

# El Clima Espacial y sus efectos

Cita Sugerida: Milán-Pérez,  J., 2015.  [Cambio Climático y Tecnología](http://www.cambioclimaticoytecnologia.org/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=42). [http://www.cambioclimaticoytecnologia.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54&Itemid=42](http://www.cambioclimaticoytecnologia.org/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=42)

## Introducción al Clima Espacial

El Sol ha estado produciendo energía radiante y térmica por los pasados cuatrocientos o quinientos millones de años. Tiene suficiente hidrógeno para continuar produciendo por otro billón de años. Sin embargo, en diez o veinte mil millones de años la superficie del Sol empezará a expandirse, cubriendo los planetas terrestres (incluyendo la Tierra). En ese momento, el Sol será una estrella roja gigante, debido a su tamaño promedio, se espera que el Sol se contraiga y se convierta en una estrella relativamente pequeña y fría conocida como una **enana blanca**.

Durante hace mucho tiempo se ha conocido que el Sol no es una estrella sin rasgos distintivos o estables. (Theophrastus identificó las manchas solares en el año 325 A.C.) Algunas de las características más importantes del Sol se describirán en las siguientes secciones.

## Manchas Solares

Las manchas solares, son manchas oscuras en la superficie del Sol, que contienen campos magnéticos transitorios y concentrados. Estas manchas son las características visibles, las más prominentes en el Sol, pudiendo una mancha solar de tamaño promedio, ser tan grande como la Tierra. Las manchas solares se forman y desaparecen en periodos de días o semanas. Estas ocurren cuando aparecen campos magnéticos fuertes a través de la superficie solar y permiten que esa área se refresque algo, de una temperatura de 6000 grados Celsius a más o menos 4200 grados Celsius.

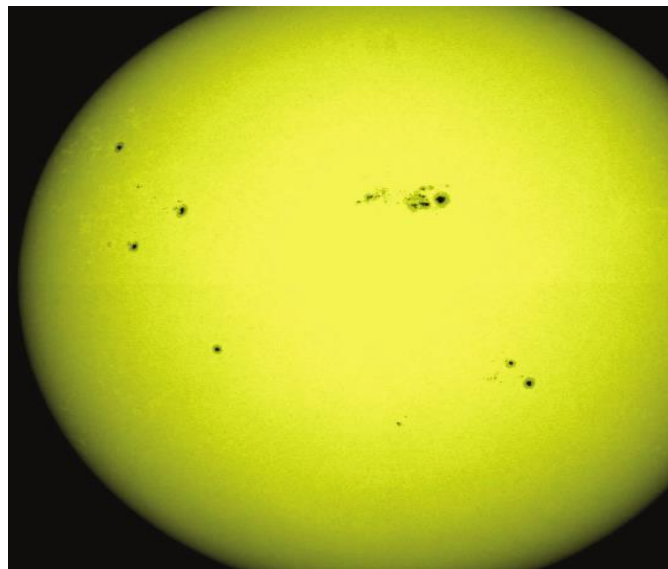



Figura 1: Imagen de manchas solares. Fuente NOAA

El área más oscura en el centro de la mancha solar se llama el **umbra**; es allí donde la fuerza del campo magnético es mayor. La parte menos oscura y estriada alrededor del umbra se llama la **penumbra**. Las manchas solares rotan con la superficie solar, demorando cerca de 27 días para completar una vuelta según es observado desde la Tierra. Las manchas solares cerca del ecuador rotan a una velocidad mayor que las manchas cerca de los polos. Los grupos de manchas, especialmente aquellas que tienen campos magnéticos complejos, son a menudo donde se ven destellos.

Durante los últimos 300 años, el promedio de manchas solares regularmente incrementa y disminuye en un  **ciclo** de 11 años por tal razón los cambios estacionales del sol tienen una duración de 11 años terrestres.

## Huecos Coronales

Es una característica solar variable que puede durar desde meses, hasta años. Estos se ven como huecos grandes y oscuros cuando se observa el Sol en longitudes de onda de rayos x. Estos huecos están arraigados en las células grandes de campos magnéticos unipolares en la superficie del Sol; cuyas líneas de campo se extienden bien lejos en el sistema solar.

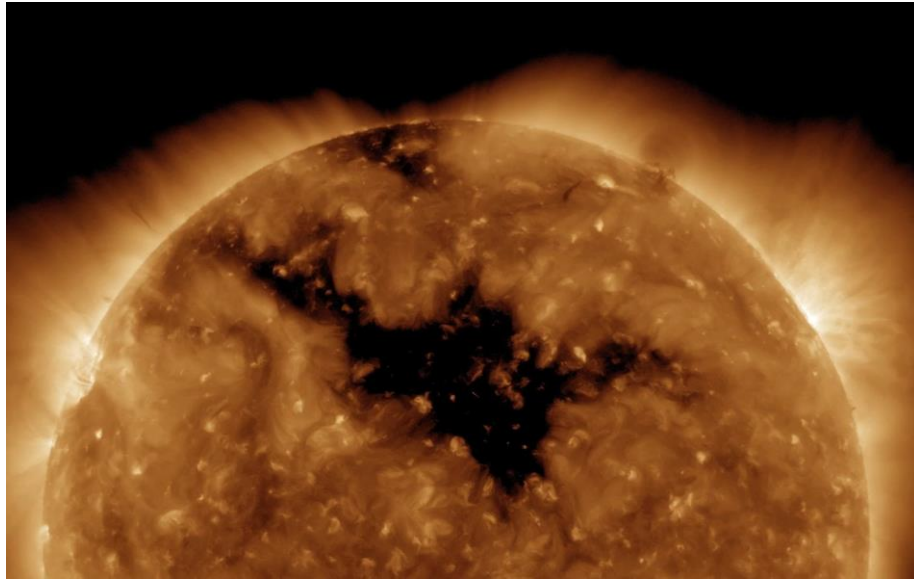
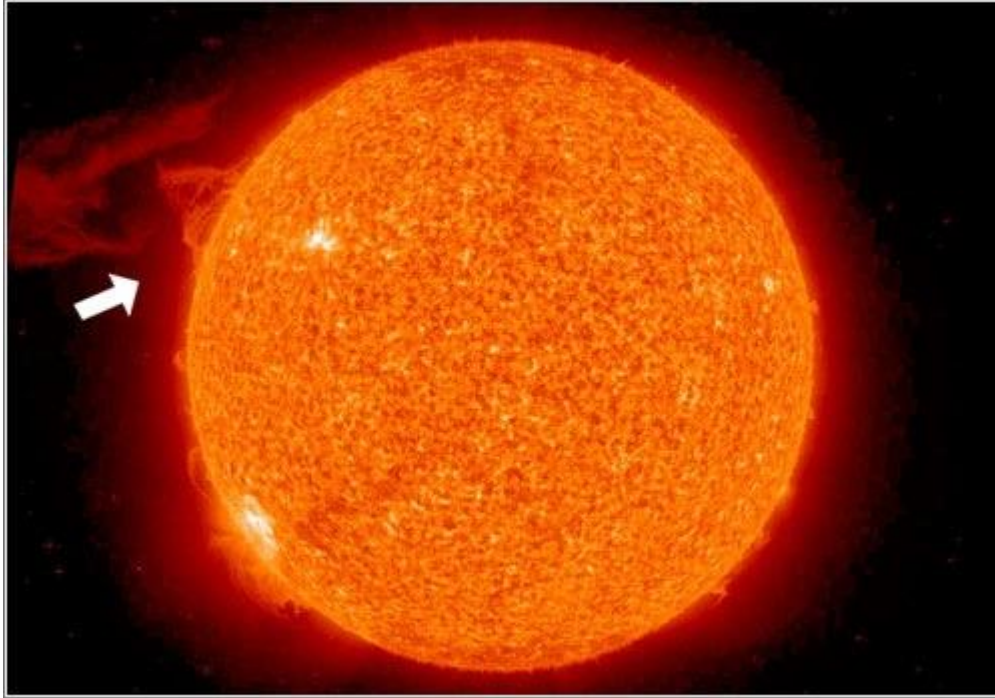


Figura 2. Imagen de la NASA que muestra un hueco coronal

Estas líneas de campo abierto permiten una corriente continua de viento solar de gran velocidad. Los huecos coronales tienen un ciclo de largo periodo, que no se corresponde exactamente con el ciclo de las manchas solares, por lo general estos huecos tienden a ser más numerosos en los años que siguen al máximo solar. En algunas etapas del [ciclo solar](#), estos huecos son continuamente visibles en los polos norte y sur del Sol.

## Prominencias

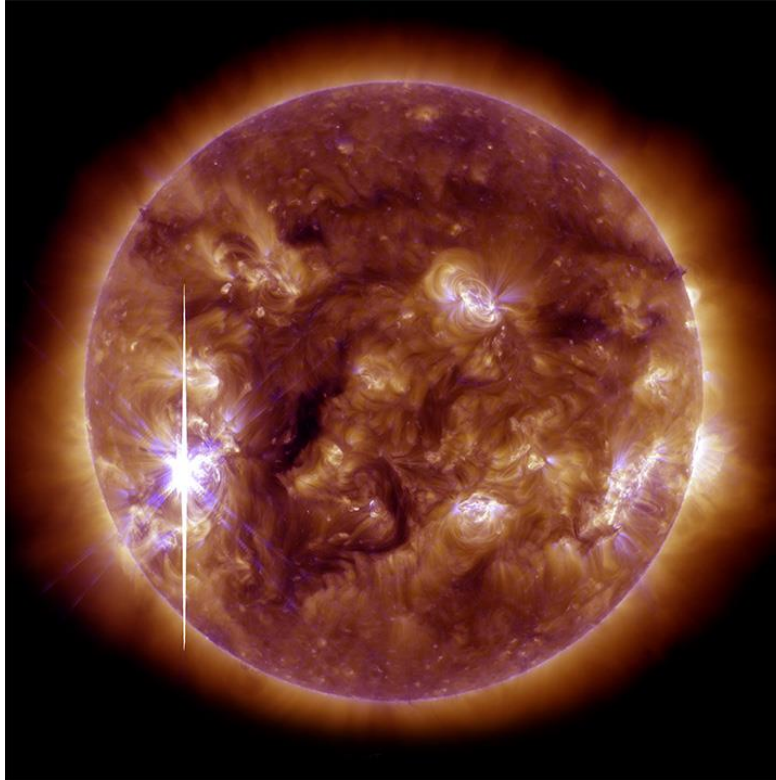
Las prominencias solares (vistas como filamentos oscuros en el disco) son generalmente nubes quietas de material solar sostenidas sobre la superficie solar por los campos magnéticos. La mayoría de las prominencias entran en erupción en algún momento de su [ciclo de vida](#), emanando gran cantidad de material solar al espacio.



**Figura 3: Imagen que muestra las prominencias. Fuente** Spaceweather. Glossary.

### **Destellos**

Los destellos solares son intensas emanaciones temporales de energía. Desde observatorios en la Tierra son vistos como zonas brillantes en el Sol en longitudes de onda ópticas y como explosiones de ruido en longitudes de onda de radio; pueden durar de minutos hasta horas. Los destellos son los eventos explosivos más grandes de nuestro sistema solar que podrían equivaler a aproximadamente 40 billones de bombas atómicas del tamaño de la de Hiroshima. La fuente principal de energía para los destellos solares parece ser la ruptura y reconexión de fuertes campos magnéticos. Estos irradian a través de todo el espectro electromagnético, desde rayos gamma a rayos x, hasta la luz visible y las grandes longitudes de ondas de radio.



**Figura 4: Imagen que muestra un espectacular destello publicado por el observatorio de la tierra de la NASA.**

### **Eyecciones Coronales**

La atmósfera solar externa, la corona, está formada por fuertes campos magnéticos. Donde se cierran estos campos, usualmente sobre grupos de manchas solares, la atmósfera solar puede, de forma súbita y violentamente, soltar burbujas o lenguas de gas y campos magnéticos llamadas eyecciones coronales (EC). Una EC de gran tamaño puede contener  $10.0^{E16}$  gramos (un billón de toneladas) de materia que pueden ser impulsadas a millones de kilómetros por hora causando una explosión espectacular. La materia solar puede extenderse hacia el medio interplanetario, impactando planetas o sondas en su camino.



**Figura 5. Imagen que muestra una eyección de masa coronal . Fuente NOAA**

### **El espacio entre el Sol y la Tierra**

La región entre el Sol y los planetas es conocida como medio interplanetario. Este espacio se consideró en el pasado como una región vacía, pero en realidad es una región turbulenta dominada por el viento solar, que fluye a velocidades entre aproximadamente 250 a 1000 km por segundo. Otras características del viento solar (densidad, composición y la fuerza del campo magnético, entre otras) varían de acuerdo a las condiciones cambiantes del Sol.

El viento solar fluye alrededor de obstáculos tales como planetas, pero estos planetas con sus propios campos magnéticos responden de una manera específica. Des tas forma, el campo magnético de la Tierra es muy similar al patrón que forman las limaduras de hierro alrededor de un imán de barra. Bajo la influencia del viento solar, las líneas de estos campos magnéticos se comprimen en la dirección del Sol y se estiran hacia la dirección del viento. Esto es lo crea la magnetosfera, una compleja cavidad alrededor de la Tierra en forma de gota. Los cinturones de radiación de Van Allen se encuentran en esta cavidad, así como la ionosfera, una capa de la atmósfera alta donde se lleva a

cabo la foto-ionización por los rayos x solares y la radiación ultravioleta extrema crea electrones libres. El campo magnético de la Tierra es sensible al viento solar, su velocidad, densidad y su campo magnético.

Los cinturones de radiación Van Allen, que es una capa formada por partículas cargadas en rápido movimiento que son atrapadas por el campo magnético de la Tierra en una zona con forma de una dona que rodea el ecuador, tal y como se puede apreciar el campo magnético la tierra está distorsionado en forma de una gota debido al viento solar.



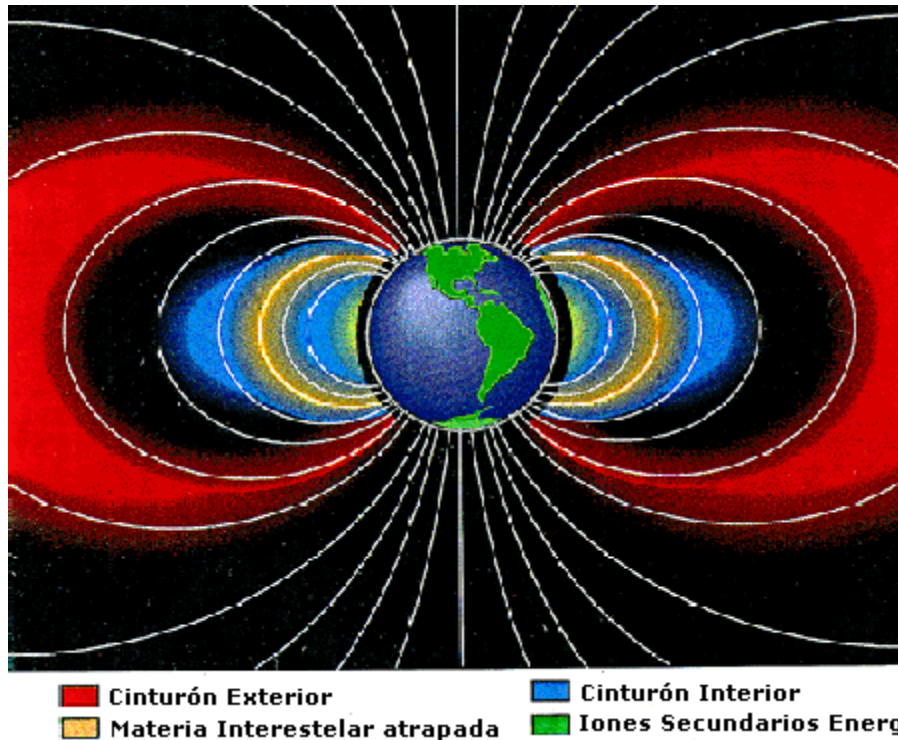


Figura 6. Imagen que muestra los Cinturones Van Allen

## El Viento Solar

De forma genérica, se denomina viento solar al flujo de partículas (en su mayoría protones de alta energía, de alrededor de 500 keV) emitidos por la atmósfera de una estrella. La composición elemental del viento solar en el Sistema Solar es idéntica a la de la corona solar: un 73% de hidrógeno y un 25% de helio, con algunas trazas de impurezas. Las partículas se encuentran completamente ionizadas, formando un plasma muy poco denso. En las cercanías de la Tierra, la velocidad del viento solar varía entre 200 y 889 km/s, siendo el promedio de unos 450 km/s. El Sol pierde aproximadamente 800 kg de materia por segundo en forma de viento solar.

Dado que el viento solar es plasma, extiende consigo el campo magnético solar. A una distancia de 160 millones de km, la rotación solar barre al viento solar en forma de espiral, arrastrando sus líneas de campo magnético, pero más allá de esa distancia el viento solar se dirige hacia el exterior sin mayor influencia directa del Sol. Las explosiones desusadamente energéticas de viento solar causadas por manchas solares y otros fenómenos atmosféricos del Sol se denominan "tormentas solares" y pueden someter a las sondas espaciales y los satélites a fuertes dosis de radiación.

Los cambios en la [actividad solar](#), afectan la atmósfera superior contribuyendo a cambios en el clima de la Tierra. Además de afectar el clima en la Tierra, la actividad solar genera un fenómeno visual en la atmósfera, pues cuando las partículas cargadas del viento solar se quedan atrapadas en el campo magnético de la Tierra, chocan con moléculas de aire sobre los polos magnéticos de la tierra. Estas moléculas de aire entonces empiezan a emitir luz y son conocidas como las auroras boreales y auroras australes.

## Ciclos solares

El Sol pasa por ciclos de alta y baja actividad que se repiten aproximadamente cada 11 años. El número de manchas oscuras en el Sol (manchas solares) marca esta variación, como el número de manchas solares, también aumenta la actividad solar. Las manchas solares son fuentes de llamaradas, los eventos más violentos en el sistema solar. En cuestión de minutos, una gran llamarada libera un millón de veces más energía que el terremoto más grande.

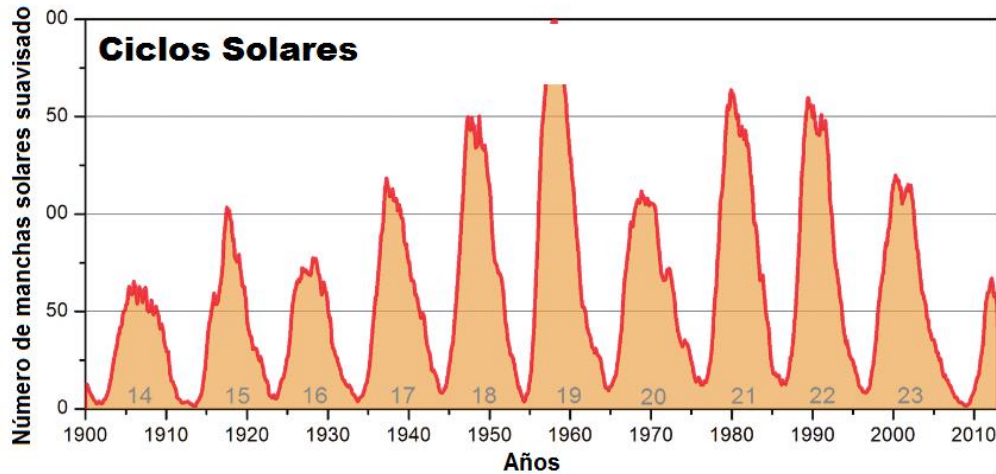


Figura 7. imagen que muestra la cantidad y magnitud de los ciclos solares en el siglo XX. Fuente NOAA

Usted puede ver un resumen de lo abordado hasta [aquí pinchando](#)

Reciente la NASA ha publicado un video que resume los principales eventos solares registrados en los últimos cuatro años

### Magnitud de las tormentas solares

La NOAA ha sugerido una escala para clasificar los eventos solares y magnéticos, tal y como existe la escala Fujita para los tornados, las categorías Saffir Simpson de los huracanes, y la escala de Richter para los terremotos. Las escalas son modelos útiles para comunicar la gravedad relativa de tiempo y otras alteraciones al público. Cada escala se basa en una medida física, y ha demostrado ser eficaz en la transmisión, para el público en general y expertos, sobre la gravedad relativa de un evento solar. Las escalas de Clima Espacial de NOAA rompen la continuidad de la posible gravedad de los eventos en categorías, cada una de las cuales es designado por un número y un solo descriptor.

Cada escala ofrece listas de los posibles efectos observados con cada categoría de actividad, la medida física que determina la categoría de un evento, y una [evaluación](#) climatológica que explica la frecuencia con la que se pueden esperar para ver los eventos de cada magnitud durante un ciclo solar.

Las categorías de cada escala se definen por el valor numérico de una medida física, pero los intervalos entre las categorías no siempre se escalan de manera uniforme con el valor de la medida física. Para las tormentas geomagnéticas, las categorías se diferencian por tramos del Kp, que en sí es un índice de escala logarítmica, resultando hoy en día la mejor estimación de la actividad geomagnética global disponible en tiempo casi real.

Tabla. Escalas de tormentas geomagnéticas

ESCALA	DESCRIPCIÓN	EFECTOS	PARÁMETROS FÍSICOS Kp. Determinados cada 3 horas:	FRECUENCIA MEDIA (1 CICLO = 11 AÑOS)
G5	Extrema.	<p>Sistemas eléctricos: Pueden tener lugar problemas de control de voltaje, extendidos y problemas de protección de sistemas eléctricos. Así mismo, puede haber fallos en el sistema eléctrico por colapso o pérdida de energía. Los transformadores podrían sufrir daños.</p> <p>Naves espaciales: Podrían experimentar carga de superficie extensiva, problemas con la orientación y el seguimiento vía satélite.</p> <p>Otros sistemas: Las instalaciones pueden alcanzar los cientos de amperios, podría resultar imposible la propagación por Alta Frecuencia en muchas zonas durante uno o dos días, se podría ver afectada la navegación vía satélite durante días, la radio frecuencia baja y podría observarse la aurora boreal en lugares tan bajos como Florida y el Sur de Texas</p>	Kp = 9	4 por ciclo (4 días por ciclo)
G4	Severa	<p>Sistemas eléctricos: Probables problemas de control de voltaje, extensos problemas de protección de sistemas.</p> <p>Naves espaciales: Podrían experimentar carga de superficie extensiva, problemas con la orientación y el seguimiento vía satélite. Podrían necesitarse correcciones en los problemas de orientación.</p> <p>Otros sistemas: Alteraciones en la radio de Alta Frecuencia, degradación por unas horas de la navegación por satélite y la aurora podrá verse en lugares tan bajos como Alabama y el norte de California</p>	Kp = 8 (incluyendo un Kp 9).	100 por ciclo (60 días por ciclo)
G3	Fuerte.	<p>Sistemas eléctricos: Podrían necesitarse correcciones de voltaje, falsas alarmas.</p> <p>Naves espaciales: podrían experimentar carga de superficie extensiva en componentes de los satélites, arrastre de satélites de órbita baja alrededor de la Tierra. Podrían necesitarse correcciones para solucionar problemas de orientación.</p> <p>Otros sistemas: podrían tener lugar problemas intermitentes de navegación por satélite, de radio frecuencia y la aurora podría verse en sitios tales como Illinois y Oregón</p>	Kp = 7	200 por ciclo (130 días por ciclo)
G2	Moderada	<p>Sistemas eléctricos: Podrían sucederse alarmas en sistemas de alto voltaje. Las tormentas de mayor duración podrían causar daños en los transformadores.</p>	Kp = 6	600 por ciclo (360 días por ciclo)



		<p>Naves espaciales: Tomar medidas para corregir la orientación desde el control terrestre, posibles cambios en las predicciones orbitales.</p> <p>Otros sistemas: Podría perderse la señal de AF en latitudes altas y la aurora podría verse en sitios tan bajos como Nueva York e Idaho</p>		
G1	Menor.	<p>Sistemas eléctricos: Podrían tener lugar fluctuaciones de energía eléctrica.</p> <p>Naves espaciales: Posibles impactos leves en las operaciones vía satélite.</p> <p>Otros sistemas: Los animales migratorios se verán afectados en este y en niveles mayores y la aurora será visible en altitudes elevadas (norte de Michigan y Maine)</p>	Kp = 5	1700 por ciclo (900 días por ciclo)

Fuentes: Servicio de Meteorología Nacional – Centro Medioambiental Espacial (página en inglés) [www.sec.noaa.gov/](http://www.sec.noaa.gov/) y NOAA. Centro Nacional de Datos Geofísicos y Geológicos. Geomagnetismo. (Página en inglés) [www.ngdc.noaa.gov/](http://www.ngdc.noaa.gov/)

### Efectos de las tormentas solares en la Tierra

La actividad solar episódica tiene una serie de efectos que son de interés para los humanos. Una dosis de radiación de partículas energéticas es un peligro para los astronautas y de vez en cuando para la electrónica a bordo de satélites.


También las perturbaciones del campo geomagnético pueden dañar los sistemas de energía y alterar las comunicaciones, degradar los sistemas de navegación de alta tecnología, o crear las auroras boreales o australes.

Los efectos pueden provenir por una serie de efectos que se explican a continuación:

#### Eventos de Protones

Los protones energizados pueden alcanzar la Tierra dentro de los 30 minutos posteriores a un destello solar importante. Durante este tipo de evento, la Tierra es bañada por partículas solares energizadas (primordialmente protones) emanadas del lugar del destello. Algunas de estas partículas se mueven en espiral por las líneas del campo magnético de la Tierra, penetrando en las altas capas de la atmósfera donde se produce una ionización adicional y pueden producir un aumento significativo en la cantidad de radiación ambiental.

#### Tormentas Geomagnéticas

De uno a cuatro días, de la ocurrencia de un destello o de una prominencia eruptiva, una nube más lenta de materia y campo magnético solar llega a la Tierra, golpeando la magnetosfera y resultando en una tormenta geomagnética. Estas tormentas son variaciones extraordinarias del campo magnético en la superficie de la Tierra. Durante una tormenta geomagnética, porciones de la energía del viento solar son transferidas a la magnetosfera, provocando cambios súbitos en dirección e intensidad del campo magnético de la Tierra y energizando la  población de partículas del mismo.

Los principales efectos estudiados hasta el momento son:

- Daños en las operaciones de satélites
- Daños en la navegación
- Daños en la Distribución de energía eléctrica
- Daños en la comunicación telefónica
- Daños en la Comunicación por radio HF

- Daños en la operación de los oleoductos
- Daños en exploración geofísica

## **Sistemas Afectados**

### **Comunicaciones**

Muchos sistemas de comunicaciones utilizan la ionosfera para reflejar señales de radio a grandes distancias. Las tormentas ionosféricas pueden afectar las comunicaciones de radio de alta frecuencia (HF, por sus siglas en inglés) en todas las latitudes. Algunas frecuencias de radio son absorbidas y otras son reflejadas, lo que produce señales que fluctúan rápidamente y siguen rutas de propagación inesperadas. Las estaciones comerciales de televisión y radio son poco afectadas por la actividad solar, pero las comunicaciones aero-terrestres, barco-puerto, los radio-aficionados son afectados frecuentemente. Los operadores de radio que utilizan frecuencias altas confían en las alertas de actividad solar y geomagnética para poder mantener los circuitos de comunicación funcionando.

Algunos sistemas militares de detección o sistemas de aviso temprano también se ven afectados por la actividad solar. Las señales de Radar sobre el horizonte se reflejan en la ionosfera para facilitar el rastreo del despegue de naves y misiles desde grandes distancias. Durante las tormentas geomagnéticas, este sistema podría ser seriamente afectado por desórdenes radiales. Algunos sistemas de detección de submarinos utilizan las "firmas" magnéticas de los submarinos como una de las entradas de sus esquemas de localización. Las tormentas geomagnéticas pueden distorsionar estas señales.

Cuando un avión y una estación terrestre están alineados con el Sol, puede existir interferencias en las frecuencias de los sistemas de radios. Esto también puede ocurrir cuando una estación terrestre, un satélite y el Sol están alineados.

Las tormentas de radiación, también conocidas como eventos de partículas solares o eventos de protones, pueden afectar las regiones bajas de la ionosfera polar. Esta región puede ser ionizada y ocurrir una severa absorción de señales HF y VHF. Esto es llamado un evento de Absorción en el Casquete Polar (PCA, por sus siglas en inglés). Los eventos PCA pueden durar varios días o semanas, y la propagación HF polar se hace frecuentemente imposible durante estos eventos.

### **Sistemas de Navegación**

Los sistemas de navegación como LORAN y OMEGA son afectados cuando la actividad solar afecta la propagación de sus señales. El sistema OMEGA consiste de ocho transmisores localizados a través del mundo. Los aviones y los barcos utilizan señales de frecuencias muy bajas de estos transmisores para determinar sus posiciones. Durante eventos solares y tormentas geomagnéticas, el sistema puede dar a los navegantes información incorrecta, algunas veces errando por algunos kilómetros. Los navegantes pudieran cambiarse a un sistema alternativo si son alertados de que está ocurriendo un evento de protones o una tormenta geomagnética. Las señales de los sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) son afectadas cuando la actividad solar provoca variaciones repentinas en la densidad ionosférica. Los GPS son utilizados para aplicaciones aún más precisas, incluyendo el mapeo de líneas costeras, estudios geodésicos para la construcción de autopistas, para aterrizar naves aéreas y para perforación de pozos de petróleo, entre otros.


### **Satélites**

Las tormentas geomagnéticas y el aumento en la emisión solar ultravioleta calientan la atmósfera alta de la Tierra provocando su expansión. El aire caliente sube y la densidad del aire en la órbita de satélites que se encuentran hasta unos 1000 Km se incrementa considerablemente. Esto provoca un incremento de la fricción de los satélites en el espacio, resultando en una reducción de su velocidad y en ligeros cambios de órbita. Si los satélites en órbitas bajas no son rutinariamente elevados, caerían y se quemarían en la atmósfera de la Tierra.

En la medida que la tecnología ha permitido que los componentes de las naves sean más pequeños, sus sistemas miniaturizados son más vulnerables a las partículas solares energizadas. Estas partículas pueden provocar daños físicos a los microchips y pueden cambiar los comandos de los programas en las computadoras de los satélites. Eventualmente, las descargas eléctricas pueden saltar entre componentes de la nave dañándolos e incluso deshabilitándolos.

La carga gruesa o profunda en los satélites ocurre cuando las partículas energéticas, principalmente electrones, penetran la cubierta exterior del satélite y deposita su carga eléctrica en las partes internas. Si se acumula carga suficiente en cualquier componente, este tratará de neutralizarse a través de descarga a otros componentes. Esta descarga es potencialmente peligrosa para los sistemas eléctricos del satélite.

### **Cargas Diferenciales**

Otro problema para los operadores de satélites son las cargas diferenciales. Durante las tormentas geomagnéticas, aumenta el número y la energía de los electrones e iones. Cuando un satélite viaja a través de este  ambiente energizado, las partículas cargadas que chocan contra la nave provocan que diferentes partes de ésta tengan cargas eléctricas diferentes. Eventualmente, las descargas eléctricas pueden llegar a los componentes de la nave y causar daño o invalidarlos.

### **Peligros de Radiación para los Humanos**

Los destellos solares intensos dejan escapar partículas altamente cargadas que pueden ser tan peligrosas para los humanos como las explosiones nucleares de radiación de baja energía. La atmósfera y la magnetosfera de la Tierra nos proveen la protección adecuada en la superficie de la Tierra, pero los astronautas en el espacio están expuestos a dosis letales de radiación. La penetración de partículas de alta energía en células vivientes, medidas en dosis de radiación, causa daños a los cromosomas y, potencialmente, cáncer. Grandes dosis serían fatales inmediatamente. Los protones solares con energías más altas que 30 MeV son los más peligrosos.

Los eventos solares de protones también pueden producir altas concentraciones de radiación en un avión volando a grandes alturas. Aun cuando estos riesgos son mínimos, la vigilancia constante de eventos solares a través de instrumentos en los satélites, permite que se vigile, y se evalúe, estas exposiciones ocasionales.


### **Exploración Geológica**

Los geólogos utilizan el campo magnético de la Tierra para determinar las estructuras de las rocas subterráneas. En la mayoría de las ocasiones, estos exploradores geodésicos están buscando petróleo, gas o depósitos minerales. Sólo pueden tener éxito cuando el campo magnético de la Tierra está en calma, y las señales magnéticas características puedan ser detectadas. Otros exploradores prefieren trabajar cuando ocurren tormentas geomagnéticas, porque las variaciones en las corrientes eléctricas subterráneas de la Tierra les permitan ver las estructuras minerales o petróleo bajo la superficie. Por estas razones, muchos exploradores utilizan las alertas geomagnéticas y las predicciones para programar sus actividades.

### **Energía Eléctrica**

Cuando los campos magnéticos se mueven cerca de un conductor, por ejemplo un cable, se induce una corriente eléctrica en el conductor. Esto ocurre a gran escala durante las tormentas geomagnéticas. Las compañías de energía eléctrica transmiten corriente alterna a sus clientes a través de largas líneas de transmisión. Durante estas tormentas se inducen corrientes casi directas, peligrosas para los equipos de transmisión.


### **Tendidos de Tuberías u Oleoductos**

Los campos magnéticos que fluctúan con rapidez pueden inducir corrientes eléctricas en los tendidos de tuberías. En momentos así pueden surgir muchos problemas para los ingenieros. Los medidores de flujo pueden transmitir información errónea, y se eleva dramáticamente la tasa de corrosión de los tubos. Si los ingenieros trataran de balancear estas corrientes durante una tormenta geomagnética, las tasas de corrosión aumentarían aún más. Los administradores de estos ductos reciben rutinariamente alertas y avisos que los ayudan a mantener un sistema eficiente y de larga  vida.

### **Efectos sobre el Clima**

El Sol es la fuente de calor que fuerza la circulación de nuestra atmósfera. Aunque se ha asumido durante mucho tiempo que es una fuente constante de energía, las mediciones recientes de esta constante solar han demostrado que la emisión base del Sol puede

disminuir temporalmente hasta medio punto porcentual. Los científicos atmosféricos opinan que esta variación es importante y puede llegar a modificar el clima. Se ha observado en los datos de los anillos de árboles que el crecimiento de las plantas varía durante los ciclos de 11 años de las manchas y los ciclos magnéticos de 22 años del Sol.

Aunque el ciclo solar se ha mantenido regular durante los últimos 300 años, hubo un periodo de 70 años durante los siglos 17 y 18 cuando se vieron muy pocas manchas solares. Esta disminución en el número de manchas solares coincidió con la Mini Era Glacial en Europa, implicando una conexión clima-Sol. Los vientos estratosféricos cerca del ecuador soplan en direcciones diferentes, dependiendo de que parte del ciclo solar se esté. Hay estudios en desarrollo que determinarán cómo los efectos de esta inversión del viento afectan los patrones de circulación global y clima. Durante los eventos de protones, más partículas energéticas alcanzan la atmósfera media de la Tierra. Allí, éstas causan ionización molecular, creando químicos que destruyen el  ozono atmosférico y permiten que cantidades mayores de la dañina radiación ultravioleta alcancen la superficie de la Tierra. Un evento solar de protones en 1982 causó una disminución temporal del 70% en la densidad del ozono.

### Efectos sobre la Biología


Existe una creciente cantidad de evidencia que indica que los cambios en el campo magnético afectan los sistemas biológicos. Los estudios indican que sistemas biológicos y humanos que están estresados físicamente pueden responder a fluctuaciones del campo magnético. El interés y la preocupación por este tema han llevado a la Unión Internacional de Radio Ciencias a crear una nueva comisión llamada Electromagnetismo en Biología y Medicina.

La variable posiblemente más estudiada de los efectos biológicos del Sol ha sido la degradación de las habilidades de navegación de las palomas durante una tormenta geomagnética. Las palomas y otros animales migratorios, como delfines o ballenas, tienen compases biológicos internos compuestos de mineral magnetita envuelta en células nerviosas.

Aunque puede que este no sea su método primordial de navegación, han ocurrido muchos accidentes en carreras de palomas durante tormentas magnéticas. "Accidente" es un término utilizado cuando sólo un porcentaje pequeño de palomas regresan a su hogar. Debido a que estas pérdidas han ocurrido durante tormentas geomagnéticas, los entrenadores de palomas han aprendido a solicitar las alertas y avisos de tormentas geomagnéticas cuando van a planificar sus carreras.

**Para ver un resumen de este segundo tópico [pinche aquí](#)**

### La radiación ultravioleta

Como es conocido, la  radiación solar contiene rayos ultravioletas, los cuales son importantes para la vida ya que estimula la producción de vitamina D en el organismo, pero exposiciones excesivas generan importantes daños. La gravedad de los daños depende del tipo de piel, del tiempo de exposición y del índice de radiación ultravioleta.

Se denomina radiación ultravioleta a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm ( $4 \times 10^{-7}$  m) y los 15 nm ( $1,5 \times 10^{-8}$  m). Su nombre se debe a que su rango inicia desde longitudes de onda más cortas de lo que los seres humanos identificamos como el color violeta. Esta radiación puede ser producida por los rayos solares y crea efectos importantes en la salud y la vida en la tierra.

Las formas de radiación ultravioleta que se conocen son: UV-C, UV-B y UV-A. Sin embargo la mayor parte de la radiación ultravioleta que llega a la Tierra lo hace en las formas UV-B y UV-A; principalmente en esta última, a causa de la absorción por parte de la atmósfera terrestre.

Estos rangos están relacionados con el daño que producen en el ser humano, de esta forma:

- La radiación UV-C es la más perjudicial para la vida y no llega a la tierra debido a que es absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera.
- La radiación UV-B es parcialmente absorbida por el ozono y sólo llega a la superficie de la tierra en un porcentaje mínimo, aunque puede llegar a producir daños.

Entre los daños que los rayos ultravioleta pueden provocar se incluyen el cáncer de piel, envejecimiento de ésta, irritación, arrugas, manchas o pérdida de elasticidad, conjuntivitis, cataratas y fotoqueratitis, es decir, una inflamación de la córnea del ojo. También pueden desencadenar lupus eritematoso sistémico.

La radiación ultravioleta produce mutaciones, porque produce daños al ADN, ya que crea dímeros de pirimidinas (generalmente dímeros de timina) que acortan la distancia normal del enlace, generando una deformación de la cadena de ADN.

### Índice de Radiación Ultravioleta

El índice de Radiación Ultravioleta es un indicador de la intensidad de la radiación proveniente del Sol en la superficie terrestre. El índice también señala la capacidad de la radiación en producir lesiones en la piel.

La Organización Mundial de la Salud junto con la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante publicaron un sistema estándar de medición del índice de radiación ultravioleta y una forma de presentarlo al público incluyendo un código de colores asociado: *Organización Mundial de la Salud, (2003)*

En la siguiente tabla se muestra el índice

**Tabla Índice de radiación ultravioleta solar**

Color	Riesgo	Índice UV
Verde	Bajo	< 2
Amarillo	Moderado	3-5
Naranja	Alto	6-7
Rojo	Muy Alto	8-10
Morado	Extremadamente alto	> 11

Fuente:(Organización Mundial de la Salud, 2003)

### Medidas de prevención según el índice de radiación ultravioleta.

Conocer el índice de radiación ultravioleta y las medidas que se deben adoptar es importante para prevenir enfermedades.

Cuando el valor del índice de rayos ultravioleta es elevado, significa que la exposición continua al sol puede causar daños en la piel, dependiendo del tiempo de permanencia al sol y del tipo de piel.

### Tipos de piel.

1. Piel muy clara. Es extra-sensible y se quema siempre. No resiste el bronceado.
2. Piel clara. Es sensible y se quema con facilidad. Raramente logra un bronceado.
3. Piel morena clara. Se considera una piel de tono normal. Se quema con moderación y su bronceado es gradual.
4. Piel morena oscura. Se considera una piel de tono normal. Apenas se quema. Siempre se broncea.
5. Piel oscura. Se considera una piel que no es sensible al sol. Se quema raramente. El bronceado es intenso.
6. Piel muy oscura. Con una pigmentación intensa.



Tabla. Tiempo máximo de exposición en minutos de acuerdo al tipo de piel (minutos)

Índice UV	Tipo de Piel					
	1	2	3	4	5	6
0	Indefinido	Indefinido	indefinido	indefinido	indefinido	Indefinido
1	112.0	140.0	175.0	218.7	273.5	341.8
2	56.0	70.0	87.5	109.4	136.7	170.9
3	37.3	46.7	58.3	72.9	91.2	113.9
4	28.0	35.0	43.8	54.7	68.4	85.5
5	22.4	28.0	35.0	43.7	54.7	68.4
6	18.7	23.3	29.2	36.5	45.6	57.0
7	16.0	20.0	25.0	31.2	39.1	48.8
8	14.0	17.5	21.9	27.3	34.2	42.7
9	12.4	15.6	19.4	24.3	30.4	38.0
10	11.2	14.0	17.5	21.9	27.3	34.2
11	10.2	12.7	15.9	19.9	24.9	31.1
12	9.3	11.7	14.6	18.2	22.8	28.5
13	8.6	10.8	13.5	16.8	21.0	26.3
14	8.0	10.0	12.5	15.6	19.5	24.4
15	7.5	9.3	11.7	14.6	18.2	22.8

Fuente: (Agencia Estatal de Meteorología, 2009)

Lo ideal es evitar una exposición excesiva al sol, especialmente durante las horas centrales del día, cuando las temperaturas son muy elevadas y el índice de radiación ultravioleta es alto.

En el caso de tener que trabajar al aire libre, es importante utilizar prendas protectoras como sombreros, gorras, camisetas de mangas largas, así como aplicar cremas protectoras sobre la piel.

Se recomienda utilizar gafas de sol especialmente diseñadas para filtrar la radiación ultravioleta.

Las cremas protectoras, especiales para repeler los dañinos rayos ultravioletas siguen un índice de protección contra los daños en la piel y suelen oscilar entre el índice 1 y el 50, o superior.

## Visión ultravioleta

Los humanos, al igual que la mayoría de los mamíferos, son incapaces de identificar el color ultravioleta, debido a que los primeros ancestros, mamíferos del Cretácico, eran principalmente nocturnos con el objeto de pasar inadvertidos y huir del gran poder de depredación de los dinosaurios. Por esta razón los antepasados humanos perdieron los fotoreceptores ultravioleta y rojo, de esta forma, cuando los mamíferos empezaron a colonizar el planeta, modificaron sus patrones de conducta. Se volvieron diurnos, y algunos órdenes recuperaron el fotoreceptor ultravioleta, de vital importancia para marcar el territorio pues la orina y las heces son una importante fuente de radiación ultravioleta. (Hockberger, P. E., 2002)

## Bibliografía consultada

Davies,  K., 1990, *Ionospheric Radio*. Peter Peregrinus, London.

Eather, R. H., 1980, *Majestic Lights*. AGU, Washington, D.C.

Garrett, H. B., and C. P. Pike, eds., 1980, *Space Systems and Their Interactions with Earth's Space Environment*. New York: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Gauthreaux, S., Jr., 1980, *Animal Migration: Orientation and Navigation.*, Chapter 5. Academic Press, New York.

Harding, R., 1989, *Survival in Space*. Routledge, New York.

Joselyn, J.A., 1992, The impact of solar flares and magnetic storms on humans. *EOS*, 73(7): 81, 84-85.

Johnson, N. L., and D. S. McKnight, 1987, *Artificial Space Debris*. Orbit Book Co., Malabar, Florida.

Lanzerotti, L. J., 1979, Impacts of ionospheric / magnetospheric process on terrestrial science and technology. In *Solar System Plasma Physics*, III, L. J. Lanzerotti, C. F. Kennel, and E.N. Parker, eds. North Holland Publishing Co., New York.

Campbell, W.H., 2001, *Earth Magnetism: A Guided Tour Through Magnetic Fields*, Harcourt Sci. and Tech. Co., New York

## Crédito de las Ilustraciones

Imagen del Sol H-alpha cortesía del "U.S. Air Force Solar Optical Observing Network".

Imagen de Luz Blanca del Sol del Satélite Japonés Yohkoh, cortesía del "Hiraiso Observatory".

Imagen del Sol en Rayos X del Satélite Japonés Yohkoh, cortesía del "Hiraiso Observatory".

Las demás imágenes fueron cortesía del "Space Environment Center", NOAA.

NOAA, [What are Solar Filaments and Prominences?](http://spaceweather.com/glossary/filaments.html) Accessed October 15, 2009. <http://spaceweather.com/glossary/filaments.html>

NOAA s/f. Space Weather. Storms from de Sun. Disponible en <http://www.swpc.noaa.gov/>