

# La actividad solar y su efecto sobre el clima terrestre

Benito Marcote  
AstroSantander  
www.astrosantander.es

Mayo 2009

## Resumen

Vivimos en un periodo en el que estamos experimentando las consecuencias de un posible cambio en el clima terrestre, lo que nos obliga a conocer de antemano las posibles consecuencias que puede producir hasta el más mínimo factor. Por ello, es importante poder diferenciar entre las posibles causas intrínsecas a nuestro planeta y de las externas, las cuales, a pesar de que no pueden ser alteradas, sí pueden ser estudiadas y acotadas. Aquí se analiza la influencia del Sol sobre el cambio climático que sufre nuestro planeta, describiendo periodos donde el Sol tuvo una actividad solar extremal (como en el Mínimo de Maunder) y la repercusión que tuvo sobre el clima terrestre. De aquí se observa una correlación en nuestro clima con la actividad solar a largo plazo, debido probablemente a la modulación que ejerce la actividad solar sobre la cantidad de rayos cósmicos que alcanzan la Tierra, lo que afecta directamente a la cantidad de nubes en nuestra atmósfera.

## 1 Introducción histórica

Desde hace unos 5000 mil millones de años el Sol ha estado brillando e iluminando nuestro planeta, siendo todo este tiempo la principal fuente de energía con la que cuenta nuestro planeta. Por ello, desde que el hombre comenzó a pisar este planeta, siempre ha dedicado una especial atención a *nuestra estrella*, sin la cual no se podría haber dado la vida tal y como la conocemos.

Durante milenios, cada pueblo le fue atribuyendo poderes místicos, además de identificarle con ciertas deidades. Junto a la Luna, ha sido uno de los cuerpos a los que todos los pueblos han dedicado una especial atención, de alguna forma, debido a que es patente la influencia que tiene sobre nuestra vida, principalmente, suministrándonos luz y energía todos los días.

En un principio, se puede pensar que no se realizó un estudio sistemático del Sol hasta que Galileo no apuntó su telescopio hacia él, descubriendo las manchas solares. Sin embargo, esto dista bastante de la realidad, ya que desde aproximadamente 800 a. C.<sup>[1]</sup> figura en el *I Chang* (uno de los libros más antiguos que se tienen de China, comenzado

a escribirse hacia el año 1200 a. C.) observaciones de manchas en el Sol, las cuales eran facilitadas por la niebla que solía formarse en torno a los ríos chinos, causando un descenso en el brillo del Sol tanto al amanecer como al atardecer.

También se tienen registros de observaciones solares en Japón, Babilonia o China entre los años 200 y 100 a. C. Pese a esto, fue a partir del año 206 a. C. (al comienzo de la dinastía Han) cuando se comenzó a realizar un seguimiento exhaustivo de dichas manchas, que duró prácticamente hasta casi 1700 d. C. [2]

Mientras tanto, en Occidente hubo algún registro de manchas observadas en torno al 400 a. C. Sin embargo, con la llegada de Aristóteles y su imagen del mundo celeste como una región perfecta e inmutable, en ningún momento se llegó a tener en cuenta estas observaciones. Posteriormente, al ser adoptada esta concepción aristotélica por la Iglesia también, se impidió realizar observaciones de este tipo bajo el cargo de herejía, explicando que aquí no se obtenga ningún registro durante la Edad Media.

Por lo tanto, se tuvo que esperar hasta la invención del telescopio hacia 1610 para que varios observadores, principalmente Galileo Galilei, redescubrieran las manchas solares, realizando un estudio detallado (sin precedentes, ya que se pasó por primera vez de observaciones a simple vista a observaciones con telescopio) sobre éstas.

El gran aumento de resolución que trajo el telescopio derivó en que se pudiera observar la evolución de cada mancha a lo largo de los días, proporcionando, además de una prueba irrefutable sobre que dichas manchas se encontraban en el Sol y no se debían a efectos atmosféricos u otros planetas, la determinación (aproximada) de la rotación del Sol.

Para tener un mejor cálculo de la actividad solar, en 1848 Wolf definió un número (actualmente llamado *número de Wolf*) que fija una forma de medir dicha actividad. Este número se define como

$$R = k(10G + F) \tag{1}$$

donde  $F$  es el número de focos (manchas) que hay en el Sol,  $G$  es el número de grupos de manchas que hay (en la mayoría de los casos, no aparecen manchas aisladas sino que se asocian en grupos de manchas), y  $k$  es un factor que tiene en cuenta las condiciones de la observación (equipo usado y condiciones) e inicialmente Wolf lo tomó como la unidad.

Con este convenio, se pudo detectar rápidamente que el Sol tenía un ciclo de actividad de unos 11 años, y posteriormente Edward Sabine (1788 - 1883) descubrió<sup>[3]</sup> que este ciclo de actividad solar era absolutamente idéntico al ciclo geomagnético de la Tierra, siendo confirmado posteriormente por Wolf también.

Esto demostró que la actividad solar producía cambios en ámbitos internos de la Tierra, como es su campo magnético, abriendo la puerta a que el Sol y la Tierra guardasen una influencia mayor.

El seguimiento de la actividad solar a través del número de Wolf ha perdurado hasta hoy en día (se puede ver una gráfica con la actividad solar en la Figura 1), donde algunos observatorios siguen contribuyendo con sus observaciones, aunque una gran parte de los registros se deben a múltiples aficionados. Actualmente, el encargado de la coordinación mundial del número de Wolf es el *SIDC* (Sunspot Index Data Center), localizado en el

Royal Observatory of Belgium.

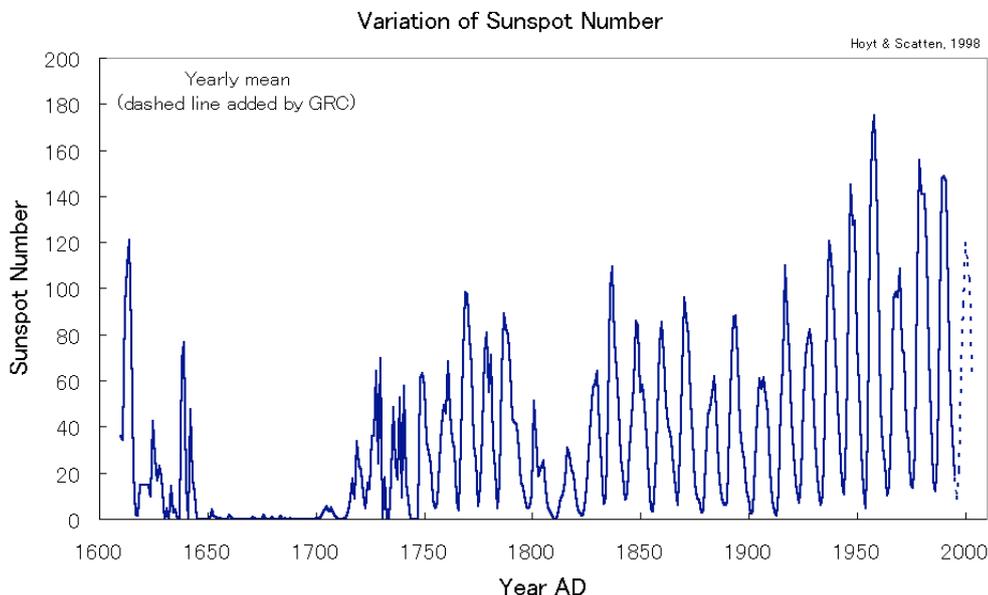


Figura 1: Evolución del número de Wolf desde 1610 hasta el 2000. Queda patente el ciclo principal de  $\approx 11$  años. Entre los años 1645 y 1715 se observa un periodo con una actividad prácticamente nula, conocido como *mínimo de Maunder*. Figura por cortesía de Hoyt y Scatten, 1998.

## 2 La actividad solar

Se ha visto cómo el Sol experimenta ciclos en los que aparecen numerosas manchas solares, alternados con mínimos donde hay poca actividad. Esto se debe a la forma en cómo está distribuido el campo magnético en el Sol.

Mientras que en la Tierra existe un campo magnético en dirección norte-sur y todas las líneas de dicho campo tienen esta misma dirección, en el Sol no existe dicha distribución, sino que las líneas se van “enrollando”. Esto es fácil de ver si tomamos las líneas de campo en dirección norte-sur, como en la Tierra. Dado que la superficie del Sol es gaseosa, la zona ecuatorial tiene un periodo de rotación (a lo que comúnmente llamaríamos *día*) menor que en los polos, por lo tanto, en la zona del ecuador las líneas avanzan más rápidamente que en los polos, obteniendo un enrollamiento análogo al que se puede ver en la Figura 2.

Esto produce que en determinados puntos, varias líneas interfieran haciendo que salgan por la superficie del Sol como un lazo. La consecuencia de esto es que en la zona por donde pasan estas líneas, el gas se enfría, haciendo que lo veamos, por contraste, como una zona oscura: se ha formado una *mancha solar*.

Una vez se tiene un campo suficientemente enrollado, las líneas empiezan a reconfigurarse, permaneciendo al final solo unas líneas análogas a las iniciales (con dirección

norte-sur) pero con un sentido puesto (si al inicio del ciclo el sentido era norte-sur, ahora comenzará de nuevo con un sentido sur-norte).

Este ciclo magnético tiene un periodo de  $\approx 22$  años (2 ciclos de actividad solar), ya que primero se tiene un ciclo con una determinada orientación, y después otros 11 años con el campo en sentido contrario, pasados los cuales se vuelve a la misma situación de partida.

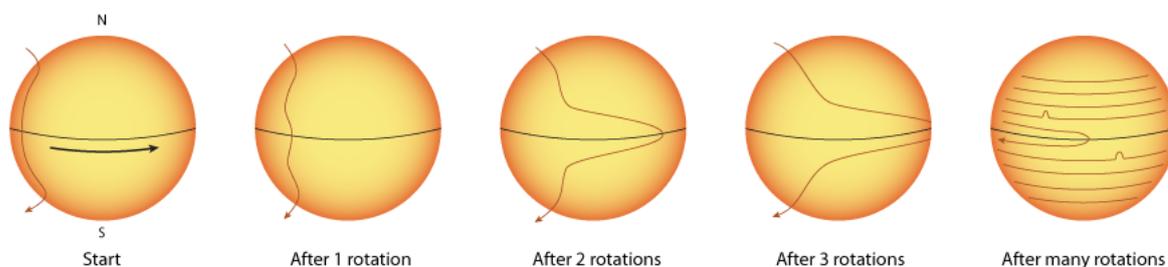


Illustration by José Francisco Salgado, PhD (Adler Planetarium)

Figura 2: Evolución del campo magnético en el Sol a lo largo de un ciclo de  $\approx 11$  años. Al comenzar a enrollarse, las líneas de campo pueden salir hasta capas exteriores del Sol, lo que conlleva que en la región que cruzan, el gas se enfríe, formando una mancha solar.

Sin embargo, la producción de manchas solares no es la única consecuencia de esta evolución que sufre el campo magnético solar. También repercute directamente en las *fulguraciones* o *eyecciones de masa coronal*, que provocan que el Sol lance al espacio una gran cantidad de partículas:

Cuando el campo magnético se entrelaza extendiéndose hacia el espacio, una gran cantidad de gas (que dadas las condiciones reinantes en el Sol se encuentra ionizado, en forma de plasma) es conducido por las líneas del campo magnético hacia el exterior provocando que todo este gas sea emitido hacia el exterior del Sol, generando lo que se conoce como el *viento solar*.

Cuando estas partículas (que están cargadas eléctricamente) llegan a la Tierra, interactúan con el campo magnético terrestre desviándose de sus trayectorias, evitando que dichas partículas penetren directamente a la atmósfera terrestre, y sólo las más energéticas consiguen alcanzar la atmósfera, por las zonas polares de la Tierra, produciendo lo que se conoce como *auroras boreales* o *australes*.

Cuando dicho viento solar es muy intenso, puede llegar a penetrar a la atmósfera una gran cantidad de partículas, pudiendo generar una gran cantidad de energía electrostática en la atmósfera, que además de afectar a múltiples satélites que orbitan la Tierra, puede ocasionar grandes fallos materiales, como la sucedida en Quebec en marzo de 1989, donde la central eléctrica *Hydro-Quebec* sufrió un apagón como consecuencia de la intensa tormenta magnética proveniente del Sol, dejando sin suministro a unos 6 millones de personas<sup>[6]</sup>.

Pese a todo esto, el viento solar no solo es peligroso, sino que también es la protección que nos brinda el Sol a todos los cuerpos del Sistema Solar. Este viento, al ser emitido por el Sol, es lanzado en todas direcciones, lo que provoca que todas las partículas (como

los rayos cósmicos, que son partículas cargadas, normalmente protones) que nos llegan de otras estrellas, de la galaxia o de otras galaxias, sean frenadas por las partículas emitidas por el Sol. Esto se produce a una distancia suficientemente lejana como para evitar que lleguen a los planetas, en lo que se considera los límites del Sistema Solar, la heliopausa, a unos 75-90 UA del Sol (recordamos, como comparación, que una UA es la distancia de la Tierra al Sol).

### 3 El clima terrestre

Volviendo a casa, nos reencontramos con nuestra atmósfera, una “corteza” de gas que recubre todo nuestro planeta, de varios cientos de kilómetros de altura (teniendo en cuenta hasta la ionosfera solamente, debido a que la exosfera tiene una densidad suficientemente baja como para no producir efectos apreciables sobre el tema tratado aquí) y compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno.

Gracias a ella estamos aislados de parte de la luz que proviene del Sol, así como de casi todo el material extraterrestre que proviene del espacio, del cual la inmensa mayoría se desintegra durante la entrada en las capas exteriores de la atmósfera.

Ya que la atmósfera (junto con el campo magnético terrestre) es el escudo que tiene nuestro planeta frente al medio interplanetario, ésta está expuesta a los diferentes factores externos que inciden sobre nuestro planeta como la radiación solar, partículas del Sistema Solar, o los rayos cósmicos.

Debido a que la atmósfera es un sistema que contiene un enorme número de partículas, a pesar de que está regida por unas leyes concretas y muy conocidas, la evolución de las mismas es altamente caótica, lo que se traduce en que aunque conozcamos las condiciones presentes en un momento determinado con una gran precisión, al cabo de poco tiempo las predicciones dejan de ser eficaces, como consecuencia de que el pequeño error que tenían nuestros datos inicialmente se ha convertido en un factor determinante en las soluciones para un momento posterior.

Esto es lo que normalmente se explica con la metáfora de que “*una mariposa bate sus alas en Los Ángeles provocando un tornado en Japón*”, donde se hace referencia a que una pequeña variación local en las condiciones iniciales (debidas en la paradoja al aleteo de la mariposa) produce al cabo de un cierto tiempo un fenómeno totalmente inesperado inicialmente (el tornado). Esta es la causa principalmente de que las predicciones del tiempo suelen dejar de ser eficaces a partir de unos 7-10 días, ya que los datos que se obtienen hoy dejan de tener suficiente precisión como para obtener resultados fiables más allá de una semana.

Este hecho es el principal problema (dificultad) que se tiene al estudiar los cambios que sufre la atmósfera terrestre, como es en el *cambio climático*, ya que se requiere aislar todos los posibles factores que pueden contribuir a éste, pero debido a que estamos trabajando con un sistema caótico, no podemos asegurar que dichos cambios sean producidos por el factor que estamos estudiando.

Una muestra de ello es que aún siendo el principal fenómeno estudiado en el cambio climático, todavía no conocemos exactamente cómo influirá exactamente un aumento del CO<sub>2</sub> en el clima terrestre, ya que esta molécula contribuye en parte a una regulación frente a un calentamiento global, y a su vez a favorecer un mayor aumento de la temperatura.

## 4 Mínimos de actividad solar: *el mínimo de Maunder*

Desde que Galileo estudió las manchas solares con su telescopio, el uso del este instrumento hacia la astronomía se extendió por toda Europa. Esto hizo que el número de registros solares a partir de los años posteriores a las observaciones de Galileo en 1610 fueran relativamente abundantes, lo que permitió al astrónomo inglés E. W. Maunder<sup>[7]</sup> en 1893 obtener la curva de la actividad solar en los años anteriores a 1700.

Cuando comenzó a analizar los datos, se encontró con que a partir de 1645 no había prácticamente ningún dato sobre el número de manchas, en un periodo que se prolongaba unos 70 años, hasta aproximadamente 1717. Durante esta época, el ciclo de 11 años siguió presente pero bastante oculto, ya que los máximos de actividad continuaron siendo más débiles incluso que los mínimos de actividad que experimentamos actualmente, como se puede observar en la Figura 1.

De este periodo se tienen testimonios, como el del gran astrónomo italiano Cassini, de haber pasado 20 años sin observar ninguna mancha; o del primer astrónomo real de Inglaterra, J. Flamsteed, que comunicó haber encontrado la primera mancha después de 7 años.

En este punto llega la primera gran confirmación de que la actividad solar tiene un efecto apreciable sobre el clima terrestre: al analizar los datos de nuestro clima durante el periodo del mínimo de Maunder, nos encontramos con que éste pasó por una Pequeña Edad de Hielo, en la cual se tienen registros de un gran avance de los glaciares hacia latitudes más meridionales, junto con unas temperaturas significativamente más bajas (la temperatura media del planeta habría descendido  $\sim 1^\circ\text{C}$ ).

Esto dio lugar, por ejemplo, a los registros y cuadros que se conservan donde se muestran cómo el río Támesis, en la zona que atraviesa Londres, se congeló provocando la celebración de múltiples fiestas sobre su superficie congelada, así como la costumbre de patinar por ella.

## 5 Actividad solar a largo plazo

Sin embargo, el mínimo de Maunder no es la única depresión de la que tengamos constancia en el Sol, sino que, y gracias al estudio del  $^{14}\text{C}$  presente en la Tierra, del cual hemos establecido una correlación entre éste y la actividad solar, se ha podido conocer, en términos generales, la actividad que tuvo el Sol en los últimos 10.000 años (ver Figura 3 <sup>[8]</sup>).

Con la datación de  $^{14}\text{C}$  en los anillos de los troncos de los árboles, se comprobó que ésta describe un ciclo de 11 años en correspondencia con el solar, teniendo niveles excepcionalmente altos en el periodo del mínimo de Maunder (así como en otros, como el mínimo de Spörer, que tuvo lugar entre 1450 y 1550).

Dado que la producción de carbono 14 está ligada a la incidencia de rayos cósmicos en la alta atmósfera, se deduce que en estos periodos de mínimo solar, hubo una mayor

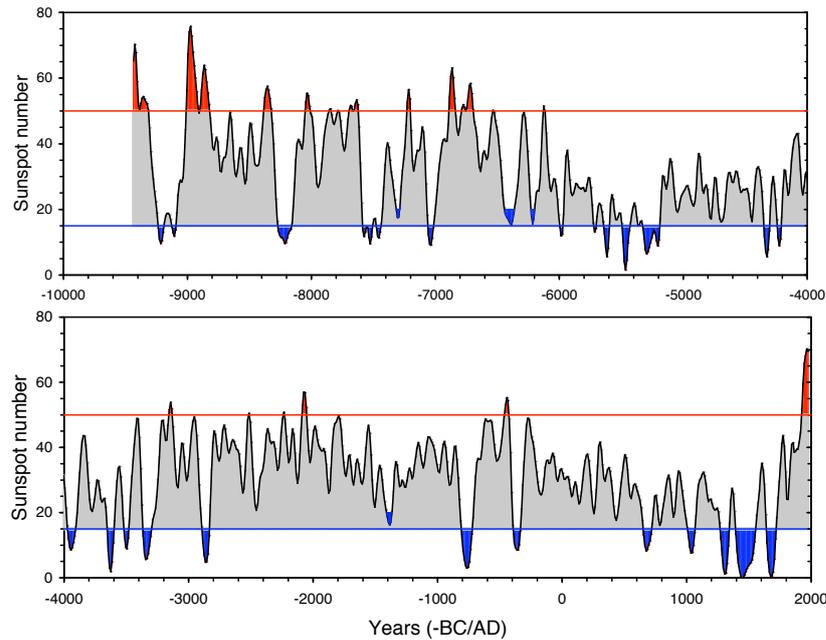


Figura 3: Evolución de la actividad solar a grandes escalas, reconstruida por dataciones de  $^{14}\text{C}$  en las rocas y árboles terrestres. Las zonas azules indican grandes mínimos en la actividad solar, y las zonas rojas una gran actividad.<sup>[8]</sup>

exposición de la Tierra a los rayos cósmicos provenientes del espacio exterior, lo cual evidencia que el campo magnético solar (el responsable de nuestra protección frente al medio interestelar) es mucho más débil en periodos de mínimo solar.

Como se observa a partir de la Figura 3, actualmente nos encontramos en un máximo de actividad solar (indicando que aquí nos referimos a actividad a largo plazo, olvidando el ciclo de 11 años dentro del cual estamos en el mínimo actualmente), lo cual, de forma análoga a cómo el mínimo de Maunder provocó un descenso de la temperatura media del planeta, podría ser el responsable de un calentamiento global.

Llegados a este punto, se debe estudiar cuáles son los factores concretos y con qué peso producen cambios sobre el clima terrestre.

Por un lado, tenemos la luminosidad del Sol, que fija la energía que llega a la tierra por radiación (en su mayor parte visible). Aquí, y a pesar de lo que pueda parecer en un principio, la máxima luminosidad se produce cuando existe una mayor actividad solar (lo que produce un mayor número de manchas) ya que, aunque un porcentaje de la superficie del Sol está oscurecido por las manchas, en promedio existen más zonas brillantes como consecuencia del gas calentado por los fuertes campos magnéticos presentes.

Sin embargo, estos cambios de luminosidad entre máximos y mínimos de actividad solar son solo del orden de un 0.1 % de la luminosidad media del Sol<sup>[9]</sup>, lo cual es un cambio bastante despreciable como para que pueda afectar de una forma tan significativa a nuestra atmósfera.

Por último, cabe destacar que si bien el efecto de dichas variaciones en la luminosidad del Sol dejan huellas de una relación con el cambio en la temperatura de la Tierra, al menos en algunos casos, estos no se encuentran<sup>[10]</sup> cuando examinamos el periodo de 11 años del ciclo solar, debido a que a corto plazo predomina claramente las causas intrínsecas a nuestra atmósfera y ésta tiene una inercia que ralentiza cualquier cambio que pudiera provocar una variación “rápida” en la actividad solar.

## 6 El efecto de los rayos cósmicos

Hemos visto como la actividad solar influye en la luminosidad recibida del Sol. Sin embargo, el cambio de ésta en principio no es suficiente para explicar todos los efectos que produce la actividad solar en nuestro clima.

En este punto, entra en juego el estudio de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra. Si bien cabe destacar que estos estudios son bastante jóvenes en general, por lo que las conclusiones que de ellos se obtiene no están suficientemente contrastadas como para poder realizar una afirmaciones claras, haciendo falta una mayor investigación en estos apartados para conseguir llegar a conclusiones más firmes.

Por las estimaciones realizadas sobre los modelos de la atmósfera, conocemos que las nubes contribuyen hasta dos tercios del albedo total de la atmósfera (cantidad de energía reflejada respecto a la que nos llega del Sol) debido a que éstas se asemejan a una capa aislante, provocando que parte de la radiación proveniente del Sol sea reflejada por éstas antes de llegar a la superficie terrestre.

Debido a esta relación se ha estimado que un decrecimiento de un 1 % en la superficie nubosa atmosférica puede originar un aumento en la temperatura global de la Tierra de hasta  $\approx 0.33$  °C.

Ahora bien, conocemos que pese a la protección del campo magnético solar, a la Tierra llega una gran cantidad de rayos cósmicos, los cuales no son más que partículas cargadas (protones) que llevan una gran energía (debido a que viajan a una gran velocidad).

Recientemente se descubrió que presentan una gran efecto sobre las capas nubosas, ya que durante la entrada por la atmósfera, producen una ionización sobre las moléculas presentes en la atmósfera (lo cual, entre otras cosas, da lugar a que la atmósfera tenga la conductividad eléctrica que tiene).

Este efecto provoca que cuanto mayor es el flujo de rayos cósmicos incidentes, mayor es la producción de nubes en las capas bajas de la atmósfera, provocando que el albedo de la Tierra aumente. Sin embargo, y pese a que hay evidencias que confirman estas hipótesis (como se puede observar en la Figura 4 <sup>[11]</sup>), aún no se tiene un modelo claro sobre por qué ocurre esto y cual es la causa exacta de que los rayos cósmicos provoquen una mayor cantidad de nubes.

Realizando medidas sobre la cantidad de rayos cósmicos durante el último siglo (a partir de medidas de la concentración de  $^{10}\text{Be}$  en capas de hielo) se ha encontrado que la cantidad de rayos cósmicos muestra un decrecimiento de  $\sim 5 - 6$  % (en acuerdo con la actividad solar, ya que la cantidad de rayos cósmicos se reduce cuando el campo magnético del Sol es fuerte, *i.e.* hay una gran actividad solar, correspondiéndose con estos últimos

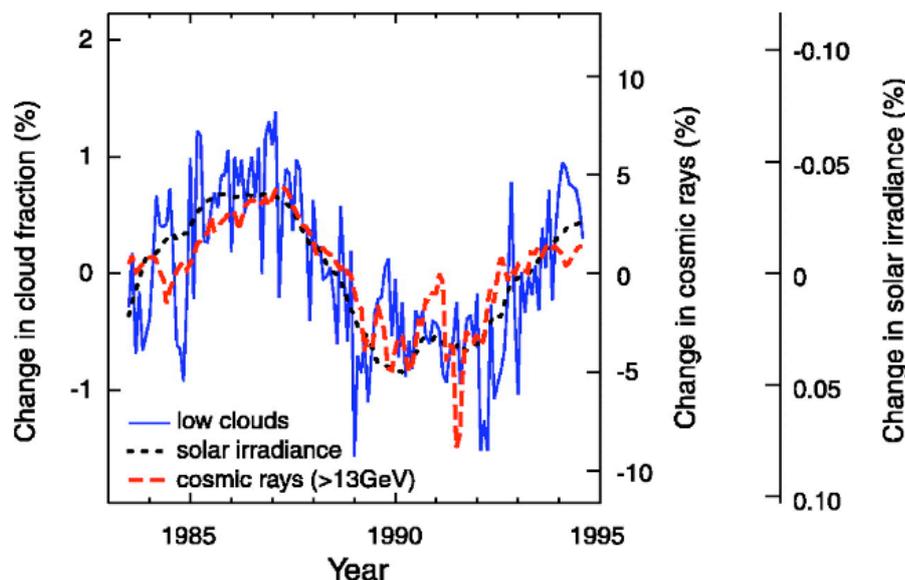


Figura 4: Evolución de la cantidad de rayos cósmicos que llegan a la Tierra, de la cantidad de formaciones nubosas y de la irradiancia solar durante un ciclo solar (11 años). Se observa la correlación existente entre las tres magnitudes.<sup>[11]</sup>

años, como vimos en la Figura 3), lo cual se corresponde a una reducción de  $\sim 1\%$  en la capa nubosa.

Con todo esto, se estima que la contribución que ha generado esta disminución de los rayos cósmicos sobre el calentamiento del último siglo es del orden de  $0.3 - 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ , lo cual implica en torno al  $50\%$  del calentamiento que ha sufrido nuestro planeta en el último siglo (que ha sufrido un aumento de en torno a  $0.7\text{ }^\circ\text{C}$ ).

## 7 Conclusiones

Aunque no se puede achacar a la radiación del Sol todo el efecto observado recientemente sobre el clima terrestre, sí que se tienen indicios de que actividades extremas en el Sol conducen a una variación observable en nuestro clima. Estos serían capaces de explicar menos del  $50\%$  del calentamiento global que ha experimentado la Tierra en este siglo como consecuencia de la actividad que ha tenido el Sol durante los últimos siglos. Aunque, por supuesto, el rápido crecimiento con el que se está produciendo hace patente que existe otro factor principal externo al Sol.

Como precedentes de este cambio climático, conocemos el Periodo Cálido Medieval (durante la Edad Media, entre los años 1100 y 1270 aproximadamente) en los que aconteció un ligero incremento de la temperatura global (aunque mucho menor al actual) provocando un periodo con grandes cosechas que conllevó una gran mejora y desarrollo en la calidad de vida de la época.

Por otro lado, y como ejemplo más extremo, tenemos el periodo Cretácico, donde la

temperatura media del planeta era unos 8 - 12 °C más alta que actualmente, provocando que no existiese apenas hielo en los polos y la superficie terrestre fuese un 10 % inferior a la actual, si bien los continentes diferían enormemente de la configuración que presentan hoy en día.

Por lo tanto, el estudio de estas etapas anteriores de una temperatura global alta, analizando todas las condiciones que hubo en esas épocas: tanto internas a la Tierra como las corrientes submarinas, actividad volcánica, composición de la atmósfera, etc; como externas: fundamentalmente la actividad solar, nos permitirán predecir y modelizar la forma en que evolucionará nuestra atmósfera de una forma más precisa.

## 8 Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por la Comunidad Europea, en su objetivo por intentar realizar un modelo fiable sobre el cambio climático, permitiéndonos poder elaborar un plan de choque con el cual evitar contribuir de una forma significativa en un proceso de calentamiento global, ocasionando la pérdida de múltiples especies animales.

A su vez, se quiere agradecer a la Unesco por haber nombrado este año *Año Internacional de la Astronomía*, conmemorando el 400 aniversario de la primera observación del cielo con un telescopio, y que gracias a Galileo se pudo comenzar un cambio radical de pensamiento en Europa, abandonando las ideas de Aristóteles y apostando por una racionalidad y experimentación perdidas durante demasiado tiempo, retomando el avance tecnológico de toda la sociedad.

Por último, queremos que este trabajo sirva de impulso al *Año Internacional de la Astronomía*, de forma que se pueda hacer llegar la astronomía a un mayor número de personas, fomentando con ello todas las medidas que se puedan tomar frente a problemas tan importantes como el cambio climático, la contaminación lumínica o la pérdida de interés científico que viven algunos países.

## Bibliografía

- [1] Javier Alonso, *Las manchas solares a través de la historia*, Parhelio.com
- [2] Xu Zhentao, *Solar observations in ancient China and solar variability*, Phil. Trans. Royal Society of London, A330 (1990)
- [3] Edward Sabine in *Today in science History*,  
[http://www.todayinisci.com/S/Sabine\\_Edward/Sabine\\_Edward.htm](http://www.todayinisci.com/S/Sabine_Edward/Sabine_Edward.htm)
- [4] P. K. Wang and G. L. Siscoe, *Ancient Chinese observations of physical phenomena attending solar eclipses*, Solar Physics, vol 66, nº 1. mayo 1980.
- [5] Jacques-Clair Noens, *The activity cycle in the solar corona*, L'Astronomie, nov-dic, 1990.

- [6] Jean Béland, *Hydro-Quebec and geomagnetic storms: measurement techniques, effects on transmission network and preventive actions since 1989*, COSIS
- [7] A. A. G. Coroas, ¿ *Existió realmente el mínimo de Maunder ?*, *Astronomía*, n° 10, pág. 32, abril 2000.
- [8] I. G. Usoskin, S. K. Solanki y G. A. Kovaltsov, *Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints*, *Astronomy & Astrophysics*, **7704**,1 Feb, 2008.
- [9] Sabatino Sofia y Linghuai H. Li, *Solar variability and climate*, ArXiv: astro-ph/0010514v1
- [10] Matthew J. Lewis y Katherine Freese, *A wavelet analysis of solar climate forcing: solar cycle timescales*, ArXiv: astro-ph/0203497v1
- [11] Gerald E. Marsh, *Climate change: the Sun's role*, ArXiv: 0706.3621
- [12] Jasper Kirkby, *Cosmic rays and climate*, *Surveys in Geophysics*, Vol. 28, 5-6, nov. 2007, pág. 333