

RESEÑA DEL STATUS ACTUAL DE LA FISICA SOLAR

El presente artículo está integrado por dos partes, la primera de las cuales aborda el status actual de la astrofísica, y la segunda de ellas, que se incluirá en el próximo número de este órgano informativo, dará a conocer la participación de investigadores universitarios en torno a la física solar. El texto corresponde a 3 conferencias dictadas en el Instituto y fue redactado por el doctor Jorge Pérez Peraza, investigador del mismo.

Dado que el Sol controla directa o indirectamente todos los modos de vida y energía sobre la Tierra, nuestra estrella tiene derecho a consideraciones particulares entre los cientos de miles de millones de soles que constelan el firmamento en nuestras noches más limpiadas; es evidente entonces que no podemos evitar el ocuparnos de ella, labor que se viene efectuando de diversas maneras desde que el Homo Sapiens concientizó su presencia. Su estudio ha evolucionado desde aspectos de carácter puramente teológicos hasta el actual enfoque netamente científico que se lleva a cabo en todas partes del mundo; en la UNAM, el estudio de la física solar se desarrolla dentro del programa de actividades académicas del Instituto de Astronomía. Si bien para la mayoría de la gente el Sol representa la fuente primaria de su bienestar, para el Astrofísico reviste un carácter muy especial. Dentro de las normas estelares, el Sol es una estrella promedio del tipo G2 (magnitud absoluta + 4.69) en la secuencia principal del diagrama que designa en Astrofísica la evolución estelar. Es el laboratorio estelar más cercano a nosotros, así como también el núcleo del único sistema planetario definitivamente identificado en el universo y la cuna de los procesos aparentemente irreversibles de las relaciones Sol-Tierra. Por otro lado cabe mencionar que la evolución de la física solar ha hecho patente el mutuo reforzamiento de esta rama con otras disciplinas de la física, conspicuamente en los casos de la física de reacciones nucleares, la espectroscopía, la física de plasmas y la magnetohidrodinámica. Para enfatizar sobre esta reversibilidad podemos citar, aparte del caso muy bien conocido del origen de la bomba de hidrógeno, algunos ejemplos como el de que la idea de confinamiento de un plasma por campos magnéticos, que se utiliza en los reactores para la fusión controlada, ha sido sugerida por el estudio de los fenómenos hidromagnéticos conectados con la actividad solar, e inversamente, las investigaciones sobre reacciones de fusión en el laboratorio han beneficiado enormemente el estudio de los procesos naturales de fusión que tienen lugar en el interior de las estrellas. Podemos añadir que el principio de los aceleradores de partículas tipo betatrón estuvo inspirado en el proceso de aceleración, propuesto, con una década de anterioridad, para explicar la producción de rayos cósmicos solares. Asimismo, los cañones de plasmas y generadores magnetohidrodinámicos han surgido como consecuencia del desarrollo de las dos últimas disciplinas citadas, en asociación al fenómeno de las fulguraciones solares. Dada entonces la importancia del estudio de nuestra estrella, es muy legítimo preguntarse: (1) ¿Qué cosas sabemos acerca de ella? y (2) ¿Qué cosa nos falta aún por aprender? Con respecto a la primera pregunta se puede decir que, aunque la cantidad de información fenomenológica del Sol es cada vez más vasta, debido al constante refinamiento de los métodos observacionales, el origen de esta fenomenología está lejos aún de ser completamente comprendida. Entre los aspectos que pretendemos conocer con suficiente confiabilidad, podemos citar, por ejemplo, que el Sol es una masa gaseosa, y en consecuen-

cia su rotación no es la de un cuerpo rígido, sino que gira con un periodo de 27 días en el ecuador y de 31 días cerca de los polos, es 330 mil veces más masivo que la Tierra y con un volumen 1.3 millones de veces mayor; su densidad media es de 1.5 veces la del agua, o sea 1/5 de la de nuestro planeta; la aceleración debida a la gravedad es cerca de 28 veces mayor que la de la Tierra (una persona de 60 Kg al nivel del mar pesaría 1,677 Kg al nivel de la fotosfera solar); podemos observar su atmósfera y sabemos que su temperatura varía desde 4,300° K en la baja cromósfera hasta 3 millones de grados dentro de la corona; el radio de la masa del interior no visible, delimitada por la fotosfera, es de 700 mil Km, y su distancia promedio de la Tierra es de 150 millones de Km. La atmósfera terrestre recibe cada minuto una cantidad cuasi constante de 1.94 cal/cm² de radiación solar, la cual se infiere que debe representar aproximadamente una milmillonésima parte de la emitida por el Sol, cuya luminosidad es de 3.8×10^{23} watts. Desde el inicio de la era espacial se ha obtenido una gran cantidad de información adicional, como por ejemplo que el Sol eyecta un flujo supersónico continuo de partículas de baja energía conocido como viento solar, y desde el lanzamiento del vehículo espacial Skylab en 1973, se sabe que este viento solar es controlado por los llamados hoyos coronales que representan estructuras magnéticas abiertas hacia el espacio interplanetario. Se sabe ahora también que el llamado Sol quieto, en contraste con los fenómenos dinámicos de la actividad solar, no es en realidad tan tranquilo, sino que una superposición de cerca de un millón de modos diferentes de pulsaciones pueden ocurrir simultáneamente, dentro de una escala vertical de 10 - 2,000 Km a partir de su superficie, y que pueden agruparse en pulsaciones de cortos y largos periodos de pulsación: entre las primeras destacan las que tienen un periodo promedio de oscilación de 5' y entre las segundas las de un periodo de 160'; aunque la superficie entera solar está cubierta permanentemente de oscilaciones, el movimiento oscilatorio no es unitario, sino que secciones de escala horizontal entre mil y 300 mil Km pulsan independientemente como olas oceánicas simulando especie de temblores solares. Se ha puesto en evidencia, también recientemente, la presencia de gigantescas estructuras magnéticas que parecen separar a los hoyos coronales y que evolucionan con cierta regularidad en un proceso que se asemeja a la deriva continental y que por lo tanto han sido designados como continentes magnéticos. Inclusive, se presume conocer el interior no observable del Sol, y de ello se infiere, por ejemplo, que nuestra estrella tiene una edad de alrededor de 4,600 millones de años en los cuales ha incrementado un 30% su luminosidad; que se encuentra ahora en plena madurez estelar y se prevé que demore otros 4,000 millones de años sin que nada espectacular le ocurra; se infiere, además, que su composición química consiste de 74% de H, 25% de He, y 1% de los demás elementos conocidos. Dentro del contexto de esta primera cuestión, cabe entonces preguntarse: ¿Qué cosas creemos conocer

del Sol, pero que son susceptibles de sorpresas y por lo tanto a modificaciones en nuestra concepción física de la estrella?; para dar una idea del dinamismo con el que evoluciona nuestro conocimiento del Sol, podemos mencionar que a partir del estudio de fósiles por medio del Carbono-14 y de registros históricos de manchas solares, se ha puesto en evidencia recientemente la variabilidad del Sol desde el punto de vista de actividad magnética, es decir, se ha abandonado la idea de que el ciclo de actividad solar de 11 años es una característica invariable de nuestra estrella, sino que más bien se comporta como un reloj, en el sentido de que ya se ha detenido varias veces: desde el siglo XV a la fecha el ciclo parece haberse detenido varias veces por un total de cerca de 170 años (por ejemplo de 1640-1715). Por otro lado, resultados experimentales recientes sugieren que no entendemos tan bien como se ha creído el porqué resplandece nuestro astro, cuestionando diversos aspectos de la teoría de generación de energía solar, que supuestamente estaba firmemente establecida: de acuerdo a las ideas actuales, el Sol brilla a merced de las reacciones termonucleares controladas que ocurren en su interior a temperaturas del orden de 15 - 21 millones de °K, fusionando estacionariamente el contenido de H en He. El experimento en cuestión indica un déficit por un factor de alrededor de 10 en el flujo de neutrinos esperados en base a la teoría de generación de energía solar, dejando abiertas posibilidades, tales como que las reacciones nucleares no sean la fuente de energía, o que la luminosidad de la estrella variará en un porcentaje importante dentro de una decena de millones de años, o bien que el proceso de producción de energía no es de carácter estacionario y que estamos presenciando el inicio de un nuevo periodo glacial; en fin, diversos modelos especulativos se han desarrollado para explicar la discrepancia entre el experimento y la teoría. Conviene hacer notar que algunas de las oscilaciones solares previamente mencionadas pueden ser utilizadas para sondear el interior invisible del Sol, de manera similar a como se utilizan las ondas sísmicas generadas por los temblores para conocer la estructura interna de la Tierra, puesto que la velocidad de las ondas es influenciada por los gradientes de velocidad y temperatura; resultados preliminares parecen indicar que la densidad solar no crece tan rápidamente hacia su centro como se considera en la actualidad, así como que la temperatura interna se aproxima a 6.5 millones de grados, o sea 3 veces menor que el valor asumido por la teoría. Vemos entonces que el Sol es susceptible de cambiar su posición actual dentro del diagrama de evolución estelar, lo cual induciría a otro tipo de dilemas, por ejemplo, si resultase que el Sol es más joven, con una vida menor a los 3,600 millones de años en que aparecieron los primeros vestigios de vida en el material terrestre, se evidenciaría la independencia de los procesos generadores de formas de vida con respecto a la tasa actual de luminosidad solar. El estudio de posibles variaciones de la luminosidad en la historia del Sol puede ayudar a esclarecer algunos de los dilemas que han aparecido concernientes al origen de la energía solar: si el sondeo del interior del Sol llegase a indicar que la materia del interior se mezcla en cierto grado con las de las capas superiores, esto conduciría a apoyar los modelos que asumen variabilidad en la tasa de radiación solar basados en la ocurrencia de edades glaciares en el pasado. Todo este tipo de sorpresas y enigmas aparecidos recientemente en el campo de la física solar han traído implicaciones tales como un impulso considerable a las corrientes de investigación dedicadas a descifrar si el Sol es o no una estrella variable, o si evolucionará en un futuro próximo o lejano en estrella variable. El estudio de la variabilidad solar concierne no solamente al astrofísico, sino también

al climatólogo quien se interesa en saber hasta qué punto es variable la luminosidad de nuestro astro dentro de la escala temporal relevante a la especie humana, pues los diversos modelos climatológicos predicen que una variación del 1% en la luminosidad solar implica una variación de temperatura en la superficie de la Tierra mayor a los 2°C. En efecto se sabe que las variaciones en la actividad solar durante el ciclo onceal no afectan notablemente el valor de la constante solar, y que las ligeras variaciones (menores a 0.5%) observados alrededor de su valor promedio, pueden ser en todo caso la clave para interpretar únicamente el vínculo con las sequías terrestres. Sin embargo el estudio de la actividad solar a largo término demuestra que la envoltura conectante de los picos de varios ciclos durante algunas decenas de años correlaciona sus mínimos y máximos con periodos de climas fríos y calientes respectivamente, que se extienden entre 50 y 150 años: los periodos 1400-1510 y 1645-1715 en que la actividad solar fue mínima y nula coinciden con las llamadas pequeñas edades glaciares, en tanto que el máximo de esta curva envolvente entre los años 900 y 1200 coinciden con la muy conocida época medieval calurosa.

En lo que concierne a ¿qué cosa se espera aprender del Sol?, se puede mencionar que a corto término, el sondeo por medio de las oscilaciones presumiblemente generadas en el interior de la estrella puede, probablemente, proporcionar información valiosa acerca de su estructura interna, en tanto que los diversos experimentos a bordo de los diferentes vehículos espaciales seguirán proporcionando seguramente más información sobre la compleja atmósfera solar, teniendo en cuenta, naturalmente, que la historia de la ciencia nos ha demostrado que así como de cada nuevo instrumento y experimento se pueden esperar algunas respuestas, generalmente aparecen también un número mayor de nuevas inquietudes. La información concerniente a la atmósfera quieta permitirá por ejemplo, un mejor entendimiento de su estructura, comportamiento y dinámica de algunos aspectos relaciones Sol-espacio interplanetario-Tierra: se espera que a partir de las observaciones de los hoyos coronales y flujos de viento solar de alta velocidad se pueda predecir la actividad geomagnética y auroral con 10 días de anticipación. Observaciones correspondientes a la atmósfera activa permitirán profundizar, entre otras cosas, el entendimiento del fenómeno más espectacular de la actividad solar, es decir, las Fulguraciones Solares, fenómeno de carácter esporádico que teniendo un impacto extraordinario sobre nuestro planeta debido al formidable flujo de radiación electromagnética y corpuscular que produce, sin embargo nuestro entendimiento de este fenómeno no nos permite aún predecir su ocurrencia como en el caso de los eclipses solares. En fin, la multitud de aspectos astrofísicos y geofísicos que involucra el entendimiento de la fenomenología solar ha conducido a un incremento del esfuerzo internacional para desarrollar la física solar en el transcurso de la próxima década: se puede citar como ejemplo la Misión del Máximo Solar (SMM) destinada a estudiar los fenómenos de actividad durante el próximo máximo a finales de 1979, en la que cerca de un 90% de los experimentos están orientados hacia las Fulguraciones Solares, dentro de un programa cuya inversión rebasa los 14 millones de dólares. Otras experiencias de mayor envergadura tendrán lugar dentro de la llamada Misión Polar-Solar (SPM) a partir de febrero de 1983, en la que se explorarán áreas desconocidas del Sol, como sus polos norte y sur, acercándose al astro a distancias nunca antes alcanzadas, y que extenderá nuestro conocimiento de la estrella de 2 a 3 dimensiones, pues será la primera misión que se salga realmente del plano de la eclíptica, proeza que hasta ahora no se ha realizado por más de 10° fuera de ésta.

(Continuará)