

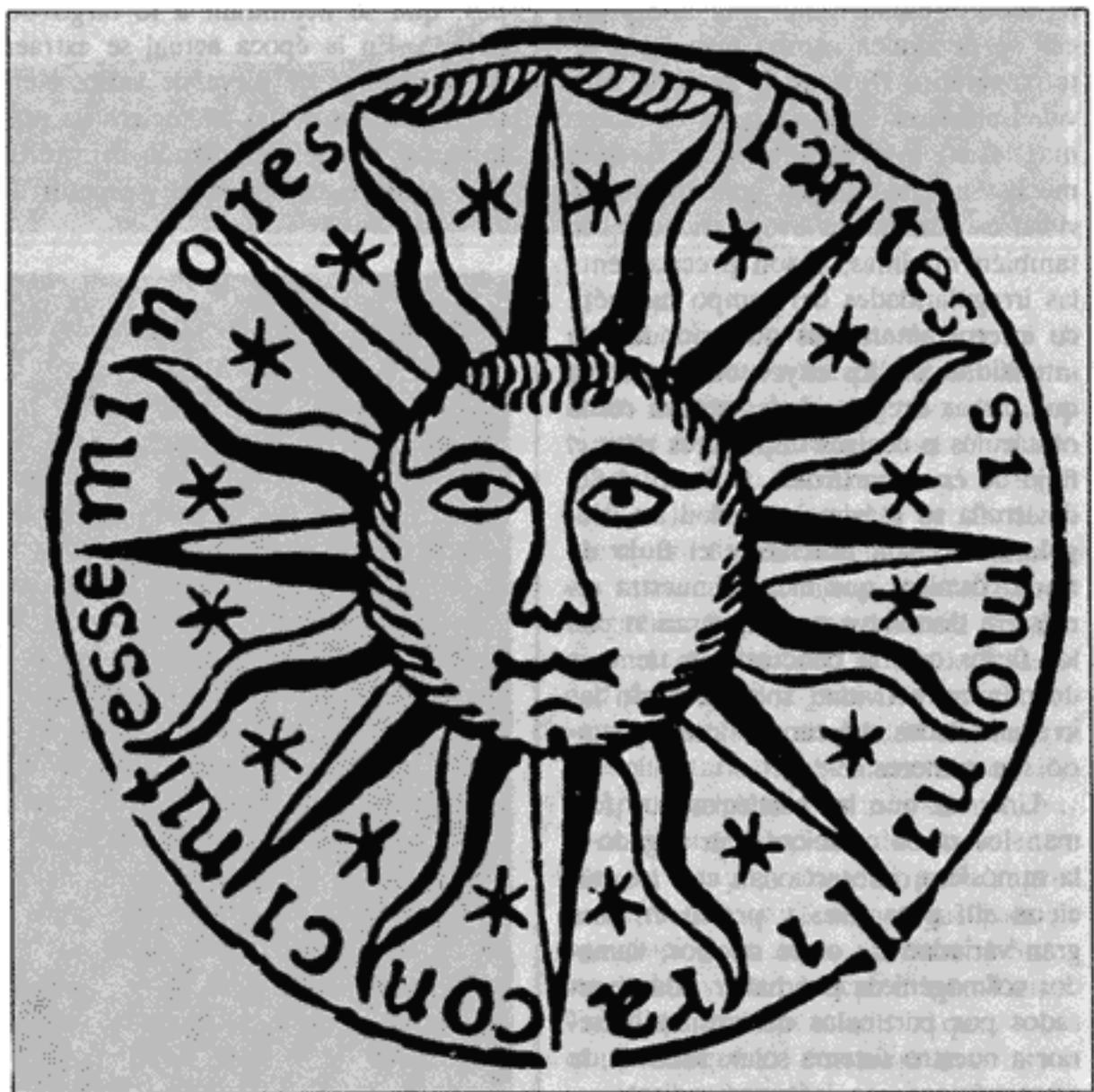
La actividad del Sol en el pasado y sus efectos sobre nuestro planeta

BLANCA MENDOZA

Sobre la actividad del Sol hoy en día se sabe mucho (aunque hay aún más que se ignora) gracias a las observaciones que de él podemos hacer tanto desde observatorios terrestres como desde satélites.

También podemos inferir su comportamiento en el pasado por los registros históricos de su actividad. Para nosotros, en este pequeño planeta, la manifestación más evidente de la actividad del Sol son sus manchas. Como se pueden observar a simple vista (con daño considerable para nuestros ojos), y su número aumenta y luego disminuye en un periodo de once años, son la fuente de los registros históricos de la actividad solar que se tiene por más tiempo. Los griegos informaron sobre ellas desde el año 28 A.C.; por cierto que lo hizo un discípulo de Aristóteles, Teofrasto de Atenas. En oriente los chinos las reseñaron desde 200 años A.C.

Las manchas solares no son las únicas manifestaciones de la actividad del Sol. Cuando nuestra estrella está muy activa produce abundantes explosiones en su atmósfera, denominadas ráfagas, las cuales son el resultado de la aniquilación de los campos magnéticos solares. Estas explosiones provocan la emisión de partículas muy energéticas que se mueven a velocidades cercanas a las de la luz (algunas de ellas alcanzan hasta un tercio de dicha velocidad). Estas partículas penetran a la alta atmósfera terrestre a una altura entre 500 y 90 km sobre la superficie. Otra fuente



de partículas que llegan a nuestra atmósfera es el viento solar, ese chorro de iones, electrones y protones que continuamente sale del Sol.

Tanto el viento solar como las partículas provenientes de las ráfagas, al penetrar en la atmósfera, la ionizan y producen así el hermoso espectáculo de las auroras en regiones entre 60 y 70 grados de latitud en ambos hemisferios.

Algo tan espectacular como una aurora no puede pasar desapercibido en ninguna época y, según vemos, este fenómeno es causa directa de la actividad del Sol; entonces los reportes aurorales son manifestaciones indirectas de la actividad de nuestra estrella. Sin embargo, los informes sobre auroras abarcan poco en el pasado, en Europa aparecen desde el año 1100, pero en Oriente

Blanca Mendoza: Departamento de Física Espacial, Instituto de Geofísica, UNAM.

surgen a partir de 200 AC, según observaciones que provienen principalmente de China, Japón y Corea.

Visitantes interestelares

Hoy en día podemos investigar la actividad solar del pasado, no solo mediante los informes históricos que, como vimos, no abarcan demasiado en el pasado, sino también con registros relacionados con partículas muy energéticas que provienen del espacio interestelar, los llamados rayos cósmicos. Ahora bien, el viento solar, al abandonar el Sol, se lleva consigo al campo magnético de nuestra estrella. Éste llena todo el espacio interplanetario y por ello se denomina campo magnético interplanetario. Durante la máxima actividad solar, el viento solar y el campo magnético interplanetario presentan muchas irregularidades, cuando la actividad es mínima las irregularidades son también mínimas; y son precisamente las irregularidades del campo magnético interplanetario las que modulan la intensidad de los rayos cósmicos, ya que dichas irregularidades actúan como obstáculos o centros dispersores para el flujo de estas partículas. Cuando el Sol desarrolla su máxima actividad las irregularidades son muchas y el flujo de rayos cósmicos que alcanza nuestra atmósfera disminuye en comparación con los flujos que la penetran en tiempos de mínima actividad solar, cuando las irregularidades del campo interplanetario son menores.

Una vez que las partículas que forman los rayos cósmicos han llegado a la atmósfera, interaccionan con los núcleos allí presentes y producen una gran variedad de otros núcleos, llamados cosmogénicos por haber sido generados por partículas del cosmos exterior a nuestro sistema solar. Muchos de estos núcleos son isótopos radiactivos. Después de ser producidos, los radioisótopos siguen el movimiento de las masas de aire convertidos en gases tales como el Carbono 14 o se adhieren a partículas de tamaño micrométrico, los denominados aerosoles, tal es el caso del berilio 10. Estos isótopos bajan hasta la parte inferior de la atmósfera, la que está en contacto con los seres vivos. Una vez en esta región, los isótopos adheridos a aerosoles se incorporan al suelo vía la lluvia, mientras que

los gases se depositan directamente en el mar.

Archivos con mucha información del pasado

Para poder usar la información que nos proporcionan los isótopos cosmogénicos, tenemos que encontrar los archivos donde está almacenada. Algunos de estos archivos se describen brevemente a continuación.

Capas polares y glaciares

El hielo se forma de la precipitación de nieve y ésta se va comprimiendo en capas, que se acumulan a lo largo del tiempo. En la época actual se extraen unos cilindros de nieve de varios cientos de metros o aun kilómetros de profundidad donde, estudiando características como la composición y espesor de

cada capa, se obtienen datos tanto sobre las condiciones climáticas imperantes en ese tiempo como sobre las concentraciones de los isótopos cosmogénicos y, por tanto, sobre la actividad solar. Este estudio nos remonta a 10 000 años en el pasado.

Sedimentos de las profundidades marinas

Los isótopos que nos dan información son el berilio 10 y el aluminio 26. Estos llegan al mar directamente por precipitación de aerosoles a los cuales están adheridos o porque los aerosoles son transportados desde los continentes por el viento y los ríos. Analizando la composición de estos sedimentos también se estudian las características del clima de diferentes épocas que abarcan varios millones de años, las concentraciones de radioisótopos y la actividad del Sol.

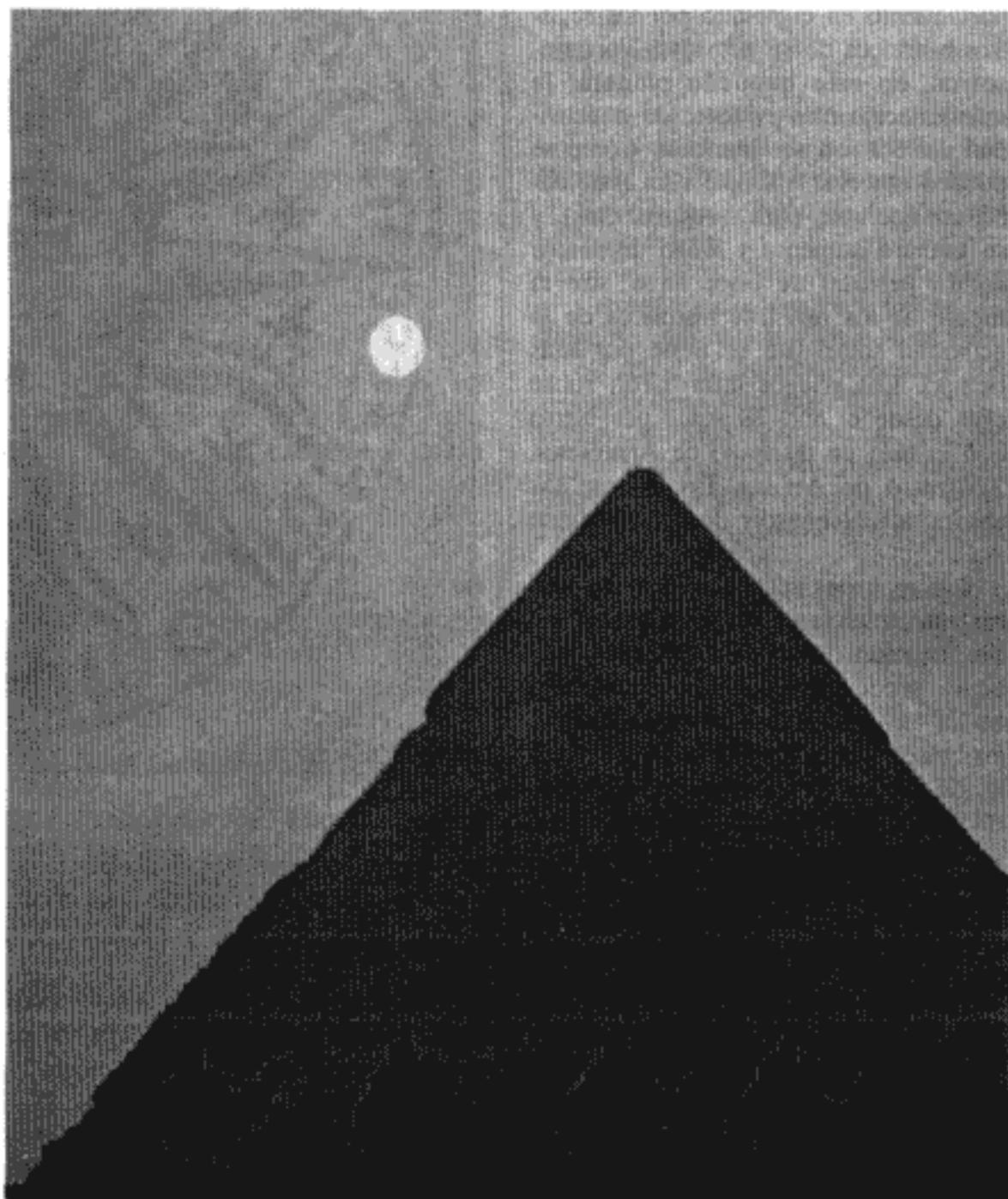
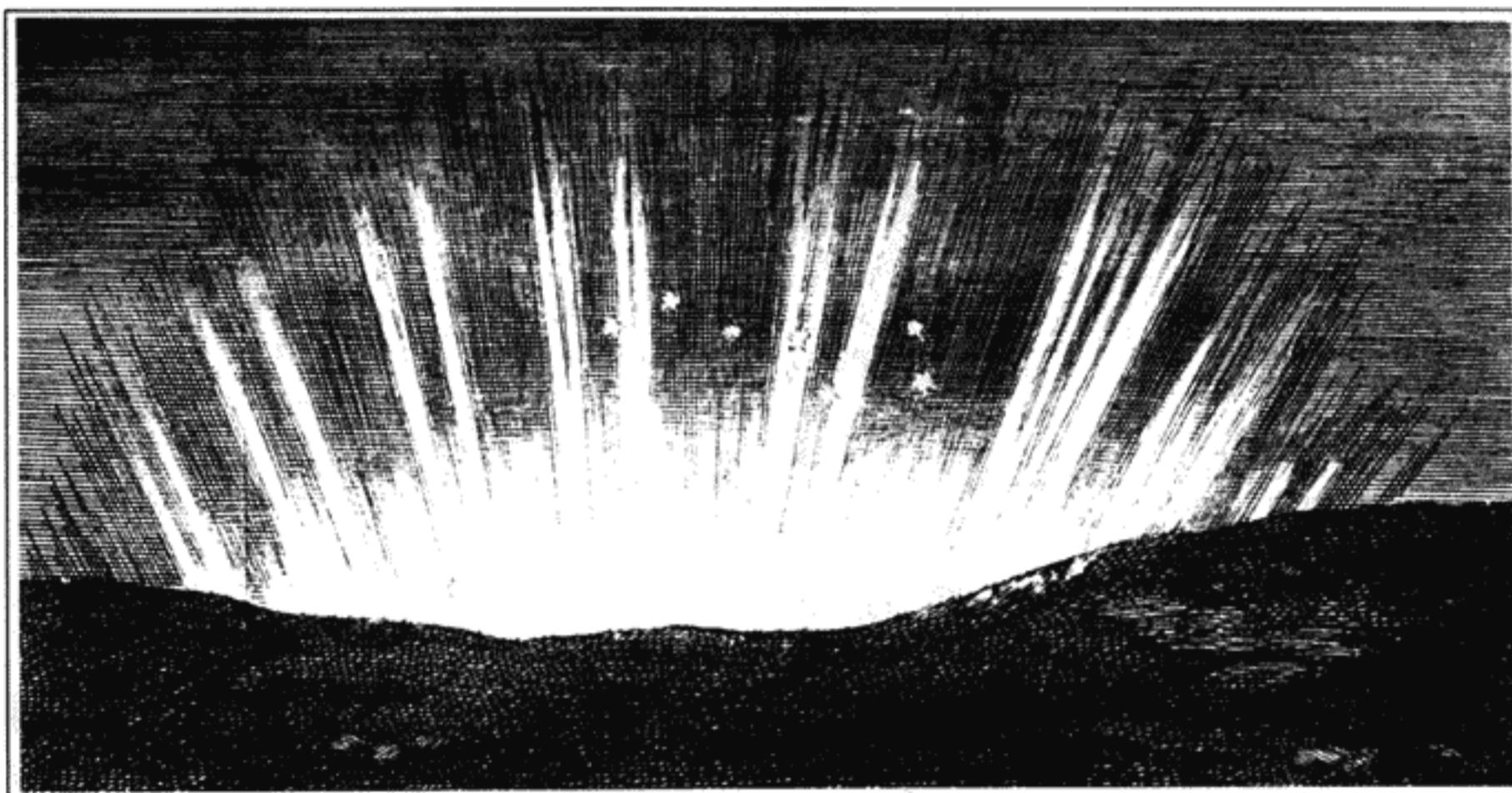


Foto Eliot Elisofon.



Aurora boreal en el libro de J.J. Mairan.

Anillos de árboles

Éstos se van formando anualmente y constituyen las diferentes capas de las cortezas arbóreas. Durante la fotosíntesis, todos los vegetales absorben el bióxido de carbono atmosférico y el agua. El bióxido de carbono contiene carbono 14, por tanto, analizando su abundancia en las capas de los anillos de los árboles se puede estudiar indirectamente el flujo de rayos cósmicos en diferentes épocas, hasta hace unos 9000 años.

Sedimentos lacustres

Hace 680 millones de años, en la época glaciár, había grandes lagos que recibían periódicamente las aguas de los icebergs derretidos. Esta agua contenía sedimentos que se depositaban en el lecho del lago formando estratos y su volumen variaba según la temperatura; por tanto, el grosor de estos estratos también varió, y nos informa ahora sobre el clima y la concentración de isótopos relacionada con la actividad solar.

Retrocedamos aún más en el tiempo

Nos preguntamos si es posible adentrarse aún más en el pasado, digamos hasta la época en la que los cuerpos

del Sistema Solar estaban formados. Esto ya es el remoto pasado, estamos hablando de hace mil años. Las estrellas de secuencia principal son aquellas que han iniciado las reacciones nucleares en su centro y están convirtiendo el hidrógeno en helio. Esta fase es la más estable en la vida de una estrella. Los planetas del Sistema Solar, muy probablemente, ya estaban formados hace 3500 millones de años. En particular, ya estaban formados los continentes, las masas de agua y la atmósfera de la Tierra.

Lo que básicamente nos interesa sobre nuestro planeta es el impacto que éste sufre por las variaciones en las diferentes emisiones del Sol debido a su evolución. Las emisiones de interés son: la luminosidad, es decir la cantidad de energía que el Sol radía cada segundo; los flujos de viento solar, de partículas energéticas provenientes de ráfagas, y de campo magnético, así como su efecto en el flujo de rayos cósmicos.

Para determinar como eran estas emisiones, se tiene que recurrir al modelaje físico de nuestra estrella, es decir, se deben resolver las ecuaciones de masa, momento y energía que constituyen el llamado modelo estándar del Sol, con algunas suposiciones extras sobre el campo magnético.

Los resultados de interés son los siguientes: durante los primeros 400 millones de años de vida del Sol, su luminosidad fue 75% de la actual. Para este mismo período la velocidad del viento solar a la distancia de la órbita de la Tierra era aproximadamente cuatro veces la actual. La intensidad del campo magnético en la superficie del Sol era diez veces la actual. Como la intensidad del campo magnético solar era mayor, entonces la intensidad del campo interplanetario también era mayor. Un campo interplanetario más intenso, aunado a una velocidad de viento solar mayor, muy probablemente representaron un obstáculo mayor para la penetración de rayos cósmicos al Sistema Solar y en particular a la Tierra. También podemos inferir que, si el campo magnético solar era más intenso, esto pudo generar más ráfagas y, por tanto, una emisión de partículas energéticas mayor y/o más frecuente.

Nos gustaría comprobar los resultados de este modelaje. Para hacerlo sólo hay que estudiar lo que nos dicen los meteoritos, el suelo lunar y los fósiles de nuestro propio planeta.

El primer resultado concierne a la luminosidad. Un Sol que emitiera 75% de la energía actual provocaría que la temperatura de la superficie de la Tierra fuera 8% menor que la actual, y

una temperatura así provocaría que la temperatura del agua de los océanos estuviera por debajo del punto de congelamiento por espacio de 2000 millones de años. Sin embargo, la evidencia geológica nos dice que hay ausencia de depósitos glaciales en nuestro planeta desde hace 1 200 millones de años, y que, además, a partir de esta época ya hay presencia de vida en él: organismos prokarióticos que muestran evidencias de división celular, lo cual no sería posible en un mar congelado. Los resultados del modelo estándar son altamente confiables, pero de igual modo lo son las evidencias terrestres mencionadas. La pregunta es cómo resolver esta aparente contradicción. Es muy probable que la respuesta esté en la composición de la atmósfera primitiva de nuestro planeta. En aquella época la atmósfera terrestre era rica en bióxido de carbono, y éste es un excelente regulador de temperatura. Por tanto, aun cuando la luminosidad del Sol era menor que la actual, este gas atmosférico reguló la temperatura del planeta.

El impacto del viento solar sobre las rocas o suelo de aquellos planetas y satélites sin campo magnético y/o atmósfera nos informa sobre las velocidades y densidades del mismo. Las evidencias geológicas sobre el viento solar primitivo las podemos encontrar en las rocas



Ivor Sharp

lunares. Del análisis de dichas rocas, se concluye que en los primeros 400 millones de años de su existencia ya había un viento solar y que su flujo era aproximadamente cinco veces el actual; también se infiere que su velocidad era casi tres veces mayor que la actual. Estas evidencias coinciden con los resulta-

dos del modelo estándar. Asimismo, tras analizar muestras del suelo lunar, se concluye que en los primeros 600 millones de años el campo magnético del Sol era diez veces mayor que el actual, lo que coincide nuevamente con el modelaje físico.

Los meteoritos nos ayudan a saber sobre las ráfagas solares; sin embargo, el estudio de granos de meteoritos es altamente inconclusivo. Algunos resultados indican que el flujo de partículas energéticas provenientes de las ráfagas fue de seis a diez mil veces mayor que el actual, mientras que otros no reportan variación alguna.

Finalmente los estudios de meteoritos indican que el flujo de rayos cósmicos en los últimos mil millones de años ha sido menor en promedio que el flujo en los últimos diez millones de años, lo cual señala una tendencia a que este flujo fuera menor en el pasado. Este resultado podría ser una gúfa para el modelo estándar.

Podemos concluir que la actividad del Sol ha dejado su huella no sólo en nuestro planeta, sino en otros cuerpos del Sistema Solar. El estudio de estos efectos obviamente nos permite entender mejor el comportamiento de nuestra estrella y, tal vez, hasta predecirlo algún día detalladamente a largo plazo. ♦



Don King