad solar, investigaciones realizadas por J. Eddy et al.² han puesto de manifiesto que, casi con toda

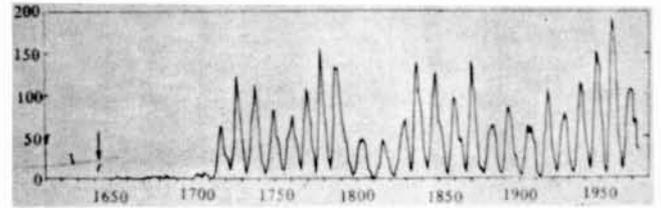


Gráfico donde se observa la ausencia de actividad solar entre 1645-1715.

seguridad, no hubo manchas solares, ni se produjeron auroras boreales, ni se observó la corona en los eclipses totales, en un período comprendido entre 1645 y 1715, además parece ser que existió otro período sin actividad solar entre 1400-1510 y un período de actividad desmesurada entre 1000-1300, variando incluso la velocidad de rotación solar. ¿A qué fueron debidas estas alteraciones? Mientras no dispongamos de una teoría que explique convincentemente todos los fenómenos ligados a la actividad solar y la propia actividad solar no podremos pronunciarnos sobre cuales fueron las causas de estas anomalías.

Desearía por último, enumerar rápidamente algunos de los problemas que tenemos planteados actualmente en relación con el Sol y su actividad:

1) Comprobación, a través de la detección de los neutrinos solares, de nuestras teorías sobre la generación de energía estelar.

2) ¿Ha sufrido alteración, en épocas pasadas, el ritmo de emisión de energía solar y por qué?

3) ¿Cómo se regenera el campo general del Sol y cuál es la causa de que se invierta su polaridad cada once años? ¿Por qué invierten las manchas solares su polaridad y por qué emigran hacia el ecuador? ¿Cuál es el origen de los grupos de manchas?

4) ¿Cuál es el origen de las fulguraciones y qué mecanismo les proporciona energías tan elevadas?

5) ¿Por qué la actividad solar se repite cíclicamente y por qué en algunos períodos no hubo?

6) ¿De qué forma las protuberancias que son objetos fríos ($T=8000^\circ\text{K}$) se mantienen en el interior de la corona ($T=1000000^\circ\text{K}$)?

7) ¿Cómo se explica la variación de temperaturas a lo largo de la atmósfera solar? (En la fotosfera, 6000°K , en la cromosfera 4000°K , en la corona 1000000°K).

Esta es una breve muestra de problemas que requieren solución, como podemos observar algunos de ellos quedarían resueltos con una teoría adecuada para la actividad solar.

Observamos, pues, que nuestro conocimiento de la estrella que nos facilita la vida es preocupantemente limitado, y sin embargo, día tras día, vivimos con la certeza de que mañana brillará el Sol de nuevo.

² Un detallado estudio del Mínimo de Maunder puede encontrarse en: *La desaparición de las manchas solares*. J. Eddy,