

# 5

## El monitoreo de la actividad solar

## El monitoreo de la actividad solar

Cristian Alberto Góez Therán<sup>1</sup>

### Resumen

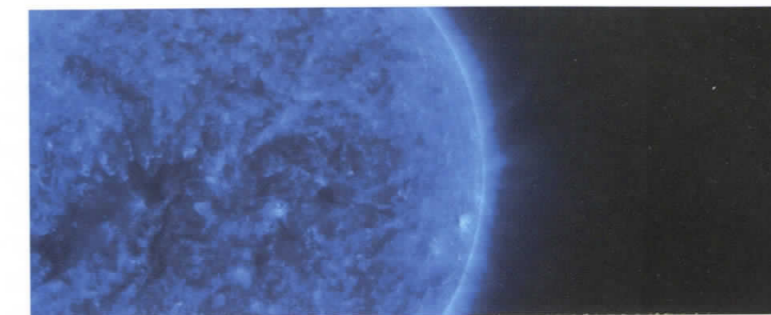
A lo largo de los últimos años se ha observado cómo la temperatura del aire ha variado significativamente. La presencia de temperatura del aire elevada y el cambio en las demás características relacionadas con la variación climática preocupan considerablemente a toda la comunidad. No tener presente el papel de la actividad solar en la variación del clima, mantiene desinformada a la comunidad académica y científica sobre cómo fenómenos naturales que ocurren a cientos de miles de kilómetros de la atmósfera terrestre, y que son parte esencial de las actividades diarias de los seres que habitan el planeta Tierra, pueden influir en acontecimientos como el aumento de cáncer de piel, derretimiento de glaciales, desarrollo de incendios forestales, etc. Se sabe que la actividad solar es el motor de calor que maneja la circulación de la atmósfera de la Tierra. Aun cuando durante mucho tiempo se la ha visto como una fuente constante de energía, las mediciones recientes de esta constante han demostrado

que la emisión base del Sol puede variar hasta dos décimas por ciento durante el ciclo solar de 11 años. Por lo tanto, es importante el estudio del ciclo solar, la presencia de manchas solares, el análisis solar a través del monitoreo en longitudes de ondas en el extremo ultravioleta, observaciones de las sondas espaciales de la Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio (NASA) – SOHO Y STEREO, análisis a los reportes del Observatorio Carl Sagan de la ciudad de Sonora en México D. F., ciclos solares con base en los datos del Royal Observatory of Belgium-Brussel, el análisis de las espículas, playas cromoféricas, hoyos coronales solares y las Emisiones de Masa Coronal.

### Palabras clave:

*Actividad solar, ciclo solar, circulación de la atmósfera de la Tierra, extremo ultravioleta, espículas, playas cromoféricas, hoyos coronales solares, Emisiones de Masa Coronal.*

<sup>1</sup> crisgote2005@hotmail.com



### Abstract

Over recent years, has observed how the air temperature has changed significantly. The presence of high air temperature and changing other characteristics related to climatic variation very concerned about the entire community. Not having in mind the role of solar activity on climate change, remains uninformed of the academic and scientific community about natural phenomena that occur hundreds of miles of Earth's atmosphere and are an essential part of daily activities beings inhabiting the planet Earth, can influence events such as increased skin cancer, melting of glaciers, development of forest fires. It is known that solar activity is the heat engine that handles the movement of the Earth's atmosphere. Although it long has been a constant source of energy, recent measurements of this constant have shown that the basic issue of the Sun can vary by up to two

tenths percent during the 11-year solar cycle. Therefore it is important to study the solar cycle, the presence of sunspots, solar analysis through monitoring at wavelengths in the extreme ultraviolet observations from space probes of the National Aeronautics and Space Administration (NASA) -- SOHO and STEREO, analysis reports of Carl Sagan Center of the City of Sonora in Mexico City, solar cycles based on data from the Royal Observatory of Belgium-Brussel, analysis of the spicules, cromoféricas beaches, sun and coronal holes Coronal mass emissions.

### Key words:

*Solar activity, solar cycle, movement of the Earth's atmosphere, extreme ultraviolet, spicules, beaches cromoféricas, solar coronal holes, coronal mass emissions.*

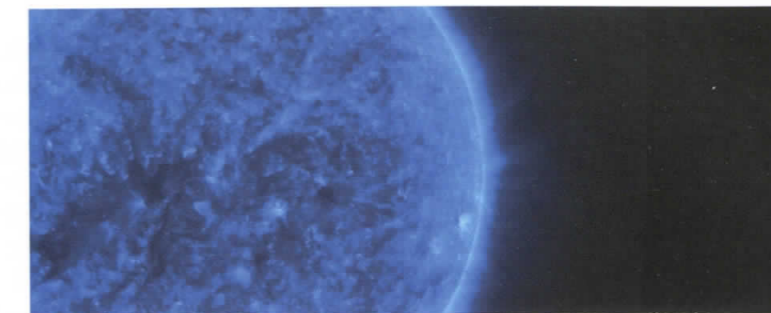
### Introducción

A lo largo de los últimos años se ha observado cómo la temperatura del aire ha variado significativamente. La presencia de temperatura del aire elevada y el cambio en las demás características relacionadas con la variación climática preocupan considerablemente a toda la comunidad. El no tener presente el papel de la actividad solar en la variación del clima, mantiene desinformada a la comunidad académica y científica sobre cómo fenómenos naturales que ocurren a cientos de miles de kilómetros de la atmósfera terrestre, y que son parte esencial de las actividades diarias de los seres que habitan el planeta Tierra, pueden influir en acontecimientos como el aumento de cáncer de piel, derretimiento de glaciares, desarrollo de incendios forestales y otros sucesos que han venido acrecentándose en las últimas décadas. Si no se tienen claros los efectos de la presencia de manchas solares y la actividad solar en el planeta tierra, se puede o no asumir un buen conocimiento de los factores a tener en cuenta en el estudio del clima de una región determinada.

Se sabe que la actividad solar es el motor de calor que maneja la circulación de la atmósfera de la Tierra. Aun cuando durante mucho tiempo se la ha visto como una fuente constante de energía, las mediciones recientes de esta constante han demostrado que la emisión base del Sol puede variar hasta dos décimas por ciento durante el ciclo solar de 11 años. Lo anterior crea la necesidad de estudiar la actividad solar (manchas solares, explosiones de masa coronal, playas cromoféricas), con el fin

de encontrar su influencia en la variación del clima del planeta Tierra. Es importante tener en cuenta el ciclo solar, la presencia de manchas solares, para evaluar estadísticamente la variabilidad de la temperatura media del aire, de los valores mínimos y máximos de la temperatura del aire, la precipitación y el brillo solar en un determinado lugar. La información para el análisis se obtendrá de las sondas espaciales de la Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio (NASA), reportes del Observatorio Carl Sagan de la ciudad Sonora en México D.F, además, base de datos del Royal Observatory of Belgium-Brussels referentes a cantidad anual, mensual y diarias de manchas solares.

A nivel mundial existen investigaciones realizadas enfocadas a la búsqueda de relación de abundancia de manchas solares con las fuertes lluvias en el África oriental (American Geophysical Union, 2007). En dicha investigación, se revelaron las correlaciones entre manchas solares y períodos de intensas lluvias en África, manifestadas en intensas precipitaciones que a menudo acarrear inundaciones y brotes de enfermedades. El análisis fue realizado por un equipo de investigadores americanos y británicos que logró mostrar que las precipitaciones inusualmente intensas en África oriental durante el siglo pasado precedieron a picos de actividad de manchas solares en alrededor de un año. Este hecho es de suma importancia, ya que debido a que los períodos de picos de actividad de manchas, conocidos como máximos solares, son predecibles, también lo son las intensas lluvias asociadas que les preceden (American Geophysical Union, 2007).



### Abstract

Over recent years, has observed how the air temperature has changed significantly. The presence of high air temperature and changing other characteristics related to climatic variation very concerned about the entire community. Not having in mind the role of solar activity on climate change, remains uninformed of the academic and scientific community about natural phenomena that occur hundreds of miles of Earth's atmosphere and are an essential part of daily activities beings inhabiting the planet Earth, can influence events such as increased skin cancer, melting of glaciers, development of forest fires. It is known that solar activity is the heat engine that handles the movement of the Earth's atmosphere. Although it long has been a constant source of energy, recent measurements of this constant have shown that the basic issue of the Sun can vary by up to two

tenths percent during the 11-year solar cycle. Therefore it is important to study the solar cycle, the presence of sunspots, solar analysis through monitoring at wavelengths in the extreme ultraviolet observations from space probes of the National Aeronautics and Space Administration (NASA) -- SOHO and STEREO, analysis reports of Carl Sagan Center of the City of Sonora in Mexico City, solar cycles based on data from the Royal Observatory of Belgium-Brussel, analysis of the spicules, cromoféricas beaches, sun and coronal holes Coronal mass emissions.

### Key words:

*Solar activity, solar cycle, movement of the Earth's atmosphere, extreme ultraviolet, spicules, beaches cromoféricas, solar coronal holes, coronal mass emissions.*

### Introducción

A lo largo de los últimos años se ha observado cómo la temperatura del aire ha variado significativamente. La presencia de temperatura del aire elevada y el cambio en las demás características relacionadas con la variación climática preocupan considerablemente a toda la comunidad. El no tener presente el papel de la actividad solar en la variación del clima, mantiene desinformada a la comunidad académica y científica sobre cómo fenómenos naturales que ocurren a cientos de miles de kilómetros de la atmósfera terrestre, y que son parte esencial de las actividades diarias de los seres que habitan el planeta Tierra, pueden influir en acontecimientos como el aumento de cáncer de piel, derretimiento de glaciares, desarrollo de incendios forestales y otros sucesos que han venido acrecentándose en las últimas décadas. Si no se tienen claros los efectos de la presencia de manchas solares y la actividad solar en el planeta tierra, se puede o no asumir un buen conocimiento de los factores a tener en cuenta en el estudio del clima de una región determinada.

Se sabe que la actividad solar es el motor de calor que maneja la circulación de la atmósfera de la Tierra. Aun cuando durante mucho tiempo se la ha visto como una fuente constante de energía, las mediciones recientes de esta constante han demostrado que la emisión base del Sol puede variar hasta dos décimas por ciento durante el ciclo solar de 11 años. Lo anterior crea la necesidad de estudiar la actividad solar (manchas solares, explosiones de masa coronal, playas cromoféricas), con el fin

de encontrar su influencia en la variación del clima del planeta Tierra. Es importante tener en cuenta el ciclo solar, la presencia de manchas solares, para evaluar estadísticamente la variabilidad de la temperatura media del aire, de los valores mínimos y máximos de la temperatura del aire, la precipitación y el brillo solar en un determinado lugar. La información para el análisis se obtendrá de las sondas espaciales de la Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio (NASA), reportes del Observatorio Carl Sagan de la ciudad Sonora en México D.F, además, base de datos del Royal Observatory of Belgium-Brussels referentes a cantidad anual, mensual y diarias de manchas solares.

A nivel mundial existen investigaciones realizadas enfocadas a la búsqueda de relación de abundancia de manchas solares con las fuertes lluvias en el África oriental (American Geophysical Union, 2007). En dicha investigación, se revelaron las correlaciones entre manchas solares y períodos de intensas lluvias en África, manifestadas en intensas precipitaciones que a menudo acarrear inundaciones y brotes de enfermedades. El análisis fue realizado por un equipo de investigadores americanos y británicos que logró mostrar que las precipitaciones inusualmente intensas en África oriental durante el siglo pasado precedieron a picos de actividad de manchas solares en alrededor de un año. Este hecho es de suma importancia, ya que debido a que los períodos de picos de actividad de manchas, conocidos como máximos solares, son predecibles, también lo son las intensas lluvias asociadas que les preceden (American Geophysical Union, 2007).

Al confeccionar un modelo de la actividad magnética solar (Baker, 2001) se descubrió que las lluvias aumentaban en períodos de actividad alta, y que se producían sequías cuando el Sol se mantenía estable. Esto sugería que las fluctuaciones impactaban en la atmósfera superior, lo que a su vez se reflejaba en cambios del Índice de Oscilación Austral (SOI), en la medida de la presión del aire sobre el Océano Pacífico que se utiliza como un indicador confiable de las sequías e inundaciones.

También se ha estudiado que la luminosidad del Sol puede variar demasiado poco como para ser responsable de las grandes variaciones en el clima. Se ha observado, a partir de compilaciones de datos de satélites meteorológicos, que la nubosidad varía en relación con el número de partículas atómicas que llegan desde las estrellas que explotan. Entre más rayos cósmicos (partículas de alta energía) hayan, habrán más nubes. El campo magnético del Sol rechaza muchos de esos rayos cósmicos, y su intensificación durante el siglo XX significó menos rayos cósmicos, menos nubes, y un mundo más cálido (Svensmark, 2004).

El único problema con la idea, es que los meteorólogos negaban que los rayos cósmicos pudieran estar involucrados con la formación de nubes. Después de muchas dificultades para conseguir los fondos para un experimento, el Centro Espacial Nacional Danés obtuvo en 2005 un éxito total. En una caja de aire en un sótano pudieron demostrar que los electrones liberados por los rayos cósmicos que atravesaban el techo unían gotitas de ácido sulfúrico y de agua. Estos son los bloques constitutivos de la condensación de nubes. (Svensmark, 2004).

Ahora bien, las diversas investigaciones muestran que las nubes bajas cubren más de un cuarto de la Tierra y ejercen un fuerte efecto de enfriamiento en la superficie. El 2% de cambio en la cantidad de nubes bajas durante un ciclo

solar variaría el ingreso de calor a la superficie de la Tierra en una cantidad casi igual al efecto de invernadero de todo el dióxido de carbono adicional introducido en la atmósfera desde la Revolución Industrial (Mitchell y Hulme, 2001). Las investigaciones realizadas con la utilización de varios métodos de medición concuerdan en que en el siglo XX hubo una reducción pronunciada de los rayos cósmicos, de tal modo que los flujos máximos hacia fines del siglo eran similares a los mínimos observados alrededor de 1900. Esto estaba en concordancia con el descubrimiento de que el campo magnético auroral del Sol duplicó su fuerza durante el siglo XX. Aquí habría entonces una evidencia, para sospechar que buena parte del calentamiento del mundo durante el siglo XX podría deberse a la reducción de los rayos cósmicos y, por lo tanto, a una disminución de la cubierta de nubes. (Mitchell y Hulme, 2001).

Con el fin de analizar los ciclos solares recientes para prever el futuro, el equipo de la National Center for Atmospheric Research (NCAR) y de la Universidad de Pennsylvania, usaron un modelo informático de la termosfera que incorpora tanto los ciclos solares como el incremento gradual de dióxido de carbono atmosférico derivado de las actividades humanas (artículo de la revista *Tendencia 21*, revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura). El equipo también utilizó una predicción para el próximo ciclo solar (Mausumi Dikpati, 2006), que señalaba que habrá un ciclo solar más fuerte de lo normal en la próxima década. Los resultados señalaron que la reducción de la densidad en la termosfera sería de tres a cuatro veces más rápida durante la actividad solar mínima que durante la máxima. Muchos satélites, incluido el de la Estación Espacial Internacional y el telescopio espacial Hubble, siguen una órbita baja alrededor de la Tierra, de unos 480 kilómetros de altura. Con el tiempo, las capas altas de la atmósfera atraen a los satélites más cerca de la Tierra. La fuerza de dicha atracción depende de la

densidad de la termosfera, por lo que es necesario conocer con mayor precisión los cambios que se producen en su interior. Si la densidad de la termosfera se reduce, se puede ver modificado el tiempo de vida de los satélites. Al no ser atraídos con tanta fuerza hacia las capas más bajas de la atmósfera por la falta de densidad en la termosfera, podría ser que alrededor del planeta orbitara durante mucho más tiempo mayor cantidad de la llamada "chatarra espacial": Satélites obsoletos, globos sonda. En 45 años, alrededor de 7.500 objetos mayores que una naranja podrían girar alrededor del planeta a una velocidad de unos 28.000 kilómetros por hora. Desde los inicios de la era espacial se sabía de estos cambios en la densidad de la termosfera, ahora se pueden además definir utilizando los modelos NCAR. National Center for Atmospheric Research, NCAR. 2006.

En Colombia, sobre estos temas no se ha estudiado específicamente, pero se han unido esfuerzos para la realización de un atlas de la radiación solar de Colombia, entre el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, y la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, para lo cual aportaron sus recursos técnicos y administrativos en el 2002 (Atlas de radiación solar de Colombia. 2002). La información meteorológica (radiación solar, brillo solar, temperatura del aire, humedad relativa) fue medida por el IDEAM como institución encargada del registro de estas variables y de la vigilancia del medio ambiente en el orden nacional. Igualmente, el IDEAM recopiló información proveniente de instituciones de carácter privado como CENICAFÉ y CENICANA, que disponen de redes meteorológicas propias para sus investigaciones en café y caña de azúcar, respectivamente.

Existe una clara relación entre el número variable de manchas solares y la intensidad del flujo de radiación solar que incide en la Tierra. En la actualidad ese

flujo es de unos 1.370 W/m<sup>2</sup> en un plano de intercepción perpendicular situado en el tope superior de la atmósfera terrestre ("insolación solar total", también llamada tradicionalmente "constante solar"), y oscila aproximadamente en 1,2 W/m<sup>2</sup> entre el máximo y el mínimo del ciclo (Baliunas & Jastrow, 1990). La radiación solar incidente en la Tierra ha cambiado ligeramente a lo largo del último milenio. Según la evolución del número de manchas solares y de la actividad solar, deducida de la concentración del carbono-14 en la madera de los anillos de árboles y del berilio-10 en los sondeos de los hielos, han existido diversos períodos excepcionales de debilidad. Son los períodos de Wolf (hacia el año 1300), Sporer (hacia el año 1500), Maunder (entre 1645 y 1715) y Dalton (hacia 1800). Probablemente fueron precedidos por un período de máxima actividad solar, el Máximo Solar Medieval (entre el 150 y el 1250), semejante para algunos autores a un Máximo Solar Contemporáneo (Lean J., 2000). De los períodos citados, el más anómalo y mejor conocido es el ocurrido entre 1645 y 1715, llamado Mínimo de Maunder. Durante su transcurso las manchas casi desaparecieron por completo. J. Picard, del Observatorio de París, escribía un día de 1671 que le hacía feliz haber descubierto una mancha, ya que llevaba diez años auscultando el Sol cuidadosamente sin haber visto ninguna. Aquellos años coincidieron, por lo menos en Europa, con algunos inviernos muy crudos, como el de 1694-1695, durante el cual, según tres diferentes escritores de diarios particulares, el Támesis permaneció helado durante varias semanas (Wuebbles, 1998). Se ha calculado que la "constante solar" durante el Mínimo de Maunder era unos 3,5 W/m<sup>2</sup> menor que la actual, es decir, un 0,24% más baja. El enfriamiento global provocado por esta disminución de insolación, sería en la superficie terrestre de entre 0,2 y 0,6 °C., pero en algunas regiones el enfriamiento parece que fue mayor: Entre 1 °C y 2 °C. (Baliunas y Jastrow, 1990).

## Materiales y métodos

Es importante resaltar que la metodología que se lleva a cabo para el análisis de anomalías y la climatología es con base en el cálculo de anomalías de las Temperaturas Máximas, Mínimas, Medias, Precipitaciones, Brillo Solar y Manchas Solares para un período determinado en años, ya que estas constituyen la materia prima para el estudio. Es necesario hallar inicialmente la climatología de cada una de las variables, lo cual se haría promediando meses correspondientes. Se deben hacer análisis espectrales de todas las series de anomalías de las distintas variables, determinar cuáles son las periodicidades más significativas presentes en cada una de las series de anomalías, y compararlas entre sí, de manera que sea posible identificar procesos comunes, ya que cada periodicidad representa a un posible proceso natural determinado (Humphreys, 1929; Walker, 1931; Ward y Shapiro, 1961). Se debe aplicar análisis de densidad espectral, identificar las frecuencias (o períodos) más significativos. Como esta densidad espectral se encuentra normalizada, el área debajo de ella siempre suma la unidad, lo cual permite comparar más fácilmente las densidades espectrales de distintas variables.

El planteamiento matemático de las series de tiempo, tendencia, estacionariedad, componentes aleatorias, ruidos (blanco, rojo), anomalía, análisis espectral, frecuencia, autocorrelación, correlación, filtros y de otros, no se muestra debido a su extensión. Aquí se comenta cómo estos conceptos son utilizados en el estudio de series de tiempo de parámetros hidrometeorológicos, los cuales serán el fundamento de la presente investigación. Los planteamientos matemáticos de los conceptos en mención se pueden encontrar en cualquier literatura de estadística aplicada.

El análisis de series de tiempo es un tema específico de la estadística. Las metas de este análisis pueden ser di-

ferentes: La descripción del comportamiento de la serie, la predicción de ese comportamiento, la investigación del mecanismo generador de la serie temporal, entre otros.

Para una serie de tiempo, el modelo clásico puede ser expresado como suma o producto de componentes, los cuales pueden ser captados visualmente por medio de la graficación de la serie de tiempo, como primer paso para su análisis. Una serie puede ser representada entonces como una combinación de cuatro componentes: La tendencia; el ciclo de oscilaciones casi regulares alrededor de la tendencia; la componente estacional y el residuo o el efecto casual.

Para posibilitar el estudio de cada componente por separado, es necesario descomponer una serie. Esto se realiza mediante la "eliminación" de cada componente, dejando sólo aquella o aquellas que se requieren para el análisis.

Por ejemplo, para ver el ciclo, es necesario eliminar la tendencia de la serie, es decir, encontrar la diferencia entre los valores iniciales de la serie y su tendencia. Para obtener el ciclo puro, es necesario utilizar la tendencia con un punto de intersección, o sea la línea de desplazamiento medio. En este caso, la nueva serie o serie "suavizada" se presenta como un modelo, en el cual la componente casual se "suaviza" junto con la componente estacional. De aquí, se tiene un ciclo en forma pura después de eliminar la tendencia.

La determinación de las oscilaciones estacionales se puede hacer cuando las series de tiempo no tienen oscilaciones cíclicas claras, o cuando estas últimas fueron eliminadas por medio de filtración. La componente casual se determina con la diferencia entre la serie inicial y el modelo de la serie suavizada (Druzinin y Sikan, 2001).

Dentro de análisis de series de tiempo es importante también conocer las anomalías de las series investigadas. El cál-

culo de la anomalía permite determinar las fluctuaciones que representan a los procesos anómalos existentes en una serie. El método de "deslizamiento" se utiliza para identificar el período más aceptable de una serie de tiempo por medio del cual se presentan los picos más representativos de un proceso natural investigado. El deslizamiento se refiere al aumento, disminución o cambio del período (rezago en días, meses o años) que se realiza experimentalmente para el análisis.

También es importante en estos casos el análisis de autocorrelación. Mediante el conocimiento de la función de autocorrelación de una serie, es posible resolver los siguientes problemas: Identificar períodos escondidos; calcular los valores de la densidad espectral; valorar la potencia de relación de la serie; pronosticar a largo plazo, etc.

La función de autocorrelación muestra en un proceso determinado la dependencia lineal entre los valores de este proceso en un momento dado y los valores anteriores a él, diferenciando los desplazamientos utilizados de la misma serie estudiada. De esta manera, la función de autocorrelación caracteriza la estructura interior de la serie, es decir, del proceso estudiado, y su dinámica a través del tiempo. El coeficiente de autocorrelación es entonces el coeficiente de correlación entre los valores de la serie de estudio con algún desplazamiento.

En hidrometeorología, para el estudio de las series de tiempo se requiere del análisis espectral. La idea del espectro se utiliza ampliamente para la determinación de períodos escondidos de la serie de tiempo; para la investigación de las leyes de la estructura de frecuencias; para la modelación y para pronósticos de los procesos.

El análisis espectral es uno de los más importantes métodos de análisis de las observaciones hidrometeorológicas, el cual

permite dividir a una serie de tiempo de un fenómeno investigado en diferentes componentes de frecuencia (espectro) que muestran cuál es el aporte de las oscilaciones con diferentes frecuencias en la energía general de generación del proceso (Vainovsky y Malinin, 1991).

El análisis espectral se utiliza para dar respuesta a muchos problemas prácticos:

- El espectro ayuda a entender las causas físicas, que forman cambios de los parámetros hidrometeorológicos a través del tiempo. Muestra los períodos de las oscilaciones, el aporte que estas hacen en la energía del proceso, el cual puede ser significativo o no, y también permite explicar la naturaleza de su formación.
- Los valores máximos y mínimos más significativos del espectro son importantes para los pronósticos.
- La distancia espectral puede decir cuál debe ser la frecuencia de observación necesaria para la determinación de los cambios de un parámetro y el error que puede tener si el equipo funciona lentamente.
- También para la determinación de la periodicidad de las señales y de los errores escondidos.

Un parámetro importante del análisis espectral es la función de frecuencia. Esta se relaciona con la función de autocovariación contraria de la serie de Fourier y se conoce como densidad espectral. Su significado físico es ser una función casual de la dispersión sobre una determinada frecuencia. Repartiendo la dispersión general del proceso en componentes separados, correspondientes a las frecuencias identificadas y a sus valores, se obtiene la esencia del análisis espectral (StaSoft, 1999; Druzinin y Sikan, 2001).

En la hidrometeorología frecuentemente se utiliza la densidad espectral normalizada. En muchos casos la autocorrelación de los procesos oceano-atmosféricos reales es muy difícil de aproximar exactamente. La función espectral calculada de las series de observación, por lo general, tiene muchos picos (oscilaciones extremas) de los cuales algunos son casuales y deben ser expulsados del análisis. Como primera aproximación para valorar los parámetros de densidad espectral se utiliza el método de Tyuky (Emery W. y R. Thomson, 2001). Para una serie escogida casualmente (al azar), la distribución de valoración de los espectros escogidos por la relación con el espectro de una distribución general, respectivamente, debe corresponder a una distribución específica, dividida por el valor de una potencia del grado de libertad.

La gran diversidad de los cambios de los procesos océano-atmosféricos en el tiempo presentan cambios de procesos determinados y cambios de procesos casuales de tipo "ruido blanco". El proceso del tipo "ruido blanco" se caracteriza con la dispersión, la cual surge de la influencia de las oscilaciones no periódicas, que no contienen entre sí oscilaciones escondidas en sus leyes.

La función espectral del proceso de ruido blanco tiene la forma de una línea horizontal, que corresponde a la constancia de la dispersión de oscilaciones en todas las frecuencias. Muchas características oceanológicas contienen en sus cambios componentes de tendencias, la función de autocovariación se presenta como exponente y la función espectral como una curva que se amortigua con el aumento de la frecuencia de las oscilaciones. A esto se lo conoce como espectro de "ruido rojo" (Vainovsky y Malinin, 1991; StatSoft, 1999; Druzinin y Sikan, 2001).

Otro paso dentro del tratamiento de las series de tiempo tiene que ver con la aplicación de filtros que permiten

extraer las componentes del espectro de una señal o de una frecuencia determinada. Existen diferentes filtros, entre los cuales, el más utilizado para los procesos hidrometeorológicos es el filtro de Butterworth. Los filtros de Butterworth estiman la señal cíclica de una serie temporal. Los filtros de Butterworth permiten tanto la determinación de tendencias a largo plazo con filtros de paso bajo, como la extracción directa de una señal cíclica mediante el filtro de paso en banda. El filtro de paso en banda permite el paso de un rango medio de frecuencias definido entre una frecuencia de corte inferior y una frecuencia de corte superior.

Los filtros de Butterworth pueden ser interpretados como un prior que el analista aplica a la serie que desea procesar, de manera que refleja explícita y cuantitativamente sus consideraciones extramuestrales acerca de la señal que pretende estimar. En particular, en el caso del ciclo natural, las consideraciones a priori que el analista tiene sobre este fenómeno se limitan a establecer un prior uniforme sobre una banda de frecuencias (por ejemplo, oscilaciones entre 2 y 7 años) y a postular el carácter estacionario del fenómeno cíclico, en el sentido de que la serie filtrada esté libre de componentes no estacionarios como la tendencia y la estacionalidad (Emery W. y R. Thomson, 2001).

Dentro del análisis de serie de tiempo también es muy importante el análisis correlacional para la determinación de las posibles relaciones entre las series estudiadas. La correlación se presenta prácticamente como una medida de dependencia entre variables. La correlación lineal mide la elevación de dependencias lineales entre variables. La correlación simple lineal supone que dos variables estudiadas son medidas por lo menos en una escala de intervalos. El coeficiente de correlación determina el grado (nivel), con el cual los valores de estas dos variables son "proporcionales" una a otra.

por medio de la aplicación de estos conceptos estadísticos, se hace posible encontrar la influencia o dependencia entre los fenómenos a estudiar en la presente investigación y la forma en que estos se relacionan entre sí.

## Resultados y discusión

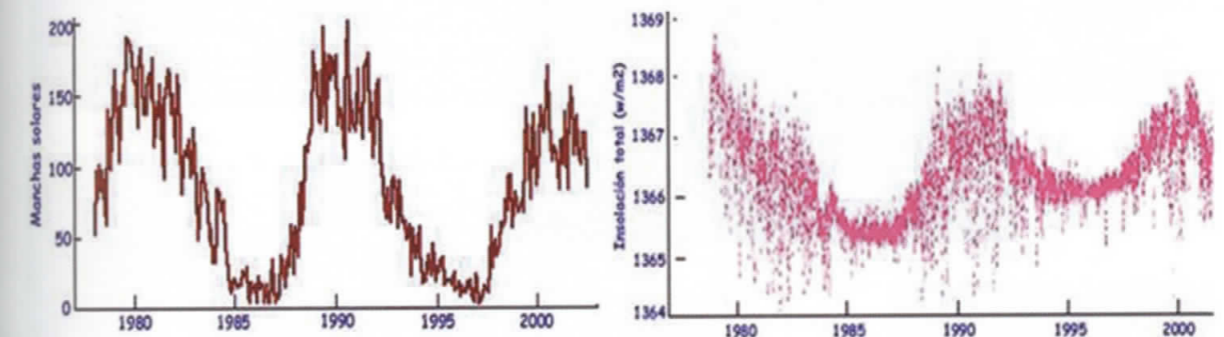
Para entender los procesos solares es de suma importancia comprender el com-

portamiento de la actividad solar a lo largo del tiempo.

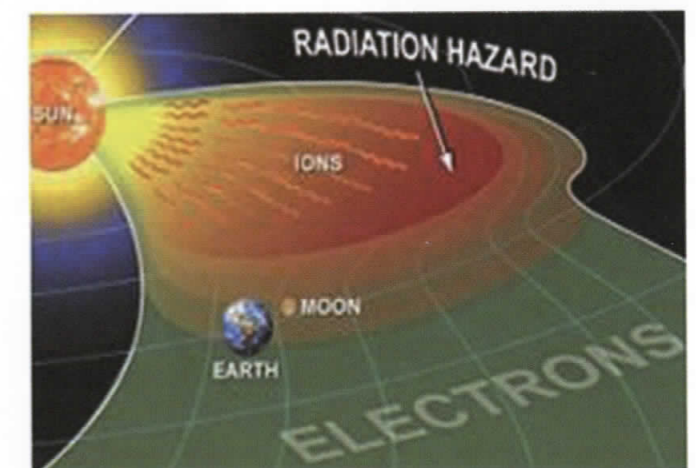
En la figura 1, en el lado izquierdo, describe el número de manchas presentes en los ciclos solares 21, 22 y 23. En el eje de las X apreciamos los años correspondientes a los ciclos solares mencionados, mientras que en el eje Y se muestran el número de manchas solares presentes. La figura del lado derecho, nos muestra en el eje Y la insolación recibida en los ciclos 21, 22 y 23.

**Figura 1.** Secular total irradiante trend during solar cycles 21-23.

**Fuente:** Wilson y Mordvinov, 2003.



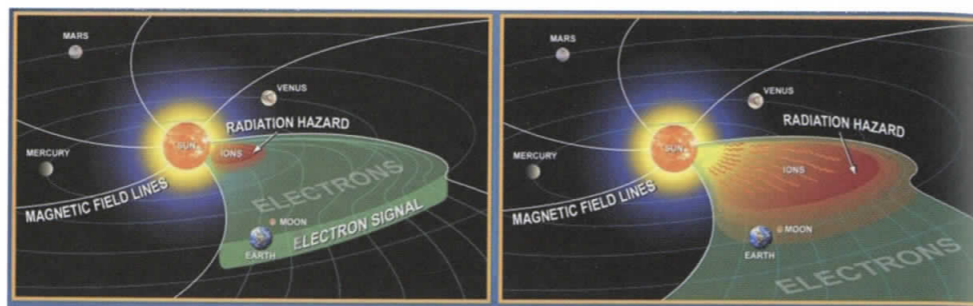
En las figuras 2 y 3 se puede apreciar a través de una imagen artística la interacción de los electrones, protones e iones pesados que viajan a grandes velocidades, provenientes de una tormenta solar con el planeta Tierra. por medio de un instrumento llamado COSTEP, colocado en la sonda SOHO de la NASA, los científicos pretenden tener más conocimiento acerca de estos sucesos solares y poder predecirlos con anticipación.



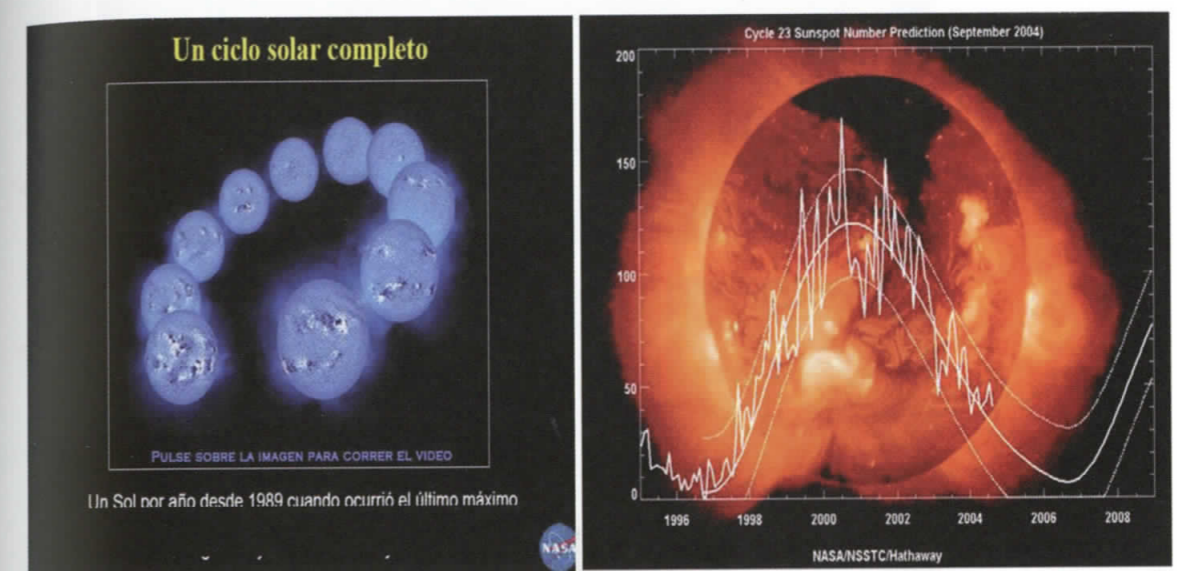
**Figura 2.** Tormentas solares.

**Fuente:** Phillips, 2007.

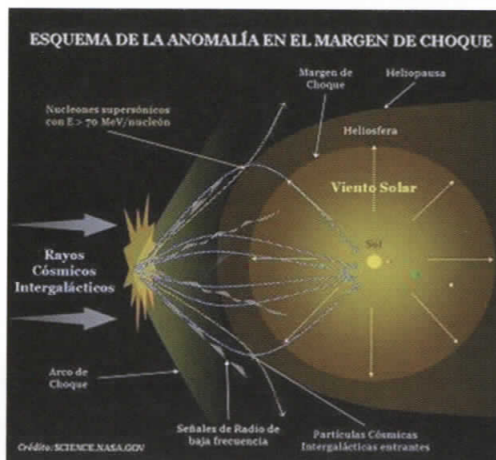
**Figura 3.** Imagen artística que muestra la actividad solar alcanzando la Tierra. Electrones rápidos y los iones lentos siguen las líneas magnéticas.  
Fuente: Phillips, 2007



En la imagen siguiente, se muestra el monitoreo de un ciclo solar de 11 años. Es fácil notar las variaciones en el sol a lo largo de este período:



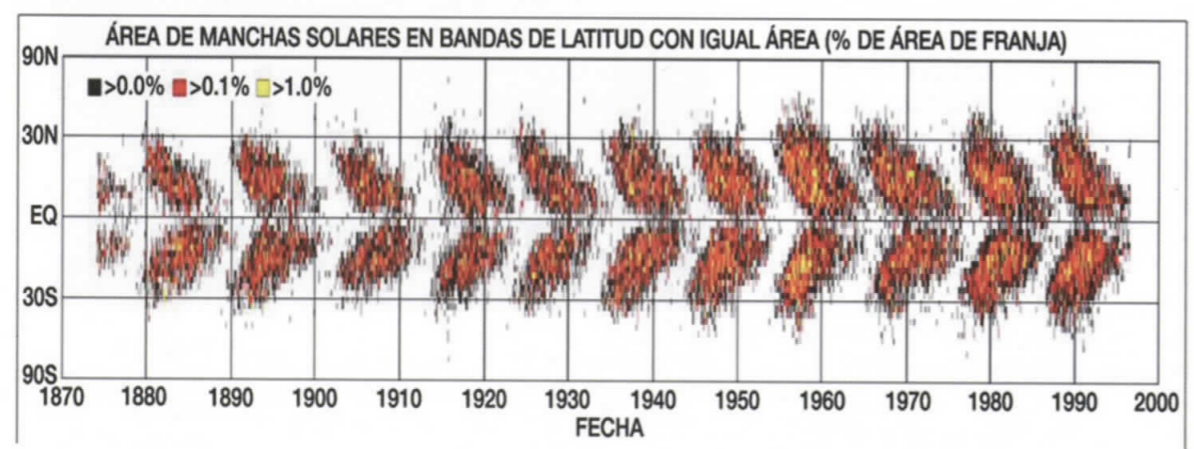
**Figura 4.** Rayos Cósmicos y "Calentamiento Global". Fuentes: E. C. Stone Voyager 1 Explores the Termination Shock Region and the Heliosheat Beyond



En la figura 4 se puede apreciar la interacción de los rayos cósmicos con los cuerpos del espacio. Algunas de las causas del calentamiento global se sugieren a la interacción de estas partículas con la Tierra, sus atmósferas y los componentes que la conforman.

En la siguiente imagen se muestra Mínimo de Maunder, el cual consiste en lapso de tiempo entre 1645 y 1715, durante el cual el número de manchas solares fue particularmente bajo, a veces no existiendo registro de mancha alguna por varios años, mientras que en 1611 se registraban normalmente 30, 40 o más manchas y un período

de actividad corresponde a más de 100 manchas solares. Este período coincide con la "mini-era glacial" de los siglos XV a XVII, durante la cual las temperaturas en Europa fueron notablemente bajas. Curiosamente, el mínimo de Maunder también coincide con el reinado completo de Luis XIV de Francia, el "Rey Sol".



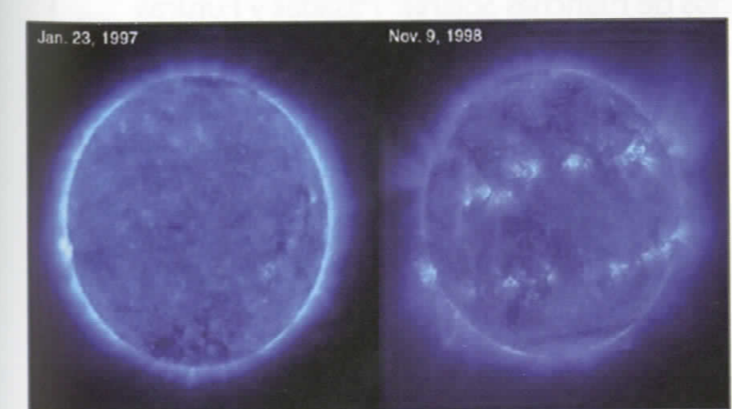
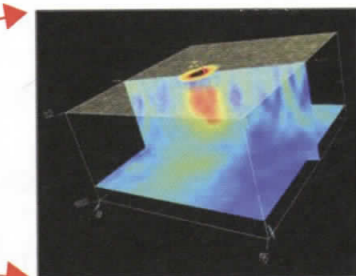
### Manchas solares

Esta imagen muestra un grupo de manchas solares

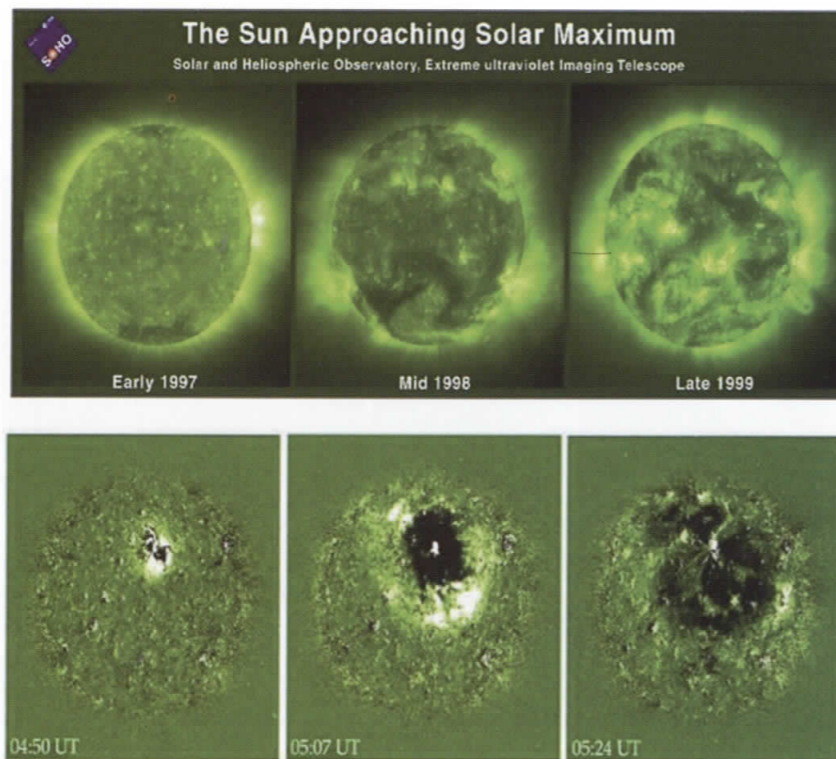
- Una mancha solar es una región oscura y más fría sobre la superficie solar.
- Las manchas solares persisten desde varias horas hasta varios meses.
- Las manchas solares son ocasionadas por una concentración en el Sol de líneas de campo magnético.

Ampliación de la mancha solar

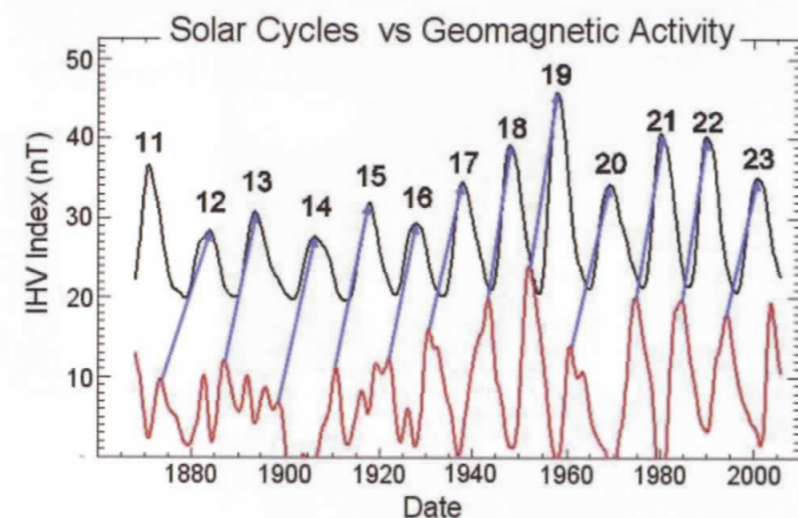
Aspecto de manchas solares como características primordiales del pronóstico en la medición y de la actividad solar:



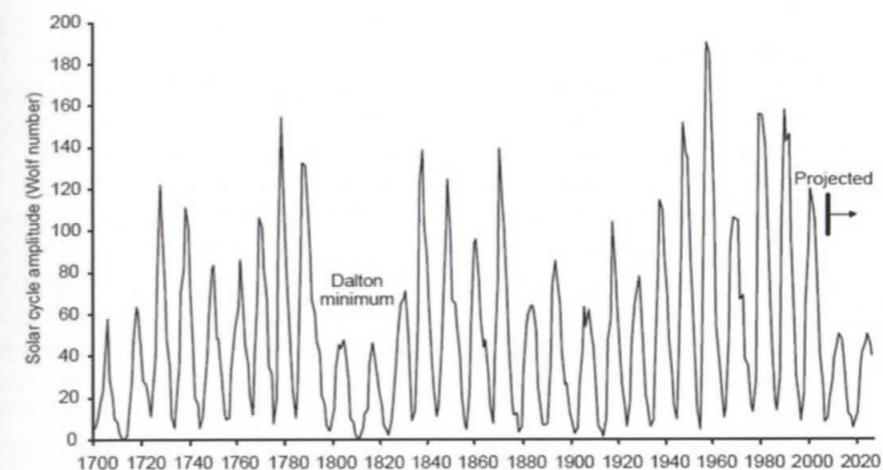
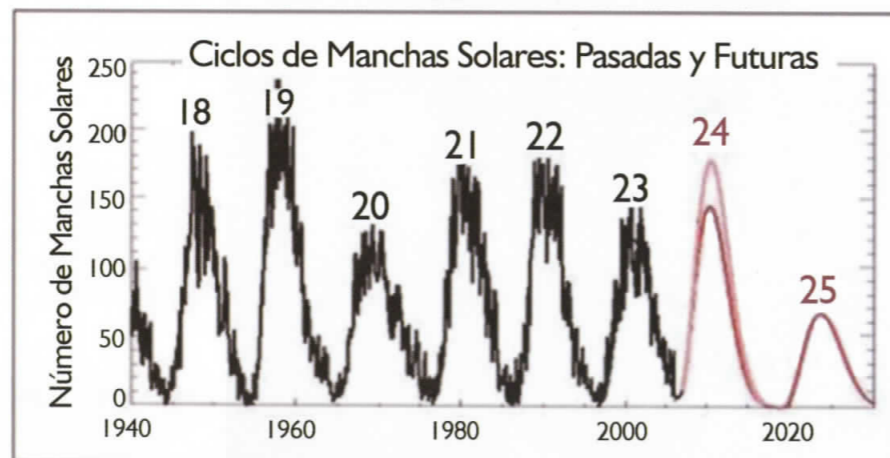
Variaciones en la actividad solar



Ciclos solares del 11 al 23



Pronóstico de la actividad solar en los ciclos 24 y 25:



### Conclusiones

1. Para una serie de tiempo, el modelo clásico puede ser expresado como suma o producto de componentes, los cuales pueden ser captados visualmente por medio de la graficación de la serie de tiempo, como primer paso para su análisis. Una serie puede ser representada entonces como una combinación de cuatro componentes: La tendencia; el ciclo de oscilaciones casi regulares alrededor de la tendencia; la componente estacional y el residuo o el efecto casual.
2. La determinación de las oscilaciones estacionales se puede hacer cuando las series de tiempo no tienen oscilaciones cíclicas claras, o cuando estas últimas fueron eliminadas por medio de filtración. La componente casual se determina con la diferencia entre la serie inicial y el modelo de la serie suavizada.
3. En hidrometeorología, para el estudio de las series de tiempo se requiere del análisis espectral. La idea del espectro se utiliza ampliamente para la determinación de períodos escondidos de la serie de tiempo; para la investigación de las leyes de la estructura de frecuencias; para la modelación y para pronósticos de los procesos.
4. Analizar la incidencia de la cantidad de manchas solares y su incidencia en el clima de un lugar determinado, llevará a comprender con mayor profundidad la relación existente entre la actividad solar y el comportamiento de variables meteorológicas, como temperatura del aire, precipitación y brillo solar.
5. De los períodos solares citados, el más anómalo y mejor conocido es el ocurrido entre 1645 y 1715, llamado Mínimo de Maunder. Durante su transcurso las manchas casi desaparecieron por completo.
6. Existen diferentes métodos para percibir la llegada de las partículas más peligrosas de una tormenta solar en la Tierra. Un nuevo método, basado en datos del instrumento COSTEP a bordo de la sonda SOHO, permite por primera vez advertir hasta por una hora la llegada de las partículas más peligrosas de una tormenta solar en la Tierra.
7. El clima de la Tierra cambia de manera natural por muchas razones. Así, se puede tener una variación climática que es un cambio en el

promedio del tiempo meteorológico para una época específica del año; por ejemplo, cuando los inviernos se vuelvan más templados. Estas variaciones pueden afectar a una pequeña región o al planeta completo. Sus causas pueden variar por fenómenos impredecibles como una erupción volcánica (que puede tener efectos locales de enfriamiento), o por cambio en la energía que se recibe del sol en sus diferentes ciclos, o por fenómenos más o menos regulares como el de El Niño (un calentamiento en la superficie del agua del Océano Pacífico tropical que ocurre cada tres o cinco años, afectando de manera temporal el tiempo meteorológico mundial).

8. El clima de los últimos 9.000 años parece haber sido excepcionalmen-

te estable. Por dos millones de años, el clima de la Tierra ha estado dominado por períodos glaciales, cada uno con duración de miles de años. Los períodos glaciales tienen, a su vez, ciclos interglaciales de entre 10 y 20 mil años, como el que el planeta Tierra se encuentra actualmente. Se sabe que han ocurrido grandes fluctuaciones del clima, en escalas de décadas a siglos durante los períodos glaciales, posiblemente debidas al colapso de capas de hielo. Se sabe muy bien que las variaciones del clima ocurren a escalas de tiempo diferentes y que el conocimiento de los mecanismos que gobiernan el cambio climático en sus distintas escalas es fundamental en el establecimiento de modelos que permitan pronosticar aspectos del clima futuro.

## Bibliografía

- AMERICAN GEOPHYSICAL UNION. 2007. Eurekaalert, agosto 5 de 2007 in [www.eurekaalert.org](http://www.eurekaalert.org).
- BALIUNAS y JASTROW. 1990. Evidence for long-term brightness changes of solar-type stars, *Nature*, 348, 520-522.
- CANAL TIEMPO 21. Revista de Meteorología: La meteorología del siglo XXI. 2004.
- DÁVILA, J. Año Internacional Heliofísico: 2007-2009.
- DRUZININ, V. y SIKAN, A. 2001. Métodos de procesamiento estadístico de la información hidrometeorológica. RGGMU, San Petersburgo, 168 p.
- EMERY W. J. y R. E THOMSON, 2001. Data analysis methods in physical oceanography. Second and revised Edition. Amsterdam, Netherlands. 340 p.
- IDEAM. 2002. Atlas de Radiación Solar en Colombia.
- LEAN J. 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change, *Geophysical Research Letters*, 22 (23), 3195-3198.
- LEAN J. 2000. Evolution of the Sun's spectral irradiance since the Maunder Minimum, *Geophysical Research Letters*, 27, 2425-2428.

LEAN J. y Rind D. 2001. Earth's response to a variable Sun, *Science*, 292, 234-236.

MARTÍNEZ, Julia. 2005. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.

MITCHELL T y Hulme M. 2001. Length of the growing season. Brief overview of the science on water and climate. Impacts of climate variability and climate change in water management. International Secretariat of the Dialogue on Water and Climate, Wageningen, Netherlands.

MAUSUMI, Dikpati. National Center for Atmospheric Research. Artículo publicado por [ciencia@nasa](mailto:ciencia@nasa). NCAR. 2006.

NCAR. National Center for Atmospheric Research (NCAR). 2006.

PABÓN, José Daniel. Variabilidad Climática y Cambio Climático en la Sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. 2002.

PHILLIPS, Tony. Revista [ciencia@nasa](mailto:ciencia@nasa). 2007.

RAIG. Revista de Astronomía, Meteorología, Óptica para profesionales y aficionados 2007.

RÉ, Mariano. Ingeniero Civil, Ayudante de 1ª D.SI., Becario Proyecto AIACC.

IMPACT OF GLOBAL CHANGE ON THE COASTAL AREAS OF THE RIO DE LA PLATA. Argentina 2005.

RIZZO, Heber. Artículo científico publicado en la Revista El Orador: Cambio climático: la poderosa influencia del Sol. Marzo de 2007.

STAFLOFT, 1999. Statistica '99 Edition. Kernel Release 5.5ª, Copyright© 1984-1999 Stasoft, inc.

SVENSMARK, Henrik. The Chilling Stars: The New Theory of Climate Change.

CENTRO ESPACIAL NACIONAL DANÉS. USA. 2004.

VAINOVSKY, P y MALININ, V 1991. Métodos del tratamiento y análisis de la información oceanológica: Análisis unidimensional. Hidrometeoizdat, Leningrado. 80 p.

WUEBBLES D.J. 1998. Effects on stratospheric ozone and temperature during the Maunder Minimum, *Geophysical Research Letters*, 25, 523.

ZBIGNIEW, Jaworowski. Los ciclos climáticos y la incidencia del cambio climático 3ª Parte. i, 1999. "The Global Warming Folly." 21st Century (Winter), pp. 64-75.