

Fenómenos solares extremos: ¿cómo impactan en la Tierra?

El Sol, motor energético de nuestro sistema planetario, nos brinda luz y calor, pero también genera **fenómenos de gran intensidad** que impactan de manera directa en la vida de la **Tierra**. Estudiar estos eventos es crucial, ya que pueden suponer un riesgo para las redes eléctricas y los **satélites**, interrumpiendo tanto los suministros como las **comunicaciones**.

Cuando hablamos de **fenómenos solares extremos** nos referimos a **eventos energéticos de gran magnitud que tienen lugar en la atmósfera solar**. Se originan por la dinámica del campo magnético del Sol, que acumula energía por los movimientos convectivos del plasma en su interior. Cuando esta energía se libera de manera repentina, se producen **erupciones y eyecciones** que, al dirigirse a nuestro planeta, entran en interacción con la magnetosfera y **desencadenan tormentas geomagnéticas**, con claras consecuencias para la Tierra.

Estas tormentas inducen corrientes geomagnéticamente inducidas —**GIC**, por sus siglas en inglés— en las líneas de transmisión terrestre, que pueden sobrecargar transformadores y subestaciones. Además, las erupciones solares liberan radiación que puede perturbar la ionosfera terrestre, alterando las telecomunicaciones. Esto también afecta a los sistemas de posicionamiento global, porque dependen de la transmisión precisa de señales entre [satélites](#) y receptores de la **Tierra**.

Efectos en las redes eléctricas

Durante tormentas geomagnéticas intensas, los cambios acelerados en el campo magnético inducen campos eléctricos transitorios en la superficie terrestre, que generan las GIC. Cuando estas corrientes fluyen a través de transformadores de potencia, pueden provocar una saturación parcial de los equipos, lo que se traduce en **pérdidas de eficiencia**, generación de armónicos, calentamiento excesivo y, en algunos casos, daños en el aislamiento. En situaciones extremas, los transformadores pueden incluso arder.

Un ejemplo paradigmático ocurrió en Hydro-Quebec, Canadá, en marzo de 1989, cuando una tormenta geomagnética repentina provocó GIC que saturaron los transformadores, provocando un apagón masivo de 9 horas. Este evento ha sido utilizado como base para la modelización de riesgos y la formulación de **planes de resiliencia** en la actualidad.

El estudio [Global transformer overheating from geomagnetic storms](#), elaborado por expertos de Alliance to Feed the Earth in Disasters (ALLFED), estima los riesgos globales de sobrecalentamiento de transformadores de alta tensión en caso de tormentas solares extremas. Este informe sugiere que un evento solar de muy alta intensidad podría causar **interrupciones eléctricas prolongadas (meses o incluso años)** en ciertas regiones, especialmente en

aquellas que no cuentan con capacidad de reserva de transformadores.

Para mitigar los riesgos y reducir la exposición a las GIC, diversos estudios apuntan a la importancia de un diseño robusto de los transformadores, la implementación de sistemas de control y protección avanzados y la instalación de dispositivos de bloque de corriente continua.

Consecuencias para telecomunicaciones y sistemas de geolocalización

Las tormentas solares alteran la densidad electrónica de la ionosfera. Con ello, cambios bruscos en la ionización pueden degradar o interrumpir las comunicaciones en alta frecuencia —aviación, marítimo— según el [Observatorio de Dinámica Solar de la NASA](#), o impactar sobre las ondas de radio, desembocando en desvanecimientos, ruido o pérdidas de señal.

En cuanto al **sistema GPS**, la señal emitida por los satélites atraviesa la ionosfera antes de llegar a la superficie terrestre. Las variaciones de densidad electrónica hacen que se produzcan retrasos en la propagación de las señales, lo que reduce la precisión de la geolocalización. Durante tormentas solares, estos retrasos pueden generar errores de ubicación de varios metros o más, dependiendo de la intensidad del fenómeno. En ciertos casos, las eyecciones de radiación solar generan emisiones de radio que pueden inducir fallos o interrupciones en los receptores GPS.

Otros sistemas que se ven afectados son **los satélites**, que experimentan daños en sus componentes electrónicos, sistemas de orientación e incluso paneles solares debido a la mayor exposición a radiación solar. Esta supone una amenaza significativa, ya que muchas [infraestructuras críticas emplean GPS](#) no solo para la localización, sino también para sincronización temporal. La pérdida o distorsión del tiempo de referencia puede provocar errores de coordinación y fallos en sistemas de seguridad.

En mayo de 2024, se produjo una tormenta geomagnética denominada '**Gannon**'. Una serie de erupciones solares de alta potencia generaron una tormenta que alcanzó la Tierra. En ese evento, en los Estados Unidos, se registraron interrupciones de las señales GPS, degradación de la precisión en la localización y problemas de estabilidad de la señal debido a los efectos en la ionosfera. Aunque no se reportaron apagones masivos ni catástrofes eléctricas de gran escala, sí se detectaron anomalías y advertencias de riesgo para transformadores y redes eléctricas. Este fenómeno ha sido considerado uno de los más intensos de las últimas dos décadas, aportando valiosa información para la NASA.

Lecciones aprendidas

El análisis de estos eventos por parte de diversas instituciones, como el Centro de Predicción del Clima Espacial de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE. UU., revela que no todos los eventos severos provocan apagones, pero muchos de ellos generan fallos menores o

interrupciones temporales. Estos eventos, en conjunto, representan una amenaza significativa debido a los altos costos económicos y los impactos operativos. Además, se ha observado que los **sectores que dependen del GPS de alta precisión son particularmente vulnerables**, incluso ante perturbaciones menores.

Sin embargo, se ha comprobado que **la infraestructura crítica eléctrica de muchos países sí está lo suficientemente protegida**, aunque para eventos extremos, los daños y las consecuencias podrían ser severos y duraderos. Es en este contexto donde la detección temprana y las alertas espaciales cumplen un papel clave: los operadores de satélites, sistemas GPS, aerolíneas o redes eléctricas pueden tomar medidas preventivas si saben que un evento potente está en camino.

En conclusión, **los fenómenos solares extremos representan una amenaza creciente** para una sociedad cada vez más dependiente de las infraestructuras eléctricas y tecnológicas para las comunicaciones y la geolocalización. Aunque la magnetosfera terrestre actúa como un escudo natural, las tormentas solares intensas pueden causar daños significativos.

La inversión en sistemas de detección temprana, el diseño de redes eléctricas más resilientes y **la protección de infraestructuras críticas son esenciales** para mitigar los efectos de estos eventos cósmicos inevitables. Para ello, se requiere una **colaboración estrecha entre agencias espaciales, empresas tecnológicas y gobiernos** con el objetivo común de desarrollar e implementar estrategias de protección efectivas. En paralelo, la concienciación social también es importante, ya que la creciente dependencia tecnológica hace que la preparación ante estos fenómenos sea una responsabilidad compartida.