

El misterio de un Sol immaculado

La dinámica de los flujos de plasma en el interior del astro explica la inusitada ausencia de manchas solares observada durante los últimos años

A pesar de su aparente inmutabilidad, el Sol exhibe una rica variedad de fenómenos dinámicos que abarcan todo tipo de escalas temporales y espaciales. La mayor parte de ellos se relaciona con la evolución del campo magnético solar y su interacción con el plasma, la «sopa» de partículas dotadas de carga eléctrica y a muy altas temperaturas que componen el astro. Los violentos destellos solares y las eyecciones de masa, por ejemplo, tienen su origen en los cambios locales del campo magnético. Por otro lado, dado que el campo magnético actúa como una guía para el viento solar (las corrientes de partículas que emanan de la estrella), sus cambios globales afectan a la naturaleza del viento solar y al entorno interplanetario.

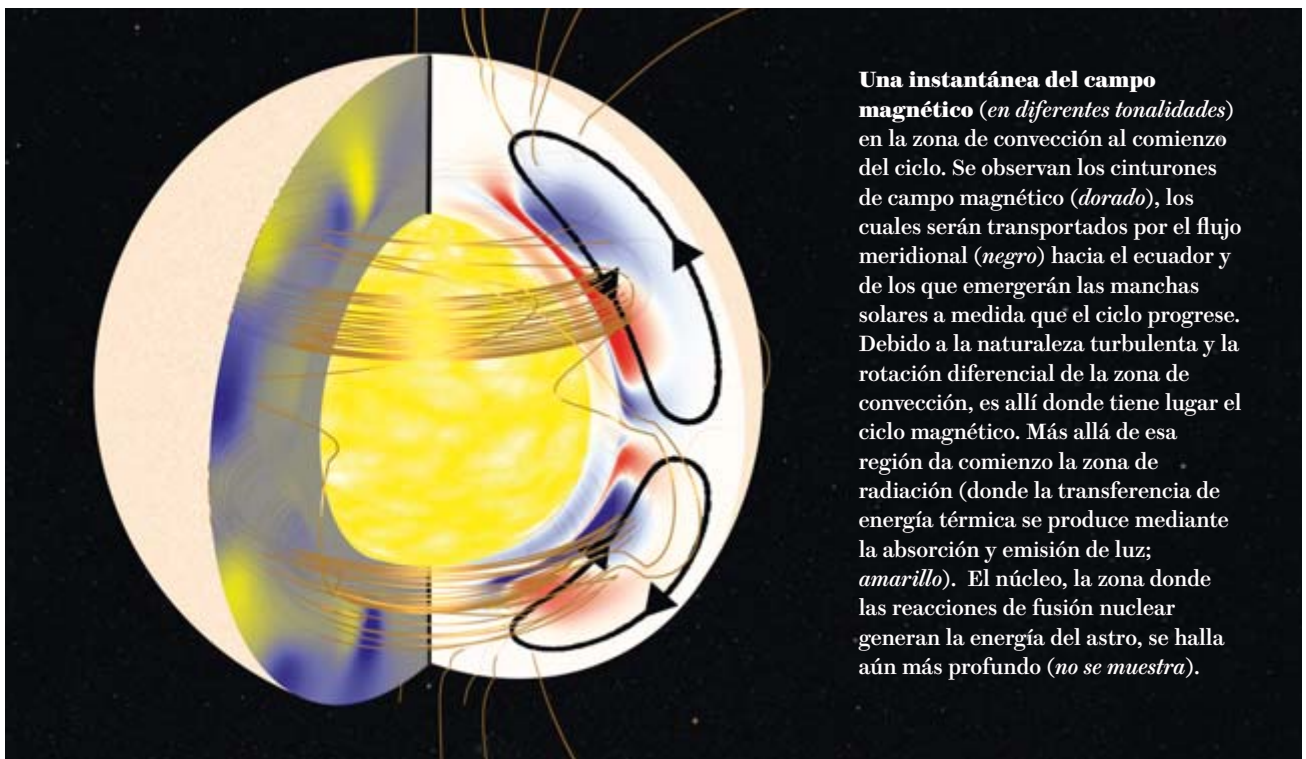
Toda actividad magnética del Sol se refleja en el aspecto y la cantidad de manchas solares. Estas aparecen en las regiones en las que existe un campo magnético muy intenso, ya que entonces se suprime la transferencia de calor hacia la superficie y se reduce la emisividad del plasma.

Las manchas solares constituyen la manifestación superficial de los tubos de flujo magnético, los cuales emergen desde las profundidades de la zona de convección —la región del Sol en la que la transferencia de calor se realiza a través del movimiento del plasma—. A su vez, dichos tubos de flujo tienen su origen en los grandes «cinturones» de campo magnético que se generan como consecuencia de que, en el Sol, las diferentes capas de plasma no rotan de manera uniforme, sino a velocidades distintas, un fenómeno denominado rotación diferencial. Ello deforma la componente dipolar del campo magnético (en esencia, las líneas de campo que nacen en un polo y van a morir al otro), enrollándola alrededor del eje de rotación.

Desde hace tiempo se sabe que el número de manchas solares exhibe una sucesión de máximos y mínimos que obedecen a un ciclo de unos once años. Un ciclo solar típico puede describirse como una sucesión de los siguientes fenómenos: la producción de cinturones de campo mag-

nético a medida que la rotación diferencial deforma la componente dipolar del campo magnético; el transporte de estos cinturones desde latitudes intermedias hacia el ecuador como consecuencia de los flujos meridionales de plasma —un movimiento sistemático del plasma hacia los polos, el cual se ha observado en la superficie y cuyo retorno hacia el ecuador se cree que tiene lugar en las profundidades de la zona de convección—; la erupción y progresiva desaparición de las manchas solares a lo largo de este viaje y, por último, debido al decaimiento del campo magnético de estas, la cancelación e inversión de la componente dipolar del campo magnético solar (la inversión de los polos magnéticos del astro). A partir de ese momento, da comienzo el ciclo siguiente.

Dado que el proceso de cancelación e inversión del campo magnético ocurre de manera gradual, los cinturones de campo magnético de los que provienen las manchas de un ciclo siempre coexisten con los cinturones que originarán las



Una instantánea del campo magnético (en diferentes tonalidades) en la zona de convección al comienzo del ciclo. Se observan los cinturones de campo magnético (*dorado*), los cuales serán transportados por el flujo meridional (*negro*) hacia el ecuador y de los que emergerán las manchas solares a medida que el ciclo progresa. Debido a la naturaleza turbulenta y la rotación diferencial de la zona de convección, es allí donde tiene lugar el ciclo magnético. Más allá de esa región da comienzo la zona de radiación (donde la transferencia de energía térmica se produce mediante la absorción y emisión de luz; *amarillo*). El núcleo, la zona donde las reacciones de fusión nuclear generan la energía del astro, se halla aún más profundo (*no se muestra*).

manchas del ciclo siguiente, como si de un objeto fabricado en una cadena de producción en serie se tratase. Ese intervalo de tiempo en el que un ciclo se encuentra en sus últimos estertores y el siguiente está comenzando se conoce como mínimo solar, ya que se caracteriza por una gran cantidad de días sin manchas solares.

¿Dónde estaban las manchas solares?

El ciclo de once años modula toda la actividad del astro, motivo por el que entenderlo y predecirlo constituye una de las metas principales de la física solar. Hasta ahora, la comunidad se había concentrado en predecir los períodos de mayor actividad; sin embargo, durante el último mínimo fuimos testigos de un fenómeno del todo inusual: la ausencia casi total de manchas durante casi tres años y los valores más bajos del campo magnético polar durante un mínimo. Se trataba de la segunda vez en un período de más de cien años que se observaba un mínimo de esta naturaleza. A su vez, ello redujo la irradiancia solar y batió todos los mínimos de velocidad, energía y densidad del viento solar.

En medio de la sorpresa e incertidumbre, nuestro grupo de investigación deci-

dió aprovechar el desarrollo reciente de un modelo mejorado del ciclo solar para estudiar las causas que pudieran haber originado dicho mínimo. De todos los procesos que toman parte en el ciclo (convección, rotación diferencial, flujo meridional y erupción de manchas solares), el de mayor variabilidad es el flujo meridional, motivo por el que decidimos estudiar el impacto de los cambios en su amplitud. Desafortunadamente, no existen observaciones del flujo meridional que abarquen más de un ciclo. Para salvar ese obstáculo, simulamos un conjunto de ciclos variando el flujo meridional de manera aleatoria, lo cual nos permitió investigar bajo qué condiciones se producía un mínimo solar profundo.

Nuestras simulaciones, cuyos resultados se publicaron el pasado marzo en *Nature*, mostraron que un flujo meridional relativamente rápido durante la primera mitad del ciclo solar y cuya velocidad se redujese tras pasar el máximo daba como resultado a un mínimo solar de larga duración. La razón se debe a que un flujo meridional rápido reduce el tiempo del que la rotación diferencial dispone para generar los cinturones de campo que, a la postre, originan las manchas solares. Si, además, el flujo reduce

su velocidad después del máximo (el punto a partir del cual se empiezan a generar los cinturones que darán lugar al siguiente ciclo), se demora la llegada del siguiente período de actividad. Por tanto, la prolongada ausencia de manchas solares puede explicarse como el resultado de un ciclo que terminó prematuramente y otro cuyo comienzo se demoró en llegar.

El reciente mínimo extendido nos ha demostrado que las predicciones del ciclo solar no pueden limitarse a su amplitud, sino que es necesario también predecir su duración y comienzo, ya que estas tres propiedades se encuentran íntimamente conectadas. El problema radica en que unas predicciones fiables requieren mediciones a largo plazo del flujo meridional, las cuales resultaban muy difíciles de obtener con anterioridad a 1996. Por fortuna, los enormes avances en las técnicas de observación y en la calidad de las simulaciones a lo largo de los últimos diez años auguran un futuro brillante a nuestro entendimiento y capacidad de predicción del ciclo magnético solar.

—Andrés Muñoz Jaramillo
Centro Harvard-Smithsonian
de Astrofísica
Cambridge, EE.UU.



Suscríbese a
**INVESTIGACIÓN
Y CIENCIA
DIGITAL**
y acceda al contenido completo
de todos los números (en pdf)
publicados desde 1996

- Cada mes, durante el período de suscripción, recibirá una notificación por correo electrónico informándole de la disponibilidad de la nueva revista.
- Podrá acceder a los ejemplares en cualquier momento y en cualquier lugar.

www.investigacionyciencia.es