

# ARTÍCULO

## **CALENTAMIENTO GLOBAL Y ACTIVIDAD SOLAR**

*Blanca Mendoza*  
*Instituto de Geofísica*  
*Universidad Nacional Autónoma de México*  
[blanca@geofisica.unam.mx](mailto:blanca@geofisica.unam.mx)

### **CALENTAMIENTO GLOBAL Y ACTIVIDAD SOLAR**

#### **Resumen:**

El Sol es la estrella más cercana a nosotros, sostiene todos los procesos biodinámicos de la Tierra y determina las condiciones fisicoquímicas de los planetas vecinos. Conforme la tecnología se ha desarrollado utilizando corrientes, conductores y ondas electromagnéticas, los efectos solares se han vuelto evidentes. Durante la segunda guerra mundial las radiocomunicaciones se empezaron a usar intensamente; a partir de entonces los efectos solares se reconocieron como un problema serio. Desde esa fecha, nuestra dependencia de la tecnología electrónica ha crecido enormemente, y con ello el potencial dañino del Sol.

**Palabras clave:** Sol, fisicoquímicas, electromagnéticas, tierra

### **GLOBAL HEATING AND SOLAR ACTIVITY**

#### **Abstract:**

The Sun, is the star nearest us, maintains all the biodinámicos Earth processes and determines the fisicoquímicas conditions of neighboring planets. In agreement the technology has been developed using current, conductive and electromagnetic waves, the solar effects have become evident. During World War II the radio communications began to use intensely; from then the solar effects they were recognized like a serious problem. From that date, our dependency of the electronic technology has grown enormously, and with it the harmful potential of the Sun.

**Key words:** Sun, fisicoquímicas, electromagnetic, earth

## **Introducción**

El Sol es la estrella más cercana a nosotros, sostiene todos los procesos biodinámicos de la Tierra y determina las condiciones físicoquímicas de los planetas vecinos.

El Sol envía al medio interplanetario varios productos de su actividad: la radiación solar o irradiancia solar, las emisiones de masa de su atmósfera, ya sea en forma continua, como el llamado viento solar, o bien esporádica, como las eyecciones de masa coronal; también llegan partículas energéticas provenientes de explosiones solares llamadas fulguraciones o también de eyecciones de masa coronal. Como todas estas emisiones salen junto con el campo magnético del Sol, el espacio interplanetario está lleno del campo magnético y la atmósfera solares. Las fulguraciones emiten además una gran cantidad de energía luminosa en una amplia gama de longitudes de onda.

La respuesta de nuestro planeta a los productos de la actividad solar se da a través de la llamada actividad geomagnética. El viento solar confina al campo magnético terrestre o campo geomagnético en una cavidad conocida como la magnetosfera. Ésta ocasionalmente se conecta con las líneas del campo magnético interplanetario, como lo muestra la Figura 1, permitiendo en ese caso la entrada de material y partículas solares al entorno terrestre, lo cual produce cambios abruptos de la intensidad del campo magnético: las tormentas magnéticas. Las auroras (Figura 2) son otro resultado indiscutible de la interacción de la atmósfera solar con la terrestre: las partículas del viento solar interactúan con el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera, los cuales se excitan y al desexcitarse emiten los hermosos colores de las auroras.

## **El Sol y la Tecnología**

Conforme la tecnología se ha desarrollado utilizando corrientes, conductores y ondas electromagnéticas, los efectos solares se han vuelto evidentes. Durante la segunda guerra mundial las radiocomunicaciones se empezaron a usar intensamente; a partir de entonces los efectos solares se reconocieron como un problema serio. Desde esa fecha, nuestra dependencia de la tecnología electrónica ha crecido enormemente, y con ello el potencial dañino del Sol. El colapso masivo del sistema hidroeléctrico de Québec en Canadá en 1989, que dio por resultado la pérdida temporal de 9 mil 450 megawatts de potencia eléctrica, marcó el momento en que no sólo la comunidad científica, sino el público en general, se preocuparon por la actividad solar. Algunos de los efectos que actualmente representan un problema son:

*Las corrientes inducidas geomagnéticamente.* Durante una tormenta magnética, las corrientes que fluyen en la región ionizada de nuestra atmósfera, la ionosfera, cambian rápidamente, produciendo su propio campo magnético, el cual se combina con el terrestre. Al nivel del piso también hay un cambio en el campo magnético, que induce corrientes eléctricas en cualquier conductor que esté presente. Frecuentemente no notamos estas *corrientes geomagnéticamente inducidas*. En un buen conductor, como los gaseoductos, oleoductos o líneas de transmisión eléctrica, las corrientes viajan por sus paredes. Los voltajes generados producen diferencias de potencial de por ejemplo 10 volts en un kilómetro, lo cual en un oleoducto de mil kilómetros genera una enorme diferencia de potencial de 10 mil volts. Las corrientes eléctricas inducidas son más peligrosas a altas latitudes, y en áreas que están sobre grandes depósitos de roca ígnea. Debido a que las rocas ígneas tienen una baja conductividad, las corrientes inducidas viajan a través de los conductores hechos por el ser humano causando su corrosión y mal funcionamiento. Aunque las compañías eléctricas y petroleras diseñan mecanismos de protección, al construir más y mayores sistemas de potencia la vulnerabilidad se incrementa.

*Las comunicaciones.* Los satélites artificiales están en órbitas fuera de la mayor porción de la atmósfera terrestre, y por tanto hay poca fricción sobre ellos. Los satélites de comunicaciones se encuentran a casi 6 radios terrestres (un radio terrestre equivale 6 mil 378 kilómetros), pero hay satélites que orbitan más bajo. Durante épocas de alta actividad solar se incrementa la radiación ultravioleta y la precipitación de partículas energéticas a la atmósfera terrestre, calentándola y expandiéndola. Entonces los satélites de órbitas más bajas están en una atmósfera más densa, lo que incrementa la fricción sobre ellos, alterando sus órbitas y causando que algunos se precipiten a tierra. Los satélites en órbitas altas se encuentran bien protegidos dentro de la magnetosfera, pero si hay un evento particularmente intenso, por ejemplo una eyección de masa coronal muy energética, la magnetosfera se comprime y el satélite queda fuera de su cobijo, causando que las partículas energéticas y del viento solar corroan al satélite y dañen sus componentes.

Las radiotelecomunicaciones que se realizan a través de la ionosfera se ven también afectadas, al producirse allí ionización adicional debido a radiación ultravioleta y los rayos X, así como a partículas energéticas provenientes de eyecciones de masa coronal, fulguraciones solares o rayos cósmicos.

### **Actividad Solar y Clima**

Como los efectos del Sol en la atmósfera superior de nuestro planeta son notables, entonces nos podemos hacer la siguiente pregunta: ¿tendrá la actividad solar también una influencia directa sobre la capa atmosférica más baja, la troposfera, que es donde se produce el clima? Estaríamos tentados a responder afirmativamente, puesto que nadie duda de que es el Sol el que provee la energía de la troposfera poniendo en marcha complicados mecanismos para generar huracanes, tormentas, regular el ciclo hidrológico, etcétera.

Desde hace ya varios siglos se ha formulado esta pregunta y por tanto se han dado algunas propuestas, por ejemplo, ya en 1645, Antonii Mariae Scheyreli sugirió que un incremento en las manchas solares podría estar asociado con un clima frío. Para 1801, William Herschell decía que los altos precios de trigo indicaban un clima frío y lo asociaba con la aparición de pocas manchas solares. Las manchas solares se encuentran en la atmósfera solar más profunda, y tienen intensos campos magnéticos y temperaturas menores que sus alrededores, por ello se ven oscuras en contraste. Gracias a la variación de su número se identificó el ciclo solar de actividad de 11 años (Figura 3).

La radiación solar que han medido los satélites en las últimas tres décadas tiene una variación muy pequeña a lo largo del ciclo solar: 0.1 % entre el mínimo y el máximo. Tal cambio es despreciable al ser introducido en los modelos climáticos, y por ello no se le toma en cuenta. Incluso, en los medios meteorológicos, al total de la radiación solar se le llama "constante solar", aun cuando varía. Sin embargo, en otras épocas la variación de la radiación solar ha sido más importante, llegando a incrementarse o disminuir entre 1 y 2 %. Es bien conocido que en el siglo 17 los ríos europeos se congelaron por varias decenas de años; se calcula que la temperatura promedio global del planeta bajó un grado centígrado. Este descenso coincidió con el llamado mínimo de Maunder de la actividad solar, durante el cual el Sol no tuvo manifestaciones de actividad por 70 años, disminuyendo apreciablemente fenómenos tales como las manchas y la irradiancia solares .

El clima de la Tierra es primeramente una manifestación de cómo la radiación solar es absorbida, redistribuida en el sistema atmósfera-oceano y posteriormente re-radiada hacia el espacio exterior. La composición de la atmósfera incide directamente en el balance global de energía, ya que sus componentes reflejan o absorben la radiación solar proveniente del espacio, así como la radiación térmica reemitida por la superficie terrestre en diferentes formas.

La radiación solar que llega al tope de la atmósfera esta compuesta de todas las longitudes de onda, sin embargo, al penetrar en la atmósfera la radiación más energética, es decir con longitud de onda más corta, es absorbida por la atmósfera superior. Por tanto a la troposfera sólo llegan radiaciones en el visible, una ventana en radio y radiaciones de mayor longitud de onda. Al llegar a tierra estas radiaciones son degradadas al infrarrojo o calor. Este calor vuelve a la atmósfera pero el vapor de agua principalmente, y otros gases tales como el bióxido de carbono y el metano la atrapan. Esto produce un calentamiento de la superficie terrestre, llamado *Efecto Invernadero*.

El *Efecto Invernadero* esta íntimamente ligado con el problema del calentamiento global. La idea general sobre el fenómeno del calentamiento global es la siguiente: desde 1880 a la fecha ha habido un aumento constante del bióxido de carbono provocado por la actividad industrial y esto está provocando un efecto invernadero que conduce al calentamiento planetario. De hecho, el aumento de temperatura promedio observado desde principios del siglo 20 es de aproximadamente 0.5 °C.

En la Figura 4 mostramos la gráfica de la irradiancia solar, y dos gráficas de la temperatura del Hemisferio Norte, desde los años 1600 a 2000. Son gráficas que se hicieron combinando mediciones directas y reconstrucciones, basadas en otros parámetros terrestres. Al comparar las curvas se observan algunas cosas:

a) Entre 1610 y 1650 se nota una reducción de temperatura. Luego un incremento notable de 1710 hasta cerca de 1790. Un nuevo decremento de temperatura se da alrededor de 1810. Se da un nuevo incremento después de 1810 y luego la temperatura se mantiene más o menos constante hasta 1925.

b) El mayor incremento de temperatura de todo el periodo (1600-2000) se observa a partir de 1925. En 1970 hay una disminución y después de este año se da un incremento aún mayor.

c) Como el bióxido de carbono siempre ha ido en aumento, la explicación que se da a la disminución de temperatura alrededor de 1970 es que la producción industrial de aerosoles tiene un efecto de enfriamiento que compensa al efecto de invernadero.

d) La irradiancia solar desde 1600 y hasta 1970 sigue más o menos las mismas tendencias que las curvas de temperatura. Pero ya para 1980 la temperatura sigue en pronunciado aumento sin que la irradiancia la siga.

La conclusión a la que llegamos es que en el cambio de la temperatura terrestre, el Sol ha jugado un papel muy importante hasta la década de los 70', pero después la actividad industrial definitivamente ha venido dominando.

La radiación solar, siendo parte de la actividad solar cambia con ésta. No sabemos cuándo el Sol presentará periodos de mucha menor o mucha mayor actividad y por tanto de radiación, como ya lo ha hecho en el pasado, por ejemplo o durante el mínimo de Maunder. Es por ello que la variabilidad solar debe incluirse en los modelos climáticos.

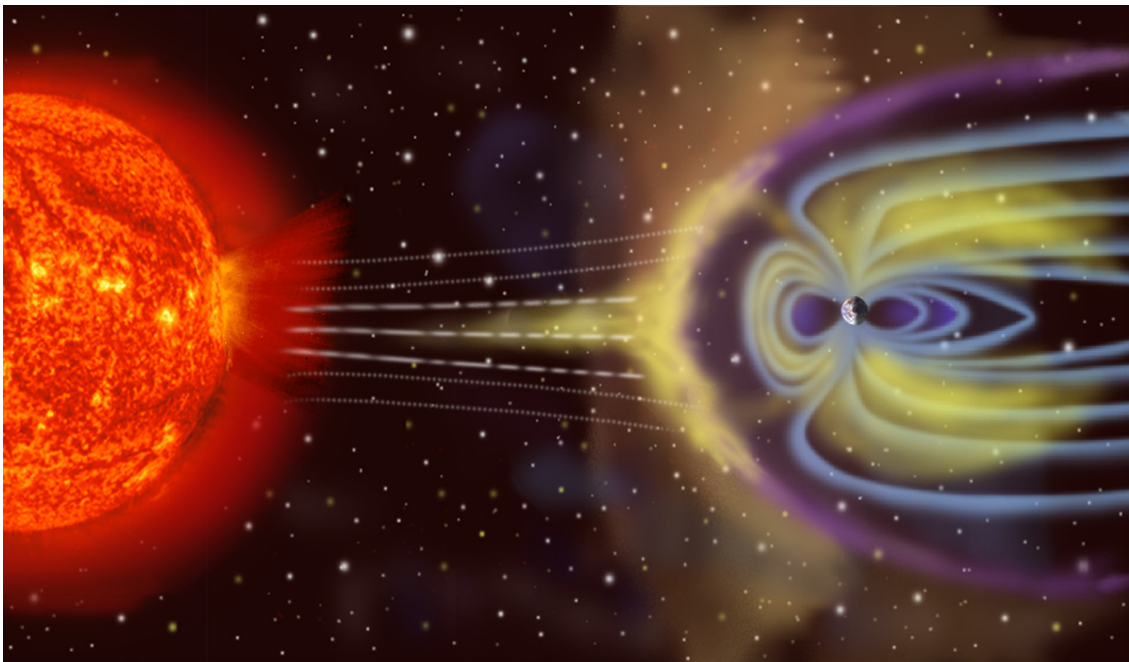


Figura 1. Se observa la cavidad magnética terrestre o Magnetosfera. Si al llegar al entorno terrestre el material proveniente del Sol posee un campo magnético con una dirección opuesta al campo geomagnético, entonces ambos campos se pueden reconectar permitiendo la entrada de material y partículas energéticas solares.



Figura 2. Una espectacular aurora, producto del ingreso del viento solar a la alta atmósfera terrestre.

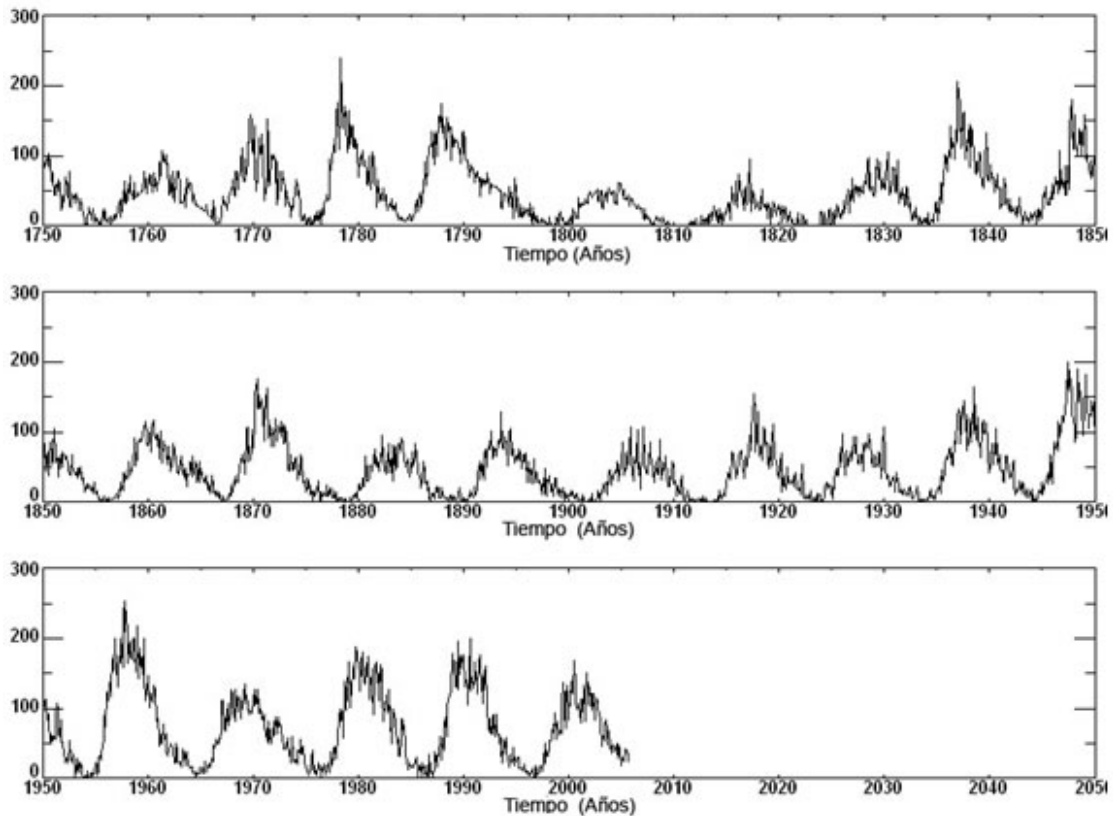


Figura 3. El ciclo solar se observa en el número promedio por mes de manchas solares. Entre mínimo y mínimo de este número hay aproximadamente 11 años.

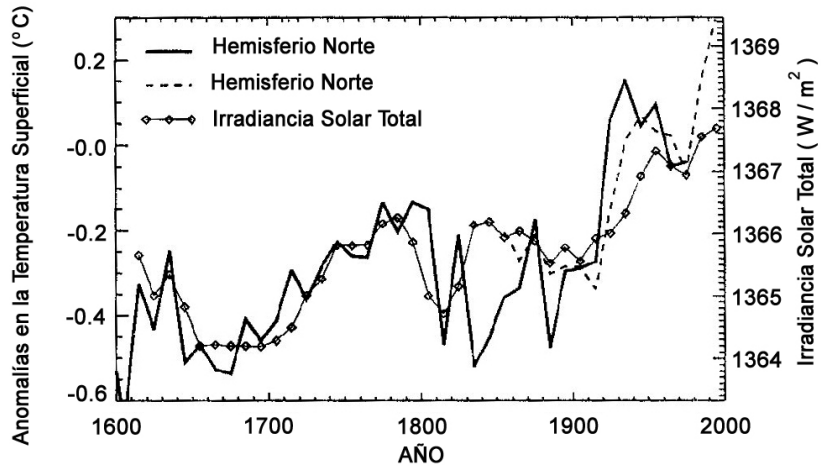


Figura 4. Las líneas llena y punteada corresponden a la temperatura del Hemisferio Norte y la línea con círculos a la irradiancia. Hasta década de los 70' las variaciones de la irradiancia solar reproducen razonablemente la temperatura pero después de los 80', la reproducción ya no es buena. Por tanto otras fuentes de variabilidad solar o diferentes de la fuente solar deben estar presentes.



### **Bibliografía**

Bravo, S. *Encuentro con Una Estrella*, Vol. 38, colección La Ciencia para Todos, Fondo de Cultura Económica, 1987.

Hartmann W. K., *Moons and Planets*, Ed. Wodsworth, 1993.

Herrera Andrade, Miguel Ángel, *El Origen del Universo*, colección Viaje al Centro de la Ciencia, ADN, 2004.

Mendoza, B. *Actividad Solar y Clima*, Monografías del Instituto de Geofísica, No. 8, 2006.

Mendoza, B., Cordero, G., Lara, A., Maravilla, D., Valdés, J.F. y Velasco, V. *Introducción a la Física Espacial*, Dir. Gral. de Publ. UNAM, 2008.

Muñiz-Barreto L., *El Geomagnetismo*, Cuadernos del Instituto de Geofísica, No.11, UNAM-Plaza y Valdés, 1997.

Otaola, J.A. y Valdés-Galicia, J.F., *Los Rayos Cósmicos: Mensajeros de las Estrella* Vol. 108, colección la Ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica, México 1992.

Otaola, J. A., Mendoza, B. y Pérez, R., *El Sol y la Tierra: una Relación Tormentosa* Vol. 114, colección la Ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica, 1993.

Revista *Ciencia*, Vol. 57 No 1, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, 2006.

### DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

<http://solarviews.com/eng/homepage.htm>

<http://www.nasa.gov/home/index.html>

[http://pdsimg.jpl.nasa.gov/cgi-bin/Atlas/search.pl?INSTRUMENT\\_HOST\\_NAME=MARS\\_GLOBAL\\_SURVEYOR](http://pdsimg.jpl.nasa.gov/cgi-bin/Atlas/search.pl?INSTRUMENT_HOST_NAME=MARS_GLOBAL_SURVEYOR)

<http://ssd.jpl.nasa.gov/>

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

<http://www.geofisica.unam.mx/isyp/rcosmicos.htm>

<http://www.geofisica.unam.mx/isyp/osga.html>

<http://www.veso.unam.mx>