

# Eyecciones de masa coronal

## ¿Son realmente un peligro?

El Sol es la fuente de nuestra energía y de la vida en la Tierra. Y ello es así porque estamos en lo que los astrónomos denominan zona "ricitos de oro", es decir, la zona de habitabilidad donde el agua es líquida. Demasiado cerca y no tendríamos agua, demasiado lejos y todo sería hielo.

Pero también es una zona peligrosa. Peligrosa por estar relativamente cerca de nuestra estrella. Tan cerca como para que, cuando "se enfada" nos lleguen los "escupitajos".

Lejos de ser un astro calmado, el Sol tiene una vida activa, intensa y violenta. Estamos acostumbrados a oír hablar de los ciclos de once años, en los que, más o menos periódicamente, pasa de la calma a la actividad y viceversa. Esa actividad viene acompañada por la aparición de las llamadas manchas solares (en realidad zonas algo "más frías" en su superficie) que están conectadas a intensos campos magnéticos. Estos intensos campos pueden ir acompañados de plasma solar y al reconectarse las líneas magnéticas de dichos campos, expulsar importantes cantidades de dicho plasma.

En función de la posición sobre la superficie solar de las manchas a partir de las cuales puede iniciarse el proceso que lleve a la expulsión de masa coronal, esta puede o no alcanzar la Tierra. Así pues, teniendo en cuenta el ángulo sólido que representa la sección de la Tierra en relación con la superficie total del Sol, las probabilidades de impacto de la citada masa son más bien escasas. Aunque evidentemente la probabilidad no es cero, ni mucho menos.

Por otra parte, la Tierra cuenta con un escudo protector, su campo magnético, que se opone y desvía las partículas cargadas eléctricamente protegiéndonos de sus efectos (no solo en los casos de eyecciones de masa coronal, sino también del viento solar, mucho menos intenso pero permanente).

Esta protección es perfectamente válida para eyecciones de energías inferiores a  $10^{32}$  ergios\* que son las más habituales, las comunes, pero cuando se alcanzan o superan tales niveles, nuestro campo magnético puede tener dificultades.

No, eso no significa que la radiación vaya a afectarnos directamente. Únicamente los astronautas que están en la Estación Espacial se ven obligados a tomar algunas precauciones, como por ejemplo no realizar actividades fuera de la misma, o en los casos más extremos buscar refugio en una zona protegida de la estación y especialmente diseñada para ello.

Pero si nos afecta indirectamente. La sobrecarga de nuestro campo magnético puede provocar corrientes inducidas en equipos, como por ejemplo los satélites artificiales (comunicaciones, GPS, militares,...) inutilizándolos temporalmente, dañándolos o dejándolos totalmente inservibles. Si la llamarada solar es muy importante, son posibles también consecuencias en la superficie terrestre. Las corrientes inducidas en el cableado eléctrico, telefónico, e incluso en las tuberías de oleoductos o gaseoductos pueden causar desperfectos.

Ejemplos de ello son los problemas que ocasiono un episodio acaecido en 1989, en que la desestabilización del sistema eléctrico canadiense dejó a 6 millones de personas sin electricidad durante nueve horas. En noviembre de 2003 quedaron también sin suministro eléctrico 50.000 suecos.

El evento de 1989 se situaría en los valores bajos del nivel de  $10^{32}$  ergios. Un evento anterior, el llamado evento "Carrington" (por el astrónomo que describió con detalle los hechos), también situado en el nivel energético de  $10^{32}$  ergios pero en una banda más alta, tuvo efectos mucho más notorios, pero limitados a la tecnología existente en el momento.

El evento "Carrington" sucedió en 1859, por lo que la tecnología afectada resultó ser, únicamente, el telégrafo, con apenas diez años de antigüedad. No obstante se registraron descargas, incendios de tendidos e instalaciones y destrucción de algunas de ellas, debidas a las corrientes inducidas en las mismas.

Una de las formas de medir la intensidad de la tormentas magnéticas generadas es el índice dst (disturbance storm time) que da una medida de la variación del campo magnético. En días de calma este índice es "0". La escala establecida en función de dicho índice nos dice que para tormentas magnéticas débiles el dst estará entre -30 nT y -50 nT, para moderadas entre -50 nT y -100 nT, y para intensas será mayor de -100 nT (nT=nano teslas).

En el caso del evento de 1989 del dst se situó en -540 nT, y se calcula que para el evento de Carrington estaría situado entre -800 nT y -1760 nT, lo que nos da una idea aproximada del impacto que el evento habría tenido de darse en la actualidad. En 2012 esquivamos por poco un evento parecido al Carrington. En julio de ese año una eyección de masa coronal cruzó la órbita terrestre en el punto donde había estado la Tierra una semana antes. Dado que tuvimos la suerte de disponer en tal lugar de un satélite dedicado al estudio de estos eventos (debidamente protegido para soportar los efectos de la radiación), podemos saber que el nivel que habría alcanzado la tormenta magnética de haber alcanzado la Tierra situaría el índice dst en -1200 nT, es decir un equivalente al evento Carrington.

¿Es posible que se den eventos aún más potentes? Para responder a tal pregunta se ha recurrido al estudio de otras estrellas del mismo tipo que el Sol y de características similares (giro lento con periodo mayor de 10 días, temperatura de superficie de entre 5.600 a 6000 K). Al observar un gran número de ellas podemos sacar conclusiones correspondientes a un periodo de vida largo de dichas estrellas. Las conclusiones preliminares (hacen falta más estudios para descartar posibles dudas) nos indican que sí, que llamaradas solares de mayor intensidad se dan en este tipo de estrellas.

No son frecuentes, pero se han observado las suficientes como para prever que, estadísticamente, son esperables llamaradas solares de entre  $10^{33}$  y  $10^{35}$  ergios, con una frecuencia para las primeras de unos 800 años y 5000 años para las segundas (aunque esta última cifra es más imprecisa). Eso no significa que cada 800 años, o cada 5000 años estemos sometidos al bombardeo de una eyección coronal. En primer lugar porque son periodos medios que pueden tener importantes desviaciones, y en segundo porque, cuando se dan, tiene que coincidir la trayectoria de la eyección con la posición de la Tierra. Pero lo cierto es que, aunque el periodo efectivo sea mayor, la Tierra es impactada por potentes eyecciones.

El estudio es más amplio. Se evalúa la incidencia de la existencia de planetas tipo Júpiter, en órbitas interiores cercanas a la estrella, como posibles desencadenantes de tales eventos, valorándose que la posible influencia de estos es mínima (si existe). También se estudia y no se descarta (faltan estudios más profundos) una posible vinculación entre tales eventos altamente energéticos y los largos periodos previos de inactividad como el mínimo de Maunder (periodo desde 1645 a 1715 en que el Sol tuvo una actividad extremadamente

reducida. Se le asocia a la llamada pequeña edad de hielo, ya que en dicho periodo las temperaturas medias, especialmente las invernales, fueron más bajas. Sin embargo la relación no está plenamente establecida). Tales periodos de mínima actividad corresponderían a un proceso de acumulación de energía en las capas internas del Sol que, posteriormente y no necesariamente de forma inmediata, alimentarían los eventos más energéticos.

Un posible ejemplo de tales casos sería el conocido como evento "Carlomagno", correspondiente al periodo de los años 774 y 775. El hallazgo de tasas mayores de carbono-14 en cedros japoneses de ese periodo (el nivel atmosférico del carbono-14 aumentó un 1,2%, consecuencia de la conversión de nitrógeno en carbono debido al impacto de la radiación extra) apunta a tal evento. La otra causa posible de este efecto sería una supernova cercana (100 años luz), pero en tal caso deberíamos ver en el cielo los restos de tal explosión (que serían más que notorios).

Los cálculos para el llamado evento "Carlomagno" sitúan su nivel energético entre 10 y 20 veces el evento "Carrington", es decir del orden de los  $10^{33}$  ergios, es decir, se trataría de un evento de periodicidad de 800 años. ¿Quiere esto decir que hemos ya sobrepasado la media y es esperable la repetición de tal evento en cualquier momento? No, en absoluto. Como ya he dicho estos valores son medios, pero con grandes desviaciones, y además tampoco sabemos si ya se ha producido algún otro evento de similares características a lo largo de los años transcurridos desde las citadas fechas. Solo desde épocas muy recientes tenemos un verdadero control de la actividad solar, por lo que no disponemos de información completa sobre la misma a lo largo de la historia, y la constatación indirecta (como en el caso del exceso de carbono-14) solo es posible si la eyección impacta sobre la Tierra. No podemos saber si se ha producido tal eyección si su trayectoria no incide en nuestro planeta.

Lo que no podemos es descartar que en el futuro se dé el evento. Es más, podemos afirmar que se dará, aunque no sepamos cuando.

¿Qué incidencia directa tienen tales eventos sobre la vida en la Tierra? Prácticamente nulos. Es verdad que existen estudios que relacionan un exceso de incidencia de protones energéticos con modificaciones climáticas. Concretamente, favorecerían la presencia de nubes y con ello la disminución de la media de las temperaturas

(pero estamos hablando de efectos más bien puntuales, de poca duración). El aumento de la radiación podría, en el peor de los casos, aumentar ligeramente el porcentaje de cáncer atribuible a ella. Los más afectados serían, como ya se ha comentado, los astronautas, y en segundo lugar los viajeros de largos trayectos aéreos, que podrían recibir la radiación equivalente a cien radiografías (Si el evento fuera lo suficientemente importante los vuelos tendrían que suspenderse, puesto que se verían afectadas las comunicaciones, los radares y el GPS). Por esto mismo es por lo que, aunque se hayan dado tales eventos en tiempos históricos antiguos, carecemos de constancia ya que los coetáneos de los sucesos no pudieron percatarse de ello.

¿Qué ha cambiado? ¿Por qué ahora si es importante y merece nuestra preocupación? Lo que ha cambiado es nuestra tecnología. Es ella la que es susceptible a los efectos de estos eventos. Si en 1859 solo resultaron afectadas las instalaciones telegráficas es porque solo estas existían.

Hoy, la red eléctrica, la telefónica, los sistemas de comunicación que utilizan las ondas de radio, los propios satélites que dan cobertura, el GPS y un largo etcétera de alta tecnología, es susceptible a que dar dañada, seriamente dañada e incluso destruida (en función de la energía del evento). Nuestra sociedad tiene una dependencia tal de tales medios que, en el peor de los casos, puede verse abocada a su propia destrucción. Pensemos que la dependencia de la electricidad para la vida cotidiana es total. Desde el suministro de productos básicos (sin las bombas que nos hagan llegar el agua, o el combustible para el transporte, en pocos días las ciudades se verían carentes de agua y comida), hasta la simple actividad comercial (sin dinero, sin tarjetas de crédito ¿Cómo sigue funcionando la actividad comercial?).

La red de distribución eléctrica es uno de los puntos más débiles ante esta eventualidad. Las centrales pueden desconectarse de la red (Existe un preaviso de un mínimo de 13 horas. Es justo, muy justo, pero podría ser suficiente para salvar parte de las instalaciones). El problema es la propia red de distribución. Cuanto más largas sean las líneas, más carga inducida generan. Y dentro de ella, los transformadores pueden ser los más afectados y lo más difícil de sustituir. Según los daños causados, podrían tardarse meses, incluso años. En este caso, serían los países del tercer mundo, aquellos que hoy consideramos como los más atrasados, los que menos notarían el impacto de la catástrofe.

Podría extenderme mucho evaluando las consecuencias (lógicamente estas dependen de la intensidad del evento), porque estamos ante una cadena de acontecimientos con muchas implicaciones. Pero creo que cualquiera que medite con un mínimo de seriedad sobre el tema, se dará cuenta de lo extremadamente grave que podría llegar a ser.

No obstante quiero hacer referencia a una cuestión que recientemente se ha puesto sobre la mesa, y que por su gravedad merece atención especial. Como ya he indicado, una de las prácticas habituales para salvaguardar las centrales eléctricas frente a estos impactos es la desconexión de la misma de la red, lo que implica su apagado. Ello ocurre frente a cualquier sobrecarga de dicha red, con independencia de su causa.

En el caso de las centrales nucleares el proceso es más complejo ya que el apagado de las mismas requiere mantener un aporte energético externo para siga funcionando el sistema de refrigeración del núcleo durante un cierto tiempo. Se plantea en este caso que, ante un evento de gran magnitud, que dejara inhabilitada la red eléctrica por largo tiempo, y con ella muchos de los servicios esenciales, no sería posible mantener el sistema de refrigeración de las centrales nucleares (disponen de generadores eléctricos alimentados por combustibles fósiles, pero la reserva de dichos combustibles es limitada. Ante una situación general de desabastecimiento es totalmente imposible garantizar el suministro necesario a dichas centrales). A ello hay que añadir la necesidad de mantener también refrigerados los residuos nucleares que habitualmente están almacenados provisionalmente (una provisionalidad "sine die" al carecer de solución definitiva para tales residuos). ¿Qué ocurre cuando no podemos mantener dicha refrigeración? El ejemplo lo tenemos en Chernóbil y en Fukushima, agravado por el hecho que no dispondremos de medios para intentar su contención como fue en ambos casos. Y más grave aún, el problema se puede repetir en las, aproximadamente, 500 centrales nucleares repartidas por el mundo.

¿Podría desencadenar un evento de extinción humana? Depende de cómo entendamos este concepto. Si lo que pretendemos decir es que desaparecerá el ser humano de la superficie de la Tierra, la respuesta es no. Si lo que entendemos como posible es la desaparición de la actual civilización, es indiscutiblemente posible. El desmoronamiento de la estructura social actual conllevaría la muerte de miles, cientos de miles, de millones de personas, en una espiral atroz. A las fases

iniciales de falta de elementos básicos (agua y comida), habría que añadir la pérdida de recursos sanitarios, con la consiguiente propagación de epidemias y enfermedades que no podrían ser atendidas. Las zonas con más capacidad de supervivencia serían las rurales y aisladas que cuenten aún con capacidad autónoma (recursos de la tierra). El grado de destrucción de la civilización sería directamente proporcional al impacto del evento solar. El retroceso a una situación preindustrial es bastante previsible. La posibilidad posterior de recuperar medios, técnicas y conocimientos es ya historia-ficción, y cada cual puede hacer sus elucubraciones.

¿Pueden tomarse medidas preventivas? Sí, estamos en disposición de tomar medidas preventivas, si existe la voluntad para ello. Por una parte, el estudio de la climatología solar nos puede aportar conocimientos necesarios para prevenir con tiempo suficiente tales eventos, y así disponer del lapso necesario para tomar medidas de protección. Por otra, si la red de distribución eléctrica (criterio extensible a otras redes como las de comunicaciones, o equipos) fueran protegidas por blindajes Faraday, la incidencia de tales eventos podría ser mínima, sino nula. Las jaulas Faraday se usan para la protección de equipos delicados frente a la interferencia de campos electromagnéticos. Aunque los aviones son alcanzados frecuentemente por rayos, al cruzar tormentas, las consecuencias para los mismos son muy escasas. Ello es debido precisamente a este principio de física. Así pues, disponemos de la tecnología para proteger las instalaciones. El problema, como siempre, es el coste. Eventos de frecuencia muy baja no son considerados prioritarios cuando los costes para su protección son altos. Es un criterio general, que se aplica de forma habitual. Lo que no se tiene en cuenta es que, aunque la probabilidad de su ocurrencia es baja, aumenta con el tiempo, y que cuando se dé puede representar el fin de nuestra civilización. Desgraciadamente, como también es habitual, pesa más el beneficio a corto plazo.

**\*Nota:** Es muy difícil hacerse una idea de estas enormes cantidades. En un intento, no sé si logrado, de acercar la percepción de tales cantidades, pongo a continuación una pequeña comparativa de las mismas (las citadas en el texto) en relación con la producción total de energía correspondiente al año 2011 (suma de la producción anual de todos los países del mundo):

$10^{32}$  ergios → Dieciocho mil millones de veces la producción de 2011

$10^{33}$  ergios → Ciento ochenta mil millones de veces la producción de 2011

$10^{34}$  ergios → Un billón ochocientos mil millones de veces la producción de 2011

$10^{35}$  ergios → Dieciocho billones de veces la producción de 2011