



ieeee.es
Instituto Español de Estudios Estratégicos

USC
UNIVERSIDADE
DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA

CESEG
CENTRO DE ESTUDOS DE SEGURIDADE



Documento de Investigación 08/2018

Programa de «Trabajo de Futuros»

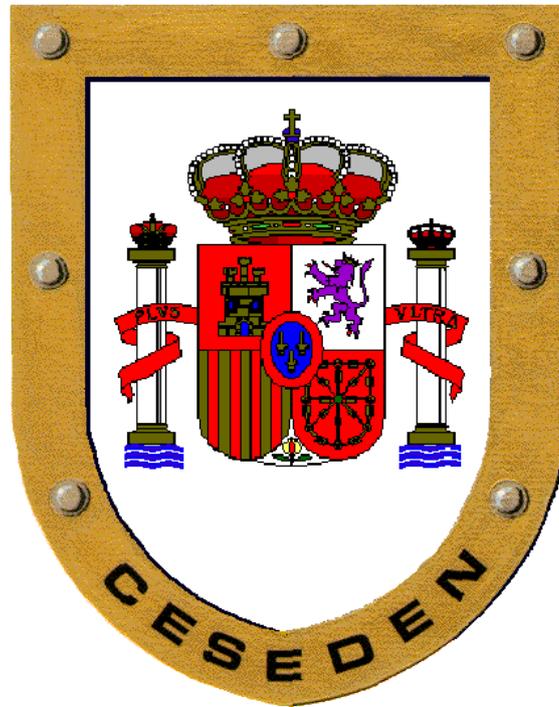
—
«Panorama de tendencias geopolíticas»

-
Tormentas solares geomagnéticas: la amenaza silenciosa de una sociedad hipertecnológica

-
Solar geomagnetic storms: the silent threat of a hypertechnological society

Organismo solicitante del estudio:
Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE)

Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional
(CESEDEN)



Trabajo maquetado, en junio de 2018, por el Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE).

NOTA: Las ideas y opiniones contenidas en este documento son de responsabilidad del autor, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del Ministerio de Defensa, del CESEDEN o del IEEE.

Tormentas solares geomagnéticas: la amenaza silenciosa de una sociedad hipertecnológica

Solar geomagnetic storms: the silent threat of a hypertechnological society

Jorge Eiras Barca

*Grupo de Física No Lineal. Universidade de Santiago de Compostela.
Centro de Estudios da Seguridade, Universidade de Santiago de Compostela.
Alférez de Fragata (RV), EMA-LOG, Armada Española*

Resumen

Las tormentas solares geomagnéticas (TSG), causadas por llamaradas solares o eyecciones de masa coronaria procedentes del Sol pueden causar problemas graves en la electrónica, las comunicaciones y el suministro eléctrico del Planeta. Este informe analiza la probabilidad de la ocurrencia a corto plazo de una TSG similar a las documentadas en la Historia de la humanidad, así como los posibles efectos sobre la sociedad actual y futura. En general, se da constancia de que la probabilidad de que un evento solar intenso, de consecuencia severas, afecte a la Tierra en la próxima década es de un 12%. De ocurrir un evento de este estilo con las medidas de protección actuales, las comunicaciones, el suministro eléctrico, el suministro de agua y la seguridad podrían verse seriamente comprometidas. Se propone la creación de contramedidas y protocolos de actuación que permitan mitigar los efectos de un evento como el descrito.

Palabras Clave

Geopolítica, Tendencias, Futuro, Tormentas, Solares Geomagnéticas, Sociedad, Comunicaciones, Infraestructuras Críticas.

Abstract

Solar geomagnetic storms (SGSs) caused by solar flares or coronary mass ejections from the Sun can cause serious problems in the electronics, communications and electricity supply of the Planet. This report analyzes the probability of the short-term occurrence of a TSG similar to those documented in the History of Humanity, as well as the possible effects on the society. In general, it is recorded that the probability of an intense solar event, of severe consequence, affecting the Earth in the next decade is 12%. Should such an event occur with current protection measures, communications, power supply, water supply and security could be seriously compromised. The creation of countermeasures and action protocols that mitigate the effects of an event such as the one described is proposed.

Keywords

Geopolitics, Trends, Future, Geomagnetic Solar Storms, Society, Communications, Critical Infrastructures.

Introducción

El día 01 de septiembre del año 1859, una intensa tormenta solar geomagnética (en adelante, TSG), conocida posteriormente como «Evento Carrington» (e.g. Cliver 2006; Tsurutani et al., 2003) impactaba en la Tierra procedente del Sol. Como causa de esta llamarada solar que afectó a nuestro planeta, existe documentación sobre la observación de auroras boreales en latitudes medias (e.g. Madrid) e incluso tropicales (e.g. Hawaii). Entre los efectos adversos causados por dicho evento, destacan los que tuvieron lugar sobre la bisona línea de morse instalada en EE. UU., en la que ardieron varias estaciones, hiriendo a varios teleoperadores, y quedando inoperativa durante días. La ionización de la atmósfera fue tal que las estaciones que no habían quedado dañadas funcionaban sin necesidad de alimentación eléctrica (Boteler, 2006; Aplin and Harrison, 2014).

El evento Carrington responde a un caso especialmente intenso de viento solar causado por una TSG con origen en una llamarada solar (o eyección de masa coronaria, EMC) de una anomalía relativamente intensa. El viento solar (partículas de masa solar que llegan a la atmósfera terrestre, generalmente protones y núcleos de Helio) afecta a la Tierra constantemente, generando las conocidas auroras polares y boreales. La intensidad habitual de estos eventos es insuficiente como para causar problemas en la superficie de la Tierra. Esto es debido a que el campo magnético terrestre tiene capacidad para desviar el viento solar hacia los polos terrestres, actuando como escudo protector de la mayor parte del planeta.

Sin embargo, con una relativa frecuencia, que será estudiada en secciones posteriores de este artículo, la fenomenología presenta una intensidad tal que el campo magnético terrestre no tiene capacidad suficiente para «contener» el viento solar; afectando este a la superficie terrestre. Tal es el caso del comentado Evento Carrington, reconocido por algunos autores como el evento más destacado de los últimos 450 años (e.g. Townsend et al., 2003; Tsurutani et al., 2003, Shea et al., 2006). Un evento de este estilo tiene capacidad para generar una corriente superficial en la superficie terrestre, causando daños irreparables a la electrónica de las zonas más afectadas. Estos daños se verían, además, multiplicados en el caso de la red satelital y los elementos de las misiones espaciales, mucho más expuesto que la electrónica en superficie.

Una TSG de la intensidad del Carrington es presumiblemente muy frecuente tomando como referencia la escala temporal de la vida del Sol. Si bien es cierto que desde que existe registro (directo o indirecto) de la actividad solar sólo se ha constatado un evento de estas características; es absolutamente previsible que vuelva a ocurrir relativamente pronto. En esto términos, la cuestión no es si va a pasar, sino cuándo, cómo afectará a nuestra civilización, y qué se puede hacer al respecto.

La llamarada solar como evento físico

El Sol es una estrella de clase G-V que presenta un ciclo de actividad de alta frecuencia de 11 años. Durante el máximo de este ciclo se produce una actividad especialmente intensa, apreciable por la frecuencia relativamente alta en la aparición de manchas solares, en las que la probabilidad de que se produzcan EMCs hacia el espacio, causando tormentas solares en los planetas que lo orbitan, se maximiza. El último máximo de actividad se produjo en el año 2014.

No es tan pertinente en este artículo comentar las causas por las que se producen este tipo de eventos en el Sol, como comentar la manera en la que puede afectar a la Tierra. Cuando se produce una EMC se liberan al espacio una cantidad desmesurada de masa procedente de la corona solar; frecuentemente protones, neutrones y núcleos de Helio. Análogamente al caso de un disparo hecho al aire, que puede dar a un pájaro o no; esta materia puede encontrarse con la Tierra en su trayectoria, o no hacerlo. De hacerlo, aproximadamente entre 17 horas (podría ser menos) y un par de días después se comenzarían a notar los efectos en la superficie terrestre de la perturbación del campo magnético causado por la llegada de esta materia. Unas horas después llegaría también directamente el plasma solar, aunque muy atenuado por la propia atmósfera terrestre.

El campo magnético ionizaría la atmósfera y crearía una corriente superficial (Ley de Faraday) con una cierta capacidad para dañar cualquier circuito electrónico que se encontrara en funcionamiento, particularmente los transformadores de la red eléctrica. Los detalles al respecto de estas consecuencias serán comentados en la sección posterior. La EMC sería en principio detectada por la red satelital de observación solar (STEREO) casi de forma inmediata, dando, con ello, un cierto tiempo de respuesta. Además, la aparición frecuente de manchas en la superficie del Sol podría dar un indicio de una actividad anómala con varios días de antelación.

La Figura 1, extraída de Schrijver and Beer (2014) muestra la frecuencia de aparición de llamaradas solares en función de la energía de estas. Se observa en dicha figura que las llamaradas son un evento totalmente frecuente, que afectan a la Tierra habitualmente. La cuestión clave sería la intensidad de estos eventos. Un evento similar al Carrington (Actividad > 30 MeV, Energía = 10^{32} - 10^3 Ergs) se estima que podría afectar a la Tierra cada 400-500 años. En dicha Figura también se muestra la hipótesis de la posible existencia de «superllamaradas» (zona sombreada), con una energía muy superior a la del Carrington. De hecho, existe cierta constancia de la existencia de dos llamaradas de intensidad superior a la Carrington, en los años 775 y 993. En todo caso, la posibilidad de la existencia de estas superllamaradas presenta todavía una cierta controversia dentro de la comunidad científica (Shibata et al., 2013). Por ello, lo más razonable por el momento es identificar por el momento un Carrington como el peor de los escenarios posibles.

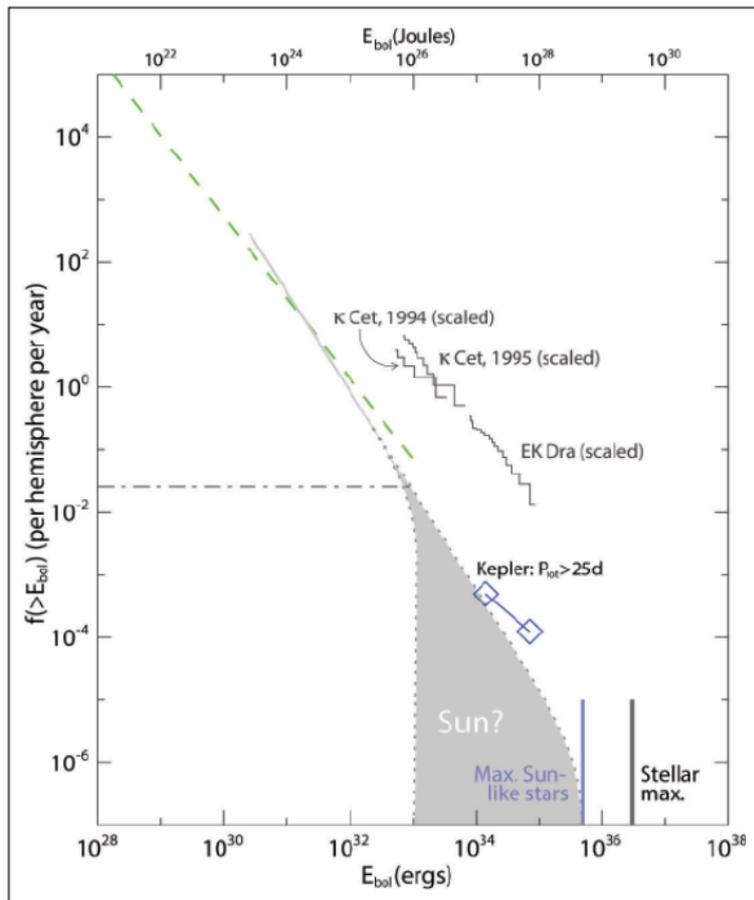


Figura 1 : Promedio de llamaradas solares emitidas por una estrella tipo Sol por hemisferio. Se representa frecuencia de emisión por hemisferio y año frente a la energía de llamarada presentada en Ergs y Julios. Fuente: Schrijver and Beer (2014).

El estudio de testigos de masa solar (isótopos cosmogénicos Be^{10} y Ca^{14}) que se depositan en las capas de hielo y en las cortezas de los árboles permite la reconstrucción paleoclimática de la vida del sol. Sin embargo, ha sido demostrado que los eventos del tipo de Carrington no dejan una huella detectable en los testigos de hielo (Rodger et al., 2008; Wolff et al., 2012; Cliever and Dietrich, 2013). Este hecho aumenta la incertidumbre sobre la frecuencia real de aparición de un evento de este tipo.

Posibles efectos de una TSG en la Tierra

Como se ha comentado, la Tierra se ve frecuentemente afectada por TSG producidas por EMC que se han encontrado con nuestro planeta en su trayectoria. Este es un factor de riesgo muy importante para las misiones espaciales y la red de satélites; que al contar con poca o nula protección de la atmósfera terrestre y el campo magnético reciben cantidades de radiación que hacen peligrar la vida de las tripulaciones y la electrónica de las mismas.

Junto con el eventual efecto de los rayos cósmicos procedentes de la explosión de supernovas, los posibles efectos adversos del viento solar son tenidos en cuenta en la programación de estas misiones.

También es frecuente que TSG muy inferiores al Carrington tengan consecuencias sobre la superficie terrestre. En los últimos años se han producido dos eventos destacables, el evento de Quebec del año 1989 así como los el evento de julio de 2012. El primero de ellos causó un apagón de más de 9 horas en toda la provincia de Quebec, al provocar incendios y cortocircuitos en cadena en los transformadores de corriente eléctrica. El evento de 2012 tuvo la intensidad del Carrington, pero no afectó a la Tierra por una semana; i.e.; si la Tierra hubiera estado en la posición de la órbita solar en la que se encontraba una semana antes, habría afectado de lleno (Philips, 2014). La *National Academy of Sciences* estimó que el evento de 2012, de haber afectado a la Tierra podría causar pérdidas valoradas en 20 veces los costes de la reconstrucción de los efectos del huracán Katrina. Obsérvese que ninguno de ellos se produjo en correlación con un máximo de actividad solar en el ciclo de once años.

El artículo *On the probability of occurrence of extreme space weather events* (Riley, 2012) estableció en un 12% la probabilidad de que un evento similar al Carrington afecte a la Tierra antes en la próxima década.

Existe un alto consenso en la comunidad científica en asumir que de producirse un Carrington actualmente, las consecuencias serían las siguientes:

Consecuencias que ocurrirían con alta probabilidad:

- La red satelital se vería dañada, al menos temporalmente. Las comunicaciones y la red GPS se verían seriamente comprometidas. Nótese la implicaciones para buques y aeronaves en navegación (Rodger et al., 2008).
- Se produciría un *radio blackout*, que afectaría las comunicaciones VHF y HF mientras durara una eventual ionización de la atmósfera. Nótese la implicaciones para buques y aeronaves en navegación.
- Las zonas directamente afectadas sufrirían incendios en los transformadores que podrían caer en cadena por «efecto dominó». Se produciría un apagón eléctrico. Las consecuencias y duración de este apagón variarían en función de las regiones afectadas, pero podrían ser de largo plazo.
- Las centrales nucleares verían comprometida su refrigeración. Posibilidad de parada fría.
- De perseverar el apagón, el suministro de agua (o su potabilidad) se vería interrumpido al cabo de unos días.
- Red de Internet comprometida.
- Se produciría una reducción de Ozono en la Mesosfera y Estratosfera, con el

consiguiente aumento de la radiación UV en la superficie terrestre (Calisto et al., 2013; Nicoll and Harrison, 2014).

Consecuencias que ocurrirían con una cierta probabilidad:

- Toda instrumentación electrónica en funcionamiento, no protegida por jaula de Faraday podría verse afectada en las zonas en las que el campo eléctrico en superficie fuese más intenso. Esto podría llegar a afectar a las centralitas electrónicas de algunos vehículos o incluso a algunos de los componentes de naves y aeronaves en navegación. Esta es una cuestión en discusión que ha de estudiarse en mayor profundidad.

Conclusiones y discusión

La dependencia de la sociedad actual frente al suministro eléctrico es absoluta. Un apagón masivo, aunque sea de unas horas y afecte únicamente a una región en concreto podría tener consecuencias graves. Si el evento de Quebec 1989 hubiera ocurrido un poco más abajo, (e.g., en Chicago), habría generado, con toda probabilidad, un caos social importante. Si además un evento de este estilo se produce con toda la magnitud con la que se puede producir (evento tipo Carrington), y afectando a una extensión muy superior, podríamos estar hablando de una situación que fácilmente devendría en el caos, durante un período de tiempo indeterminado. Adicionalmente, teniendo en cuenta otros factores que se podrían ver comprometidos, como la seguridad de las naves y aeronaves en navegación, el suministro de agua potable o la caída de las comunicaciones; ha de tomarse esta eventualidad como uno de los riesgos serios para la sociedad actual y futura. La eventual caída de los sistemas de defensa, posicionamiento y comunicaciones también plantea un serio reto para la seguridad nacional e internacional.

Las regiones del planeta más expuestas a estos eventos son las regiones cercanas a los círculos polares Ártico y Antártico. España se sitúa en latitudes medias, relativamente lejos de estas zonas de máxima exposición. Ello no implica, sin embargo, que un evento de intensidad suficiente pueda afectar al territorio nacional. Adicionalmente, en un contexto de dependencia globalizada de unas naciones con otras en lo referente a la red de comunicaciones, el suministro eléctrico y la defensa exponen a todas ellas prácticamente por igual.

Actualmente, sólo una pequeña parte de las naciones (particularmente Canadá, y más recientemente EE. UU.) cuentan con protocolos y planes de actuación en caso de producirse un evento de este estilo. La capacidad de respuesta, la rapidez para acometer las actuaciones que reparen el suministro eléctrico, la seguridad de las aeronaves en vuelo, y la disminución de la posibilidad de que la situación pudiera derivar en un caos irreparable dependen, en gran medida, de la existencia y eficacia de estos protocolos.

En la sociedad actual, en la que la dependencia tecnológica no se prevé que vaya a disminuir, la defensa ante este tipo de eventualidades tiene que venir determinada por la implantación de sistemas electrónicos preparados para ellas (sistemas que ya se encuentran patentados aunque no extendidos) y, sobre todo, por la existencia de protocolos de actuación. Estos protocolos deben ser sólidos, locales y conocidos tanto por los servicios públicos como por la población civil. Deben contemplar las actuaciones derivadas de las consecuencias más probables en caso que ocurra un evento similar al Carrington. Protocolos de actuación para el momento en el que sea detectado (e.g. apagón controlado, alerta de los servicios de emergencia, estado de alarma, etc.) y protocolos de actuación para el momento en que la Tierra se vea afectada por los mismos.

Es difícil determinar la dependencia tecnológica que presentará la sociedad del año 2050. En todo caso, salvo que un evento de este tipo haya afectado ya a la misma, o se haya determinado establecer un techo al desarrollo (cuestión harto improbable), ha de asumirse que esta dependencia será mayor de la que existe actualmente. De la misma manera que contamos con protocolos de actuación para contingencias relacionadas con la contención de la expansión de un virus, o un accidente de naturaleza nuclear no hay ningún motivo para no contar con un protocolo ante un evento de este tipo.

Nuestra sociedad tiene capacidad para sobrellevar y recuperarse de los efectos de una TSG de alta intensidad, pero las posibilidades de éxito ante esta eventualidad dependerán del grado de preparación acumulado contra ella. La incertidumbre derivada del desconocimiento de este fenómeno, asentado tanto entre la población como en los organismos públicos es el handicap más inconveniente. Los estamentos militares, policiales y civiles deben ser conscientes de la posibilidad de la existencia sobrevenida de un evento de esta naturaleza y contar con herramientas que permitan afrontar las consecuencias derivadas del mismo.

Bibliografía

- Aplin, K. L., & Harrison, R. G. (2014). Atmospheric electric fields during the Carrington flare. *Astronomy & Geophysics*, 55(5), 5-32.
- Boteler, D. H. (2006). The super storms of August/September 1859 and their effects on the telegraph system. *Advances in Space Research*, 38(2), 159-172.
- Calisto, M., Usoskin, I., & Rozanov, E. (2013). Influence of a Carrington-like event on the atmospheric chemistry, temperature and dynamics: revised. *Environmental Research Letters*, 8(4), 045010.
- Cliver, E. W., & Dietrich, W. F. (2013). The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A31.

- Cliver, E. W. (2006). The 1859 space weather event: Then and now. *Advances in Space Research*, 38(2), 119-129.
- Nicoll, K. A., & Harrison, R. G. (2014). Detection of lower tropospheric responses to solar energetic particles at midlatitudes. *Physical review letters*, 112(22), 225001.
- Phillips, T. (2014). Near miss: the solar superstorm of July 2012. *NASA Science*.
- Riley, P. (2012). On the probability of occurrence of extreme space weather events. *Space Weather*, 10(2).
- Rodger, C. J., Verronen, P. T., Clilverd, M. A., Seppälä, A., & Turunen, E. (2008). Atmospheric impact of the Carrington event solar protons. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D23).
- Shea, M. A., Smart, D. F., McCracken, K. G., Dreschhoff, G. A. M., & Spence, H. E. (2006). Solar proton events for 450 years: The Carrington event in perspective. *Advances in Space Research*, 38(2), 232-238.
- Schrijver, C. J., & Beer, J. (2014). Space weather from explosions on the Sun: how bad could it be?. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 95(24), 201-202.
- Shibata, K., Isobe, H., Hillier, A., Choudhuri, A. R., Maehara, H., Ishii, T. T., ... & Honda, S. (2013). Can superflares occur on our Sun? *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 65(3), 49.
- Townsend, L. W., Zapp, E. N., Stephens, D. L., & Hoff, J. L. (2003). Carrington flare of 1859 as a prototypical worst-case solar energetic particle event. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 50(6), 2307-2309.
- Tsurutani, B. T., Gonzalez, W. D., Lakhina, G. S., & Alex, S. (2003). The extreme magnetic storm of 1-2 September 1859. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 108(A7).

