



BOLETÍN INFORMATIVO Y DE ANÁLISIS N° 30 / 2025
Santiago, 28 de agosto de 2025
METEOROLOGÍA ESPACIAL

Por **Álvaro Aguirre**, Director de Asuntos Espaciales.
10 Min. de lectura.



El Sol interactúa física y magnéticamente con todos los objetos del Sistema Solar, ya sean naturales o artificiales, con un nivel de actividad que sigue un ciclo de máximos y mínimos que se repiten aproximadamente cada 11 años y que da lugar a la meteorología espacial.

La meteorología espacial se refiere al estudio de las condiciones en el espacio que pueden influir en el entorno de la Tierra y otras regiones del sistema solar. Centra su atención en cómo la actividad solar, incluidos los flujos de partículas energéticas y los campos magnéticos, afecta el entorno espacial y tecnológico terrestre.

Los fenómenos como las tormentas solares, las eyecciones de masa coronal (CME), y el viento solar no solo afectan las operaciones espaciales y los satélites, sino también, pueden tener impactos significativos en las infraestructuras terrestres. Las tormentas geomagnéticas producidas por estas interacciones pueden provocar auroras, interferir con señales de radio, y dañar redes eléctricas.

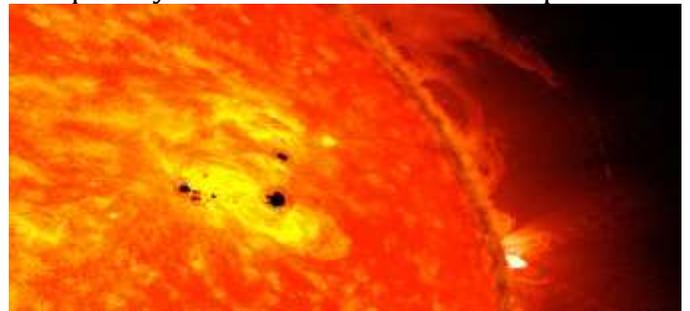
En las épocas de actividad máxima, los efectos físicos y magnéticos sobre la propia Tierra y sobre los dispositivos eléctricos y electrónicos, pueden tener un impacto significativo, incluso provocando daños. Entre los sistemas potencialmente afectados por la meteorología espacial, figuran la localización mediante GPS, las telecomunicaciones, las operaciones vía satélite, el seguimiento espacial, la radionavegación, las redes eléctricas y las redes de transporte de combustible.

En la actualidad, los riesgos derivados de la meteorología espacial son objeto de extensivos

estudios en varios países del mundo, tomando en consideración el análisis de eventos pasados y su posible impacto, caso de repetirse con mayor o menor intensidad, en los actuales sistemas tecnológicos cada vez más extensos e interdependientes.

Manchas solares.

Las manchas solares son áreas que se ven oscuras en la superficie del Sol, porque están más frías que otras partes de la superficie, sin embargo, la temperatura de una mancha solar es muy alta alrededor de 6.500 grados Fahrenheit, y se forman en áreas donde los campos magnéticos son fuertes. Estos campos magnéticos son tan fuertes que evitan que parte del calor que hay dentro del Sol alcance la superficie.



En esta imagen, se ve una región activa en el Sol con manchas solares oscuras. Fuente de la imagen: NASA/SDO/AIA/HMI/Goddard Space Flight Center

Fulguraciones solares (Erupciones solares).

Las líneas del campo magnético que se encuentran cerca de las manchas solares a menudo se enredan, se cruzan y se reorganizan, lo que puede causar una explosión repentina de energía llamada fulguración solar. Las fulguraciones solares liberan mucha radiación en el espacio. Si una fulguración solar es muy intensa, la radiación que libera puede interferir con nuestras comunicaciones de radio en la Tierra. Las fulguraciones solares a veces van acompañadas de una eyección de masa coronal (EMC).

Eyección de masa coronal. (EMC).

Las EMC son enormes burbujas de radiación y partículas del Sol que explotan en el espacio a una velocidad muy alta cuando las líneas del campo magnético del Sol se reorganizan repentinamente.

Cuando las partículas con carga eléctrica de una EMC alcanzan áreas cercanas a la Tierra, pueden provocar la aparición de unas luces intensas en el cielo, llamadas auroras. Si se trata de una EMC suficientemente fuerte, también puede tener consecuencias en la electricidad y, en el peor de los casos, puede causar cortes y escasez en el suministro.



Imagen de una fulguración solar, como muestra el destello. También, se puede ver un bucle de material solar, una eyección de masa coronal (EMC), que se levanta desde el lado derecho del Sol. Fuente: NASA/SDO/Goddard

Tormentas geomagnéticas.

Una tormenta geomagnética, es una perturbación significativa de la magnetósfera, que ocurre como consecuencia directa del intercambio de energía desde el viento solar al ambiente espacial terrestre. La energía intercambiada se disipa en el entorno de nuestro planeta, con consecuencias relevantes sobre los cinturones de radiación, la ionósfera y el campo geomagnético. Se puede estimar la intensidad a través de los índices DST¹ y Kp², que se obtienen a partir de datos medidos por magnetómetros alrededor de la Tierra.

Las tormentas geomagnéticas se dividen en cinco categorías (de la G1 a la G5), donde G1 indica un evento “menor” y G5 un evento “extremo”. Cada categoría está asociada a un Kp³ determinado cada 3

horas, cuya duración del evento influye en la severidad de los efectos.

Tormenta de radiación solar.

Una tormenta de radiación solar, sucede cuando se producen partículas energéticas en la atmósfera del Sol, que pueden alcanzar a la Tierra en un tiempo entre 15 minutos a algunas horas de iniciado el evento solar, atravesando la protección magnética de nuestro planeta. Esas partículas provienen de las partes más activas de nuestra estrella (manchas solares), un área donde el campo magnético es especialmente poderoso. Desde allí y en forma de fulguraciones solares, emiten un flujo de protones de alta energía, los cuales llegan a nuestro planeta en pocos minutos.

Las tormentas de radiación solar, en relación a su intensidad, se divide de la S1 a la S5, la intensidad también, se clasifica con números crecientes y está ligada al nivel de flujo >10 MeV⁴ partículas iones, con promedios sobre 5 minutos. Allí los efectos biológicos, operaciones de satélites y otros sistemas (como la tripulación de naves aéreas), son afectados de distintas maneras según la intensidad del evento.

Bloqueos de radio.

Los bloqueos de radio ocurren generalmente durante fulguraciones solares, que se asocian con aumentos del flujo electromagnético en las bandas de rayos X, extremo UV y ondas de radio. Estos eventos logran llegar a nuestro planeta rápidamente (entre 6 y 8 minutos), produciendo un aumento significativo del contenido electrónico en la ionósfera. Este incremento puede afectar la propagación de las ondas de radio, utilizadas para la comunicación.

Los bloqueos de radio se clasifican en categorías que van de R1 a R5, según las observaciones del flujo de rayos X realizadas por los satélites GOES. En el caso del R5, el evento extremo afecta con un bloqueo

¹ El índice geomagnético Dst (Disturbance Storm Time) es un indicador que permite clasificar la intensidad de una tormenta geomagnética. Se obtiene a partir de observaciones magnéticas en bajas latitudes.

² El índice geomagnético planetario K (Kp) fue introducido por J. Bartels en 1949 y se deriva a partir de los índices standarizados K (Ks) de 13 observatorios magnéticos ubicados en latitudes medias. El índice Kp fue diseñado para medir los efectos magnéticos de los eventos

solares y se presenta en escala logarítmica con rangos de variabilidad que van desde 0 (no actividad) a 9 (máxima actividad de la tormenta).

³ Unidad de fuerza equivalente a la que actúa sobre la masa de 1 kilogramo sometido a la gravedad normal

⁴ MeV significa mega-electronvoltio. Es una unidad de energía utilizada comúnmente en física de partículas y física nuclear, equivalente a un millón de electronvoltios. Un electronvoltio (eV) es una unidad de energía que representa la cantidad de energía cinética que gana o pierde un electrón al moverse a través de una diferencia de potencial eléctrico de un voltio.

completo por varias horas de onda de radio de altas frecuencias en todo el lado diurno terrestre.

Observación Solar Continua.

La predicción efectiva de la meteorología espacial comienza con la vigilancia constante del Sol. Satélites como el Observatorio de Dinámica Solar (SDO) y la misión Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) proporcionan datos críticos sobre la actividad solar en tiempo real. Estos satélites monitorean las manchas solares, las fulguraciones solares y las eyecciones de masa coronal (CME), que son indicadores clave de eventos potencialmente perturbadores.

Utilizando los datos recopilados por diversas misiones, los científicos emplean modelos computacionales para simular el comportamiento del viento solar y predecir la llegada de CMEs a la Tierra. Estos modelos ayudan a determinar la velocidad, trayectoria y potencial impacto de estas eyecciones, proporcionando información vital para las alertas tempranas.

La predicción precisa también depende de una red global de observatorios y la colaboración entre agencias espaciales internacionales, como la NOAA y la ESA. Estas organizaciones comparten datos y recursos para mejorar las predicciones y estrategias de mitigación.

Atenuación de los Efectos de la Meteorología Espacial.

Buscar la reducción de los impactos de los fenómenos solares es de importancia ya que estos pueden interrumpir comunicaciones por radio y GPS, dañar satélites y redes eléctricas, aumentar la radiación en vuelos de gran altitud y poner en riesgo a astronautas en misiones espaciales.

A continuación, se señalan algunas medidas que se pueden aplicar:

Protección de Infraestructuras Críticas.

Los operadores de redes eléctricas pueden tomar medidas preventivas, como reconfigurar la red o ajustar la generación de energía durante eventos de meteorología espacial importantes. Esto es crucial para prevenir apagones masivos como el que ocurrió en Quebec en 1989.

Hardening de Satélites.

Los satélites pueden ser diseñados con tecnologías de endurecimiento para resistir las altas dosis de radiación y las partículas energéticas durante tormentas solares intensas. Además, los protocolos de operación pueden ajustarse para minimizar el riesgo durante períodos de alta actividad solar.

Alertas y Comunicación.

La mejora en los sistemas de alerta temprana permite a las empresas de telecomunicaciones, aerolíneas, y otras industrias afectadas por la meteorología espacial, deben tomar medidas preventivas para proteger sus equipos y mantener la seguridad de sus operaciones. La comunicación efectiva de alertas a los gobiernos y al público, también es esencial para la preparación y respuesta.

Conclusión.

La meteorología espacial, es un campo vital que requiere una atención constante debido a su potencial para impactar en nuestra tecnología y sociedad. A medida que nuestra dependencia de la tecnología aumenta, también lo hace nuestra vulnerabilidad a los fenómenos espaciales. La inversión continua en la investigación, la predicción avanzada y las estrategias de mitigación son esenciales para proteger la infraestructura crítica y asegurar la continuidad de nuestras actividades diarias frente a estos fenómenos celestes.

Debido a que la Meteorología Espacial es un fenómeno global, existe una red de Centros Regionales de Avisos de ME (RWC), coordinados por el International Space Environment Service (ISES) y algunos países, ya han catalogado a la ME como un asunto de seguridad nacional y han publicado sus planes de acción, con el objetivo de mitigar los efectos de la ME en sus territorios para los próximos años.

AAW Información obtenidas de fuentes abiertas
Meteorología Espacial: Cómo Predecir y Mitigar Sus Efectos

Tiempo espacial - Agencia Estatal de Meteorología AEMET.

¿Qué es la "Meteorología Espacial" y cómo nos ayuda?

¿Qué es el Clima Espacial? | SCiESMEX

Sunspots and Solar Flares | NASA Space Place – NASA Science