

RECONSTRUCCIÓN DE LA HISTORIA DE LA ACTIVIDAD MAGNÉTICA SOLAR MEDIANTE LOS ISÓTOPOS COSMOGÉNICOS BERILIO 10 Y CARBONO 14

Pilares científicos

Las manchas solares son la manifestación más conocida de la actividad magnética del Sol, que también se manifiesta en forma de explosiones que liberan energía y de eyecciones de materia al espacio interplanetario. El Sol presenta un ciclo de once años, a lo largo del cual su actividad magnética varía entre un mínimo y un máximo. Sabemos que, superpuestos a este ciclo de once años, hay otros de períodos más largos cuyo origen es aún incierto.

El primer astrónomo que estudió con un telescopio las manchas solares fue Galileo Galilei. Entre 1645 (Galileo murió en 1642) y 1715 apenas se observaron unas cincuenta manchas en lugar de los miles de ellas que deberían haberse visto en este tiempo. Este periodo se conoce como "mínimo de Maunder" y coincidió con la parte más fría de la llamada pequeña Edad de Hielo de los siglos XV al XVII, durante la que Europa y América del Norte sufrieron inviernos especialmente rigurosos y los glaciares de los Alpes avanzaron. De manera natural surge la pregunta: ¿Ha habido a lo largo de la historia otros episodios similares al mínimo de Maunder? ¿Es posible saber cómo se comportaba el Sol magnéticamente antes del comienzo de las observaciones telescópicas del siglo XVII? La respuesta es sí, pero no a partir de documentos, ya que no había un seguimiento del número de manchas solares antes de la invención del telescopio. La clave reside en

emplear métodos indirectos basados, por ejemplo, en los isótopos cosmogénicos carbono 14 (C^{14}) y berilio 10 (Be^{10}).

Los isótopos radiactivos C^{14} y Be^{10} se denominan isótopos cosmogénicos porque se originan en reacciones nucleares iniciadas por los rayos cósmicos al impactar contra átomos de la atmósfera (en este caso, contra núcleos de nitrógeno y oxígeno).

Los rayos cósmicos (partículas cargadas eléctricamente que se originan en eventos catastróficos como explosiones de supernovas) viajan por la galaxia con velocidades próximas a la de la luz y siguiendo las líneas de campo magnético. Antes de poder penetrar en la atmósfera terrestre para dar lugar a las reacciones que generan isótopos cosmogénicos han de atravesar dos barreras: la heliosfera (la región que se encuentra bajo la influencia del viento solar y su campo magnético y que se extiende más allá de la órbita de Plutón), y la magnetosfera terrestre (región formada por la interacción del campo magnético terrestre con el viento solar y que envuelve a la Tierra). La magnetosfera es un escudo que rodea la Tierra y la protege de la entrada de partículas cargadas, como las del viento solar y los rayos cósmicos. Si no fuese por la magnetosfera es posible que la Tierra hubiese perdido sus océanos y gran parte de su atmósfera hace millones de años. La magnetosfera desvía las partículas cargadas hacia los polos magnéticos (donde el campo magnético dipolar terrestre es más

débil) y algunas logran entrar, dando lugar a las auroras si se trata de partículas del viento solar y a la formación de isótopos cosmogénicos si se trata de rayos cósmicos. El C^{14} y el Be^{10} son especialmente interesantes para la reconstrucción de la actividad magnética solar en el pasado. Ambos núcleos se producen sobre todo a alturas de entre nueve y quince kilómetros y preferentemente a altas latitudes geomagnéticas, y tanto la manera de crearse como el ritmo de producción son similares. El ritmo de producción de C^{14} y Be^{10} en la atmósfera depende de cuán efectivo sea el apantallamiento que ejerce el campo magnético de la magnetosfera, ligado al campo magnético solar a través del viento solar, que arrastra consigo campo magnético desde la corona del Sol.

Analizando la concentración de C^{14} y Be^{10} en testigos de hielo de la Antártida y de Groenlandia y comparando con la concentración de C^{14} en anillos de árboles muy antiguos, el equipo dirigido por Jürg Beer en la ETH de Zurich (con participación del autor) ha reconstruido la actividad magnética del Sol hasta algo más de diez mil años hacia atrás. Hemos observado en la serie temporal obtenida muchos grandes mínimos en la actividad magnética, similares al mínimo de Maunder coincidente con la pequeña Edad de Hielo. Así pues, podemos concluir que la falta de manchas solares durante periodos prolongados ha sido algo habitual en la historia magnética del Sol, al menos en los últimos diez mil años.

Incertidumbres

En el análisis de la serie temporal reconstruida a partir de la abundancia de Be^{10} aparecen otros periodos. Además del conocido de once años, hay un periodo de unos dos mil doscientos años (Hallstatt), otro de novecientos ochenta años y otro de doscientos años (de Vries). No había ninguna teoría para explicar el origen de estas (y otras) periodicidades. Nuestro grupo propuso a finales de 2012 que una posible explicación podría hallarse en las (débiles) fuerza de marea ejercidas por los planetas sobre una región del interior del

Sol llamada "tacoclina". Se trata de una región de transición (de no más de diez mil kilómetros de espesor) situada a unos doscientos mil kilómetros por debajo de la superficie visible. La tacoclina sería una capa límite en doble sentido: por un lado, establece la transición entre un régimen de rotación rígida (por debajo) y un régimen de rotación diferencial (por encima); por otro, sería la región de transición entre un régimen de transporte de energía por radiación (fotones) justo por debajo y un régimen de transporte de energía por convección turbulenta justo por encima. Desde la década de 1980 muchos físicos solares creen que podría ser la zona de almacenamiento del

campo magnético toroidal que, como consecuencia de ciertas inestabilidades, es expulsado hacia la superficie para dar lugar a las manchas solares. Si bien las fuerzas de marea debidas a los planetas son muy débiles, para poder explicar la desaparición de las manchas solares (y la consiguiente aparición de un gran mínimo o mínimo de Maunder) sería suficiente producir una variación de la estratificación de la entropía en la tacoclina de una parte por cien mil. Este es un tema de discusión y se han publicado varios artículos al respecto, unos a favor y otros en contra de esta "hipótesis planetaria" para algunos de los periodos de más de once años.