



Condiciones del tiempo en el espacio

Viviendo en la atmósfera del sol

Cuál es el pronóstico para la próxima tormenta?
Los astronautas y muchas otras personas en la Tierra necesitan
conocer esta información, y eso es justamente lo que los científicos y
una flota de satélites NASA están tratando de averiguar.

¿Existirá tal cosa como condiciones del tiempo en el espacio?

Si miramos el cielo utilizando sólo nuestros ojos, el Sol parecerá fijo, tranquilo y constante. Las únicas variaciones notables desde la Tierra son su ubicación (¿por dónde sale y dónde se oculta?) y su color (¿lo cubrirán las nubes o transformará la atmósfera de color rosa o anaranjado?). Sin embargo, nuestro Sol nos da más que solo una corriente de luz y calor. El Sol nos baña a nosotros y al resto del sistema solar con energía en forma de luz, partículas cargadas eléctricamente y campos magnéticos. Mientras la luz visible del Sol es casi constante, otras producciones solares son

turbulentas y muy dinámicas. Este es el resultado de lo que llamamos condiciones del tiempo en el espacio.

El Sol es un gran reactor termonuclear, fusionando átomos de hidrógeno y convirtiéndolos en helio; produciendo temperaturas de millones de grados e intensos campos magnéticos. La capa externa del Sol es semejante a una olla con agua hirviendo, con burbujas de gas caliente y electrizante—protones y electrones en un cuarto estado de la materia conocido como plasma—circulan desde el interior subiendo hacia la superficie.

Aunque el proceso no es del todo comprendido, esto resulta en campos magnéticos solares y en una corriente constante de partículas que emergen del Sol conocido como viento solar. El viento solar, la atmósfera más externa del Sol, puede extenderse más allá de los planetas del sistema solar.

El viento solar, moviéndose desde 800,000 a 5 millones de millas por hora, descarga un millón de toneladas de materia hacia el espacio cada segundo. Su velocidad, intensidad, densidad y sus campos magnéticos asociados con el plasma, afectan la capa magnética protectora espacial de la Tierra (la magnetosfera). En la mayoría de las veces, los efectos son benignos, pero cuando las manchas solares aparecen, es una señal potencial de que una tormenta solar se avecina. Las manchas solares son áreas oscuras en el Sol debido a la presencia de temperaturas más bajas (4000 grados Celsius) en comparación con los gases del resto de la superficie solar (6000 grados C).

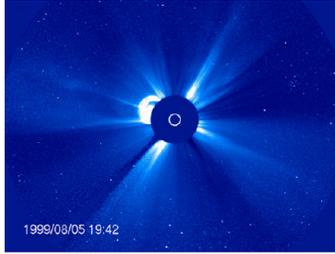
Las manchas solares tienen una baja temperatura, ya que sus intensos campos magnéticos, 1000 veces más fuertes que el campo magnético de la Tierra, reducen el flujo normal de energía a la superficie visible del Sol. Las manchas solares son observadas detenidamente por personas encargadas de pronosticar las condiciones del tiempo espacial, ya que al igual que los sistemas de alta y baja presión en la Tierra, estas sirven como señales de la severidad de lo que está por venir.

La Gran tormenta solar

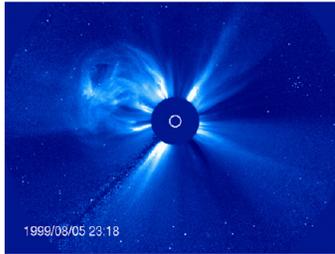
Hay dos clases de tormentas solares. Destellos solares (solar flares) aparecen como áreas explosivas y brillantes en la superficie del Sol. Los destellos solares ocurren cuando la energía magnética se acumula en la atmósfera solar cerca de las manchas solares y repentinamente es liberada en un estallido equivalente a diez millones de erupciones volcánicas. Radiación—incluyendo ondas radiales, rayos-x y rayos gamma— y partículas eléctricamente cargadas, explotan desde el Sol después de un destello solar. Los destellos solares más fuertes ocurren sólo algunas veces al año, mientras que destellos solares más leves son relativamente comunes; tanto que pueden ocurrir hasta una docena de veces al día durante los periodos más activos del Sol.

El otro evento solar de importancia es la Expulsión de Masa Coronal (Coronal Mass Ejection- CME), el equivalente de un huracán en la Tierra. Un CME es la erupción de una gran burbuja de plasma proveniente de la atmósfera externa del Sol o corona. La corona es la región gaseosa sobre la superficie solar que se extiende millones de millas hacia el espacio. La temperatura en esta región exceden un millón de grados Celsius; 200 veces más caliente que la superficie del Sol.

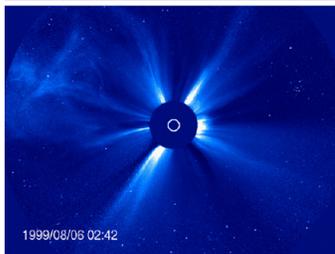
Un sin número de teorías intentan explicar la formación de los CMEs. Los campos magnéticos en la corona se ven afectados por dos entidades: nuevos campos magnéticos que emergen desde abajo de la superficie solar y los movimientos del plasma en la superficie. Este último, trae consigo campos magnéticos. Estos campos magnéticos se tuercen y energizan en ciertas regiones, creando con frecuencia manchas solares. Los campos magnéticos entrelazados son semejantes a una red que restringen un globo de aire caliente, los cuales refrenan el plasma y los campos magnéticos torcidos. Debido a esto, una tremenda cantidad de presión es acumulada, hasta que eventualmente, algunos de los lazos magnéticos emergen y estallan entre la red magnética creando un CME.



1999/08/05 19:42



1999/08/05 23:18



1999/08/06 02:42

Serie cronológica de un CME estallando desde el Sol

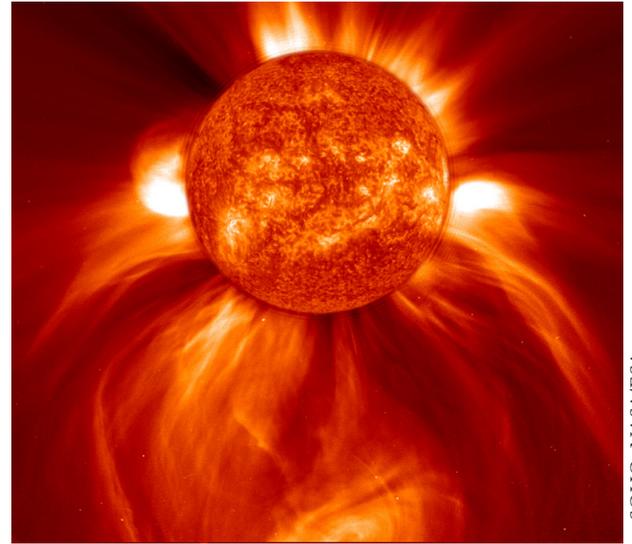
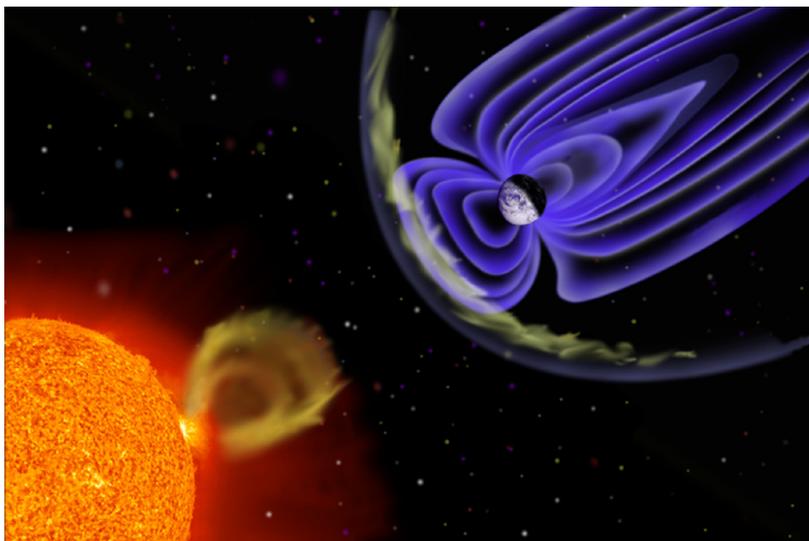


Imagen Compuesta del Sol en luz ultravioleta y una gran tormenta solar

SOHO, NASA/ESA

SOHO, NASA/ESA

Las observaciones realizadas demuestran que la velocidad de un CME a través del golfo espacial, puede llegar a varios millones de millas por hora (¡hasta 2500 km/s!). Una ordinaria Expulsión de Masa Coronal puede transportar más de 10 billones de toneladas de plasma al sistema solar, esto es una masa equivalente a la de 100,000 barcos de guerra. Normalmente, una nube de un CME puede crecer a dimensiones mucho mayores que las del Sol; tan ancho como 30 millones de millas. Un CME, en el transcurso de su viaje hacia el sistema solar, crea una onda de choque que acelera algunas de las partículas del viento solar a velocidades y niveles de energía extremadamente peligrosos creando radiación. Detrás de la onda de choque, la turbulencia del CME, viaja por el sistema solar impactando planetas, asteroides y otros objetos que contienen plasmas y campos magnéticos. Si un CME erupciona hacia el lado que da a la Tierra, y si su camino incluye la orientación de la Tierra en su órbita, los resultados pueden llegar a ser espectaculares y a la misma vez peligrosos.



Steele Hill, SOHO, NASA/ESA

Ilustración de una tormenta solar dirigiéndose hacia la Tierra y luego impactando la magnetosfera, nuestro campo magnético defensor

Realizando conexiones eléctricas

Las Expulsiones de Masa Coronal ocurren a una proporción de algunas veces a la semana hasta varias veces al día, dependiendo de cuán activo el Sol esté en ese momento. Las probabilidades dicen que la Tierra será impactada por un CME y efectivamente así ocurre. Afortunadamente, nuestro planeta está protegido de los efectos más dañinos de radiación y plasma caliente gracias a nuestra atmósfera y a una capa magnética invisible conocida como magnetosfera. La magnetosfera, producida por el campo magnético interno de la Tierra, nos protege de 99% del plasma solar, desviando el mismo al espacio.

Sin embargo, de vez en cuando, parte de la energía del CME es transferida a nuestra magnetosfera canalizándose cerca del los Polos Norte y Sur. Es allí donde el campo magnético es más débil y la magnetosfera se encuentra parcialmente abierta al espacio. El flujo de energía hacia nuestra magnetosfera puede inducir tormentas magnéticas, alterar el campo magnético de la Tierra y producir el fenómeno conocido como las auroras.

Una gran cantidad de energía es descargada en el sistema magnético de la Tierra. Cuando el sistema magnético de la Tierra es estimulado por el plasma solar o por el plasma proveniente de partes distantes en la magnetosfera, los electrones, protones e iones de oxígeno localizados alrededor de la Tierra, se tornan más densos, calientes y con mayor velocidad. Estas partículas producen tanto como un millón de amperes de corriente eléctrica. Parte de esta corriente fluye por los campos magnéticos de la Tierra hacia las altas capas de la atmósfera.



Pekka Parviainen

*Cortinas coloridas de la aurora que brillan en el cielo nocturno de Islandia.
Las auroras ocurren de 40-200 millas sobre la Tierra.*

De igual manera, cuando las partículas excitadas dentro de la magnetosfera colisionan con oxígeno y nitrógeno, estas también pueden sumergirse en la alta atmósfera terrestre. Estas colisiones—las cuales usualmente ocurren entre 40 y 200 millas sobre la tierra—causan que el hidrógeno y el oxígeno se exciten eléctricamente y emitan luz (las luces fluorescentes y de la televisión trabajan del mismo modo). El resultado es una deslumbrante danza de luces verdes, azules, blancas y rojas conocidas como las auroras boreales y las auroras australes (“luces del norte y del sur”). Las auroras pueden presentarse como finas cortinas de luces de colores que se erizan en el cielo nocturno, o como bandas parpadeantes y difusas. Estas son evidencias visibles de que una manifestación eléctrica está sucediendo alrededor de la Tierra en el espacio.

Cuando la Tierra es golpeada

Aparte de las brillantes auroras, se encuentran efectos menos placenteros de la conexión entre el Sol y la Tierra. De hecho, las brillantes auroras son meramente una señal visible de que el balance entre la energía magnética y eléctrica en la magnetosfera de la Tierra ha sido perturbado. Con un CME promedio descargando alrededor de 1500 Gigawatts de electricidad a la atmósfera (el doble de la electricidad generada en todo Estados Unidos), grandes cambios pueden ocurrir en el espacio. Esos cambios pueden perturbar un mundo que depende de satélites, energía eléctrica, y radio comunicaciones— las cuales se ven afectadas por tormentas magnéticas. Por ejemplo, una serie de destellos solares y un CME en marzo del 1989, produjeron intensas tormentas magnéticas que dejaron a millones de personas en Québec, Canadá sin energía eléctrica por días, en algunos casos.

Los CMEs y las tormentas magnéticas pueden ser especialmente peligrosas para el viento solar y para los satélites orbitando en las correas de radiación alrededor de la Tierra. Los iones energéticos acelerados por una tormenta pueden perturbar computadoras en naves espaciales y degradar los paneles solares utilizados para generar energía eléctrica a satélites. Plasmas energizados en el espacio terrestre pueden causar una acumulación de cargas eléctricas en la superficie de naves espaciales que producen chispas eléctricas dañinas. En 1994, dos satélites se apagaron involuntariamente durante tormentas magnéticas— debido a esto, el servicio telefónico en todo Canadá fue interrumpido por meses. Durante el periodo



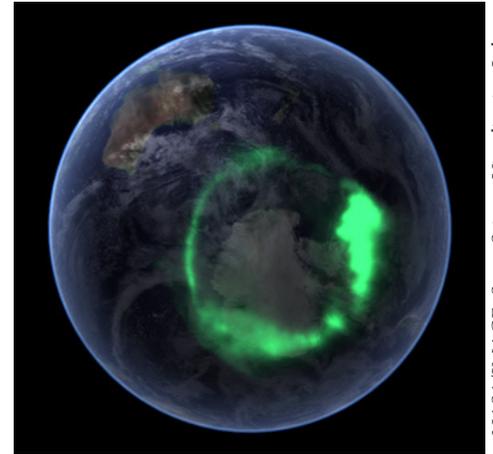
Sigurður Stefánsson

Corrientes eléctricas causadas por tormentas magnéticas solares, pueden sobrecargar y alterar líneas de energía eléctrica

mación moderna es retransmitida por satélites; desde GPS hasta máquinas de cajeros automáticos. Las mismas están propensas a interrupciones diarias.

Las tormentas magnéticas también pueden afectar la fuerza de los campos magnéticos de la Tierra. Estos cambios pueden producir oscilaciones de líneas de energía eléctrica y transformadores, al igual que corrientes eléctricas corrosivas en tuberías de gas y de aceite. El incidente del 1989 en Québec demostró cuán perturbadores pueden ser los efectos de las condiciones del tiempo en el espacio, inclusive para nosotros aquí en la superficie de la Tierra.

Astronautas viven y trabajan en la Estación Espacial, y aún estando dentro de ella, pueden adquirir altas dosis de radiación durante eventos de tormentas solares. En una semana, un adulto puede absorber el equivalente a 100 radiografías de pecho. Con los planes que hay de enviar astronautas a la Luna y a Marte, NASA necesita desarrollar métodos para pronosticar y rastrear tormentas solares, y además, proveer protección para esos astronautas que están expuestos directamente a condiciones del tiempo en el espacio diariamente.



NASA/IMAGE. Space Science Visualization Lab

Partículas cargadas (presentadas en verde) entran a la atmósfera terrestre en forma ovalada, cerca de los Polos

de marzo del 1989, mencionado anteriormente, más de 1500 satélites bajaron su velocidad o se salieron de sus órbitas por varias millas debido a el aumento en el arrastre atmosférico. Desde el 1996, las tormentas solares han interrumpido al menos 14 satélites, causando alrededor de \$2 billones de dólares en pérdidas.

Las tormentas magnéticas también pueden alterar señales de radio, las cuales rebotan en la ionosfera terrestre (la capa más externa de nuestra atmósfera) como un tipo de estación natural de retransmisión. Las tormentas magnéticas pueden borrar completamente comunicaciones radiales alrededor de los polos de la Tierra por días. Las comunicaciones desde los satélites en tierra también son alteradas debido al efecto que el estado de perturbación de la ionosfera tiene en esas señales. Una gran cantidad de la infor-



Johnson Space Center, NASA

Los astronautas necesitan estar protegidos de la radiación, producida por el Sol, la cual es muchas veces dañina

Viendo lo invisible

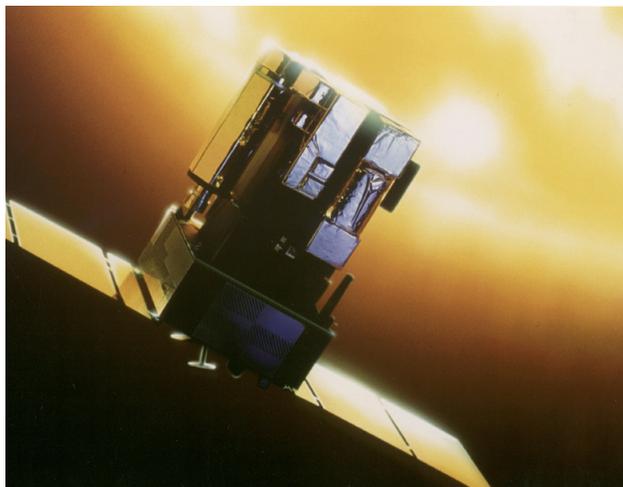
Las auroras son una señal visible de los disturbios magnéticos en nuestra atmósfera, pero más allá de esto, el ojo humano no puede detectar mucho de lo que llamamos condiciones del tiempo en el espacio. Esto se debe a que la mayoría del material que fluye desde el Sol es muy difuso u opaco (cuando se mide en contraste con el espacio o la brillantez del Sol) para poder ser visto por la mayoría de las cámaras o telescopios. Por ejemplo, como la corona solar puede ser vista con el ojo humano solamente durante un evento de eclipse solar, los científicos tienen que utilizar un disco ocultador— un disco que bloquea la luz solar para así crear un eclipse artificial— y así detectar lo que el Sol está descargando hacia el espacio. Los avances más importantes y el rastreo de las Expulsiones de Masa Coronal provienen de cámaras que pueden recoger la débil luz de la corona y detectar los CMEs mientras se encaminan hacia la Tierra.

Para poder “ver lo invisible”, físicos del espacio dependen de telescopios que detectan luz visible, luz ultravioleta, rayos gamma y rayos-X. Ellos utilizan transmisores y receptores que detectan las emisiones radiales creadas cuando un CME colisiona en el viento solar produciendo una onda de choque. Los detectores de partículas cuentan iones y electrones, los magnetómetros registran campos magnéticos y las cámaras de rayos ultravioleta y luz visible observan los patrones de la aurora sobre la Tierra.

Un gran número de satélites ya están en el espacio con el propósito de aprender más sobre el Sol y su impacto en la Tierra y el espacio. Entre estos satélites se encuentran el Solar and Heliospheric Observatory (SOHO), el Advanced Composition Explorer (ACE), el Transition Region and Coronal Explorer (TRACE), Ulysses y muchos más. SOHO continúa observando el Sol 24 horas al día. Después de diez años en el espacio, SOHO ha sido el líder en grandes avances y en el entendimiento de las condiciones del tiempo en el espacio.

Se están desarrollando nuevos satélites e instrumentos para crear y coordinar una flota que monitoree la actividad solar y revele los secretos de las condiciones del tiempo en el espacio. La misión STEREO (2006) monitoreará los CMEs y sus resultados utilizando dos satélites idénticos, uno delante de la Tierra y otro detrás, para que por primera vez, los científicos puedan tener una perspectiva tridimensional. El objetivo científico mayor es el de aprender sobre la naturaleza y orígenes de las Explosiones de Masa Coronal. Al mismo tiempo, la misión del telescopio Solar-B proveerá imágenes complementarias de las áreas de origen de CMEs con más detalle. Para el 2008, el Observatorio de Dinámicas Solares (Solar Dynamics Observatory- SDO) tiene programado el proveer imágenes y data del Sol a un ritmo más alto que nunca antes. SDO también investigará a fondo las fuerzas que se encuentran bajo la superficie solar que incitan mucha de las tormentas solares. También medirá cualquier cambio en la salida de la energía del Sol. En esencia, esto se convertirá en la próxima generación SOHO. Hay otras misiones solares de la NASA que ya han sido planificadas; entre ellas, THEMIS (2006) y Radiation Belt Storm Probes (2012) con el propósito de estudiar las interacciones entre las tormentas solares, la magnetosfera terrestre y las correas de radiación. Los próximos años serán muy emocionantes para los científicos solares.

Más allá de estos esfuerzos, el año 2007-08, será nombrado el Año Internacional de la Heliofísica (Internacional Helio-physical Year- IHY). El IHY, en asociación con las Naciones Unidas, trabajará para avanzar la coordinación de investigaciones científicas a nivel mundial acerca del comportamiento del Sol y como la Tierra responde al mismo. Además, el IHY traerá consigo, la belleza e importancia de esta área de la ciencia al resto del mundo.



SOHO, NASA/ESA

El satélite SOHO nos provee un sistema de advertencia para la temprana detección de alarmante actividad solar

Enlaces relacionados:

Año Internacional de la Heliofísica- IHY
Foro Educativo para la Conexión Sol-Tierra
Recursos para el Día Sol-Tierra
Recursos de SOHO para Condiciones del tiempo el espacio
Imágenes diarias y películas de SOHO
Noticias de las condiciones del tiempo en el espacio
Programa de la NASA Viviendo con una Estrella
Misión Solar Dynamics Observatory
Misión STEREO
Misión TRACE
NOAA's Space Environment Center
(Centro Ambiental del Espacio NOAA)

<http://ihy2007.org>
<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/>
<http://sunearthday.nasa.gov/>
<http://soho.nascom.nasa.gov/spaceweather/lenticular/>
<http://soho.nascom.nasa.gov/>
<http://spaceweather>
<http://lws.gsfc.nasa.gov/>
<http://sdo.gsfc.nasa.gov/>
<http://stereo.gsfc.nasa.gov/index.shtml>
<http://trace.lmsal.com/>
<http://www.sec.noaa.gov>