

Jorge A. Ruiz Vanoye, Patricia Ambrocio Cruz y Ocotlán Díaz Parra



¿Cómo nos afecta el clima solar?

El clima espacial afecta a las actividades en la Tierra, como las telecomunicaciones (satélites que controlan los teléfonos, el Internet y la televisión), la red eléctrica y las plantas petroquímicas, la navegación aérea y los sistemas de posicionamiento, el clima terrestre, e incluso la salud de los seres vivos.

En 2014 se creó el Servicio de Clima Espacial México (Sciesmex), iniciativa del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México campus Morelia. Su objetivo es monitorear y comunicar los fenómenos espaciales, como las condiciones del Sol, del medio interplanetario y del entorno geomagnético de nuestro planeta. La finalidad es prever eventos de clima espacial que pudieran representar un peligro para la Tierra, y así salvaguardar la seguridad nacional.

El término *clima espacial* (*space weather*, en inglés) se refiere a la manera en la que la actividad solar y los fenómenos interplanetarios afectan las actividades en la Tierra, como las telecomunicaciones, la red eléctrica, la navegación aérea, el clima terrestre y la salud de los habitantes del planeta. Los peligros provenientes de los cambios en el clima espacial no se pueden entender de manera directa o inmediata. Los efectos para el planeta Tierra y para los seres que habitan en él pueden provocar daños observables a corto y largo plazo.

El primer investigador que asoció las afectaciones del clima espacial al clima terrestre fue el astrónomo inglés William Herschel, quien en 1801 publicó un artículo acerca del efecto de las manchas solares y su relación con el régimen de lluvias terrestre. Posteriormente, en 1844, el farmacéutico y astrónomo amateur alemán Heinrich Schwabe publicó sobre la existencia de un ciclo solar de 11 años. Hoy sabemos que entre los factores que modifican el clima espacial están los eventos (tormentas) o llamaradas solares, y las tormentas geomagnéticas y de radiación.

■ **Tormentas solares**

■ El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y nuestra principal fuente de energía, la cual es necesaria para la vida en nuestro planeta. Hace aproximadamente 5 000 millones de años se formó una enorme esfera de plasma de aproximadamente 700 000 km de radio, con una composición superficial semejante a la actual (hidrógeno). El Sol tiene un ciclo cada 11 años, con fases de máxima y mínima actividad (véase la Figura 1).



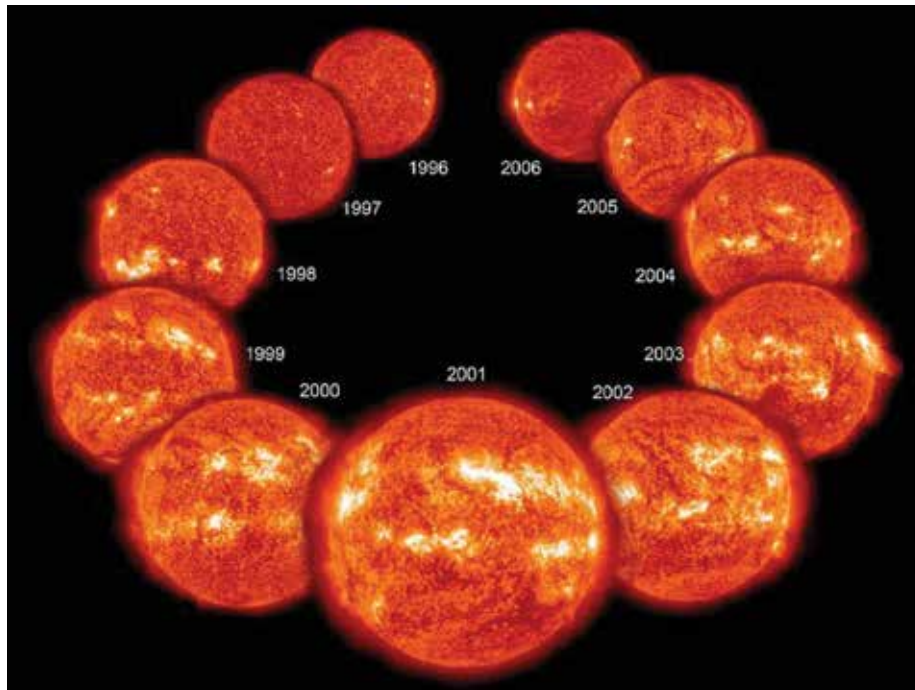


Figura 1. Ciclo solar de 11 años. Empieza con un mínimo de actividad solar en 1996, llega a un máximo en 2001, hasta que vuelve a llegar a un mínimo en 2006. El último máximo sucedió en 2012 y el próximo será en 2023. *Imagen:* NASA.

En la atmósfera del Sol ocurren explosiones repentinas, llamadas tormentas solares. Estas llamaradas solares provocan condiciones climáticas especiales aquí en la Tierra. De singular interés son las **eyecciones de masa coronal**, pues afectan en gran medida a las fuentes de energía en la Tierra, como las plantas petrolquímicas y plantas eléctricas, entre otras.

La producción de energía solar se lleva al cabo en su núcleo, a través de la cadena protón-protón, un proceso en el cual cuatro núcleos de hidrógeno se unen para formar un núcleo de helio. Mediante este proceso la energía surge en forma de radiación gamma. El Sol produce energía a una tasa de 4×10^{26} watts, lo que equivale aproximadamente a 100 000 millones de bombas de hidrógeno, o a cambiar cuatro millones de toneladas de masa en energía cada segundo.

La masa del Sol es de aproximadamente 2×10^{21} millones de toneladas (330 000 veces la masa de la Tierra). A lo largo de la vida del Sol, dentro de su **fase de secuencia principal**, solamente alcanzará a transformar en energía un 0.1% de su masa. Desde su formación hasta la fecha, únicamente 5% del hidrógeno del Sol se ha transformado en helio. Toda la

energía que se genera en el denso y enorme núcleo solar pasa por un proceso de absorción y reemisión en su camino antes de alcanzar la superficie del Sol.

Todas las estrellas presentan vientos solares, algunos más potentes que otros, dependiendo la masa de la estrella. En el caso del Sol, como es una estrella de baja masa, su viento estelar es moderado. El viento solar crea tormentas de radiación, fluctuaciones de los campos magnéticos y arrastra una tormenta de partículas energéticas. La intensidad de estas tormentas de radiación y campos magnéticos depende de la fase en la cual se encuentre el Sol dentro de su ciclo de 11 años.

Eyecciones de masa coronal
Radiación y viento que se desprenden del Sol.

Fase de secuencia principal
Fase en la que una estrella transforma el hidrógeno en helio.

Tormentas geomagnéticas o de radiación solar

Las tormentas geomagnéticas son consideradas una perturbación temporal de la magnetósfera o exosfera de la Tierra (la región más externa de la atmósfera terrestre, que inicia a partir de los 500 km). Estos fenómenos tienen su origen en las perturbaciones del viento solar (ondas de choque creadas por el campo

magnético del Sol) y del campo magnético interplanetario y su interacción con la magnetósfera.

Las investigadoras Virginia Feldman y Leda Sánchez-Bettucci describen las tormentas geomagnéticas como un producto de las eyecciones de masa coronal del Sol, o por un flujo de alta velocidad de viento solar originado en una región débil del campo magnético del Sol. El 13 de marzo de 1989 tuvo lugar una tormenta geomagnética en la ionósfera que se pudo observar desde algunas localidades europeas.

Las tormentas geomagnéticas que afectan la ionósfera terrestre se denominan tormentas ionosféricas y afectan los sistemas globales de navegación y posicionamiento por satélite (GNSS). Las tormentas geomagnéticas se manifiestan como auroras boreales (en el hemisferio norte terrestre) o auroras australes (en el hemisferio sur terrestre).

El análisis del impacto de las tormentas geomagnéticas se realiza a través de los ionogramas (registros de la ionósfera obtenidos mediante sondeos con ondas de alta frecuencia) y mediante el estudio de la variación del Contenido Total de Electrones (TEC).

■ Afectaciones por el clima espacial

■ *El clima terrestre y la salud de los habitantes*

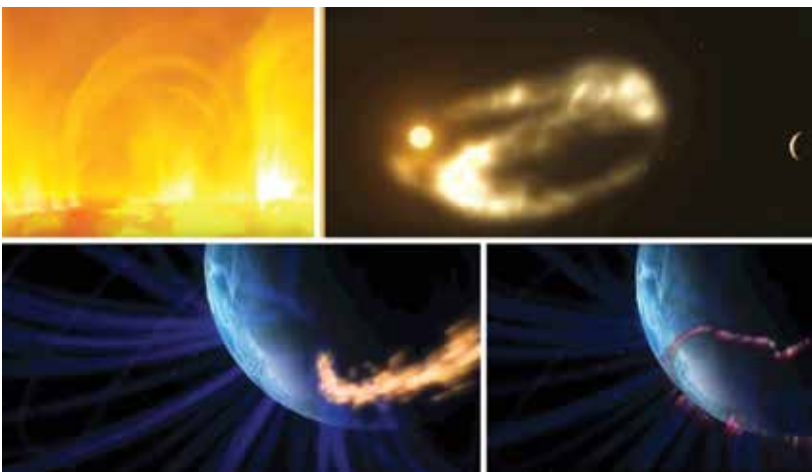
■ El clima terrestre depende de la cantidad de energía radiada por el Sol, los componentes químicos presentes en la atmósfera y la biósfera terrestres, el efecto invernadero, así como la circulación de los

océanos. El Sol calienta más en la región media de la Tierra (Ecuador) que en los polos (Norte y Sur).

Los componentes presentes en la atmósfera (la parte gaseosa de la Tierra) y la biósfera (donde existe la vida) son: nitrógeno, oxígeno, argón, neón, helio, metano, kriptón, hidrógeno y vapor de agua. Adicionalmente, existen diversos gases (vapor de agua y dióxido de carbono) que producen un efecto invernadero natural de gran relevancia para el clima de la Tierra, ya que permite la vida como la conocemos. Por el efecto invernadero natural se tiene una temperatura media en la superficie de 15 grados Celsius.

Desde el Sol llegan rayos ultravioleta, luz visible e infrarroja. La atmósfera terrestre refleja 30% de la radiación, los gases naturales presentes en la atmósfera absorben 20% y los océanos y el suelo se ocupan del 50% restante. La radiación absorbida por la atmósfera y el suelo evacúa parte de la energía convertida en calor (radiación infrarroja media) hacia el espacio; el restante se queda en los gases naturales de efecto invernadero para calentar la atmósfera en conjunto con las nubes formadas por la evaporación del agua de ríos, mares y lagunas; otro tanto regresa al suelo. El efecto invernadero natural permite el funcionamiento adecuado de los seres vivos; sin embargo, éste puede ser afectado por los contaminantes derivados de la quema de los combustibles fósiles hecha por los seres humanos. Los contaminantes peligrosos son gases y partículas que se encuentran en el aire y que son altamente nocivos para la salud.

El efecto invernadero natural modificado por diversos contaminantes (dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxido nitroso, carbón negro, metano, plomo, tolueno, xileno, metanol, benceno, antimonio, monóxido de carbono, fósforo y cromo) y su estancamiento en el aire pueden provocar el calentamiento global y otras afectaciones a los ecosistemas terrestres, lo que se conoce como inversión térmica. La inversión térmica (como un efecto olla exprés o de presión; véase la Figura 3) se presenta cuando las capas de aire frío a



■ **Figura 2.** Tormentas geomagnéticas. Imagen: Goddard S. F. Center, NASA.

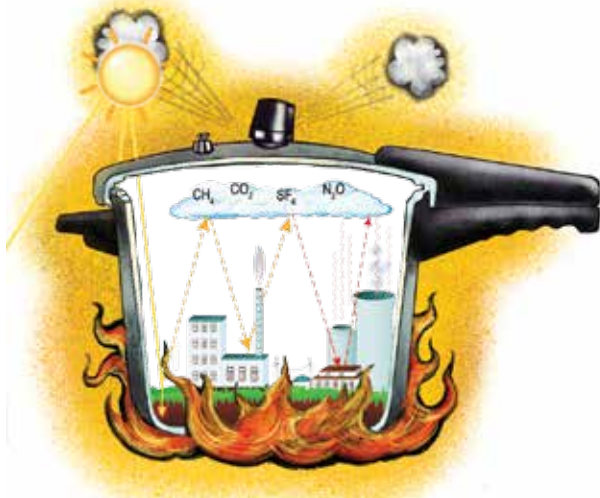


Figura 3. Olla exprés atmosférica.

mayor altura actúan como una cubierta que retiene el aire contaminado, lo cual significa que hay niveles nocivos de contaminantes para la salud de los seres vivos. Las posibles afectaciones de este fenómeno serían, entre otras: a) reducción del tamaño de los glaciares y elevación del nivel de los mares; b) aumento de la temperatura media de la Tierra (existiría un riesgo de extinción para algunos seres vivos terrestres); c) cambio en las fechas de inicio y término de las temporadas de lluvias, fríos y calores; d) efectos en la salud de los organismos.

La Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, en su programa de medición de la calidad del aire, menciona que el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno provocan la irritación de las vías respiratorias, broncoconstricción, bronquitis, traqueítis, y agravan diversas enfermedades respiratorias y cardiovasculares; el plomo causa retraso en el aprendizaje y alteraciones en la conducta; el monóxido de carbono en altas cantidades inhabilita el transporte de oxígeno hacia las células, lo que puede provocar mareos, dolor de cabeza, náuseas, estados de inconsciencia y la muerte; el ozono en altas cantidades reduce la función pulmonar, empeora el asma, inflama las células que cubren los pulmones y agrava las enfermedades pulmonares crónicas.

Los mares y los océanos transmiten grandes cantidades de calor, energía, humedad y gases a la atmósfera de la Tierra. La luz del Sol afecta caloríficamente a las aguas superficiales, mientras que las

aguas profundas a las que no les da la luz se enfrían. Por este motivo, el dióxido de carbono se almacena en las profundidades de los océanos y mares. En caso de que la temperatura del océano aumentara, entonces el dióxido de carbono escaparía a la atmósfera y provocaría la maximización del efecto de olla exprés atmosférica.

El clima terrestre tiene un flujo protector natural del sobrecalentamiento de los mares y océanos, denominado cinta transportadora oceánica o circulación termohalina. Las cintas transportadoras oceánicas permiten la circulación de agua caliente de las regiones tropicales hacia los polos y de agua fría a las regiones tropicales, con lo cual se puede mantener la temperatura necesaria para la vida en los mares y océanos. El estudio histórico de la circulación de agua de los mares y océanos, basado en modelos climáticos y valores de los climas pasados, se conoce como paleoclimatología. A través de los paleoclimas se ha podido determinar que la temperatura de los mares y océanos se ha elevado y, como consecuencia, esto ha provocado el derretimiento de los glaciares en los polos. De esta manera, el clima espacial —en específico, el viento solar y las tormentas solares— influye en los aspectos de salud de la vida en la Tierra.

Red eléctrica, telecomunicaciones y navegación aérea

El clima espacial también puede afectar a la red eléctrica y causar apagones, como los ocurridos en 1859. En ese entonces las afectaciones fueron causadas por la tormenta geomagnética más intensa registrada en la historia, la cual dañó a los sistemas de telégrafos y causó algunos incendios. A dicho fenómeno se le conoce como el evento Carrington.

Asimismo, los satélites que controlan los teléfonos, el internet y la televisión se ven afectados. El geofísico Miguel Herraiz Sarachaga menciona que el problema actual por el cambio climático espacial se relaciona de manera directa con el incremento de la actividad solar y de las tormentas geomagnéticas, lo cual tiene un impacto en nuestra sociedad tecnológica. El autor menciona los años en los que la actividad solar ha afectado la Tierra:

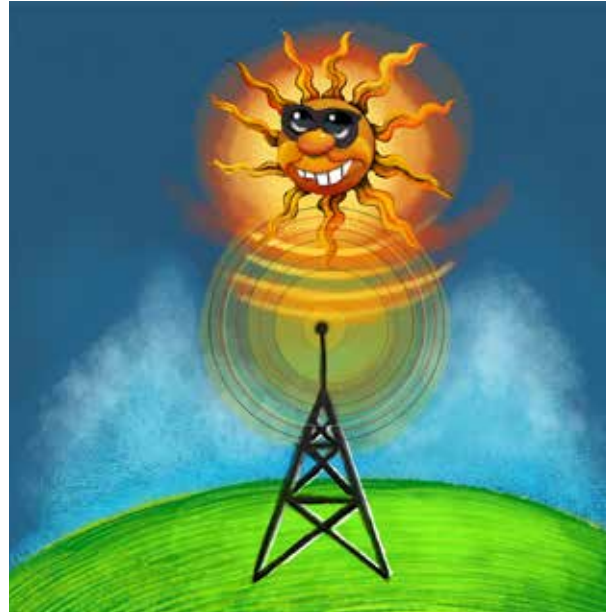
- 1859: Evento de Carrington. Impacto en el telégrafo, efectos en la Península Ibérica.
- 1923: Marconi. Efectos en la transmisión de ondas electromagnéticas.
- 1989: Apagón de Canadá. Problemas en los satélites. Seis millones de personas del este de Canadá se quedaron sin energía eléctrica por nueve horas.
- 2003: Tormenta de Halloween. Grandes pérdidas económicas aminoradas gracias a la alerta previa.
- 2012: Pérdidas económicas debidas a fallos en la distribución eléctrica.

El primer equipo de telecomunicación que fue afectado por el clima espacial fue el telégrafo, debido a que usaba materiales conductores de electricidad. Como parte de los fenómenos solares que afectan a las telecomunicaciones, podemos mencionar los siguientes:

- Fulguraciones (radiación electromagnética): rayos X, ultravioleta cercano, bloqueos de radio, entre otros. El fenómeno afecta las señales de radio, radiocomunicación terrestre y navegación satelital, satélites de comunicaciones, interferencias de radar y debilitamiento de ondas cortas de radio, entre otros.
- Emisión de partículas de alta energía, descrita como eventos de protones, donde sus efectos tienden a desorientar los satélites, generar lecturas falsas en sensores, daños físicos en naves espaciales, radiación en aviones a gran altura, debilitamiento de ondas cortas de radio, etcétera.
- Agujeros coronales representados por partículas de media a baja energía.

■ Ideas finales

■ Es necesario reflexionar sobre las siguientes preguntas: ¿qué pasaría si el clima espacial afectara severamente a las actividades en la Tierra, las telecomunicaciones, la red eléctrica, la navegación aérea, el clima terrestre y la salud de los seres vivos? ¿Qué pasaría si una tormenta solar sobrecargara las líneas de alta tensión eléctrica y nos quedaríamos sin elec-



tricidad? ¿Qué pasaría si la temperatura media de la Tierra aumentara? ¿Qué pasaría si el clima espacial afectara en un mayor grado a la inversión térmica y provocara que los contaminantes de las ciudades afectaran gravemente a la salud de sus habitantes?

Jorge A. Ruiz Vanoye

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
jorge@ruizvanoye.com

Patricia Ambrocio Cruz

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
silviap@uaeh.edu.mx

Ocotlán Díaz Parra

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
ocotlan@diazparra.net

Lecturas recomendadas

ISES (2017), *International Space Environment Service*. Disponible en: <<http://www.spaceweather.org>>. Consultado el 15 de agosto de 2017.

Sciesmex (2017), *Servicio de Clima Espacial México*. Disponible en: <<http://www.sciesmex.unam.mx>>. Consultado el 15 de agosto de 2017.

SEDEMA (2017), *Dirección de Monitoreo Atmosférico*. Disponible en: <<http://www.aire.df.gob.mx>>. Consultado el 15 de agosto de 2017.