

## La variación de la actividad solar y el cambio climático

M. Vázquez

Instituto de Astrofísica de Canarias

*La variación de la radiación solar es uno de los factores que potencialmente puede influir en el clima terrestre. En esta comunicación se presentan los posibles mecanismos de esta interacción, destacando la respuesta de los principales modos de variabilidad de la atmósfera terrestre a una influencia externa. Finalmente se discute la contribución solar al actual cambio climático y su implicación en el clima futuro de la costa atlántica occidental, en la que se encuentran situadas las Islas Canarias.*

### 1. Introducción

El cambio climático actual consiste en el calentamiento global que experimenta nuestro planeta desde mediados del siglo XIX hasta la actualidad. En principio, las causas hemos de buscarlas en los factores externos tales como el Sol, aerosoles y gases invernadero, junto con la variabilidad interna del sistema climático (Houghton et al., 2001).

A la escala de tiempo a que nos estamos refiriendo (cientos de años) la influencia solar sobre el clima terrestre ha de provenir de cambios en la energía magnética de nuestra estrella, lo que se conoce con el nombre de actividad solar. Dicha escala de variación solar se manifiesta primariamente en un ciclo de 11 años al cual se superponen otros de mayor duración.

A lo largo de las dos últimas décadas medidas de la irradiancia solar a bordo de satélites ha puesto de manifiesto una clara correlación con el ciclo de actividad de 11 años. Utilizando índices indirectos de la actividad solar se ha podido extrapolar estas medidas hasta principios del siglo XVII, que muestran la existencia de mínimos profundos, en la segunda mitad del siglo XVII (Mínimo de Maunder) y a principios del XIX (Mínimo de Dalton). Varias monografías muestran una amplia visión sobre las relaciones Sol – Tierra (Hoyt & Schatten, 1998; Vázquez Abeledo, 1998; Benestad, 2002).

La comparación de datos de la actividad solar con estimas de temperatura en el último milenio muestran una buena correlación hasta la última parte del siglo XX en que los registros de temperatura indican un aumento importante (Jones et al., 2001) no explicable en términos de influencias naturales. Consideremos ahora los fundamentos de tal conexión Sol – Tierra.

La relación entre el aumento del flujo solar a la altura de la Tierra,  $\Delta F$ , y el cambio de temperatura global que ocasiona en la Tierra,  $\Delta T$ , se puede expresar por un coeficiente lineal,  $\lambda$ , de proporcionalidad

$$\Delta T (\text{ }^\circ\text{C}) = \lambda \Delta F (\text{Wattios/m}^2)$$

Para un cuerpo negro  $\lambda \sim 0.3$  con los que los cambios derivados de la actividad solar serían despreciables: 0.07  $^\circ\text{C}$  con el ciclo de 11 años y de 0.14  $^\circ\text{C}$  durante el Mínimo de Maunder. Sin embargo, diferentes correlaciones entre parámetros solares y del clima terrestre nos indican la posible existencia de mecanismos de retroalimentación que intensifiquen la relación Sol - Tierra.

### 2. Influencias indirectas

Estos mecanismos se basan en que la actividad solar intensifique alguna de las frecuencias típicas de la variabilidad interna del sistema climático. Diversos trabajos indican que la atmósfera terrestre posee uno o varios estados estables separados por una barrera energética que puede sufrir transiciones entre ellos como respuesta a pequeños cambios en la actividad solar. Se han explorado varias posibilidades de las que destacaremos las siguientes:



Respuesta de los océanos: Las masas de agua tienen un mayor tiempo de respuesta ( $T = C / \lambda$ ) a cualquier cambio en la radiación solar debido a su mayor capacidad calorífica  $C$ . Medidas de temperaturas en el Pacífico parecen señalar una clara correlación con el ciclo de actividad solar.

El ozono y las ondas planetarias. La radiación solar con longitudes de onda mayores de 300 nm constituye el 99% de la irradiancia solar. Sin embargo, la amplitud de la variabilidad con la actividad solar aumenta hacia radiación más energética, por ejemplo en el ultravioleta. La influencia de esta radiación se manifiesta claramente en las capas superiores de la atmósfera terrestre como por ejemplo en el balance entre los procesos de destrucción y producción de ozono en la estratosfera. Si bien su efecto térmico parece no ser muy importante, algunos modelos indican un debilitamiento y expansión del jet subtropical durante los veranos (Larkin et al., 2001).

Otro mecanismo se concentra en los efectos durante el invierno. Durante esta estación la oscuridad en las regiones polares da lugar a un vórtice muy estable en la estratosfera, que favorece la destrucción del ozono. Esta situación se ve perturbada por la acción de las ondas planetarias, que se producen en la troposfera por obstáculos orográficos y diferencias entre mar y tierra, por lo que son más intensas en el Hemisferio Norte. Estas ondas se propagan a la estratosfera, en donde su acción se intensifica durante los inviernos, en combinación con los predominantes vientos del oeste en dichas capas. Tenemos procesos de calentamiento de la estratosfera que se propagan a las capas inferiores de la troposfera.

El aumento de la radiación solar parece promover el aumento de dichas ondas (Arnold & Robinson, 2000). Modelos indican que las diferencias zonales producidas parecen perturbar uno de los modos de variabilidad intrínseca del Atlántico: La oscilación del Atlántico Norte. Un aumento de la actividad solar realza el estado positivo de dicha oscilación, que entre otros efectos conduce a una intensificación de los vientos alisios en la zona de Canarias.

En estos momentos la influencia de la emisión antropogénica de los gases invernadero es dominante sobre el clima terrestre. Sus efectos sobre el Atlántico son cualitativamente similares a los que hemos mencionado con anterioridad (Shindell et al., 2001).

Estudios de la relación entre el clima canario y las diferentes fases de la OAN son altamente aconsejables, junto con una reconstrucción del clima pasado utilizando diferentes índices indirectos (ver p.ej García et al., 2003).

### 3. Bibliografía

- Arnold, N.F., Robinson, T.R., 2000, Amplification of the influence of solar flux variations on the winter stratosphere by planetary waves, *Space Science Reviews* 94, 279 - 286
- Benestad, R.E., 2002, *Solar Activity and Earth's Climate*, Springer Verlag
- García, R., Macías, A., Gallego, D., Hernández, E., Gimeno, L., Ribera, P., 2003, Reconstruction of the precipitation in the Canary Islands for the period 1595 - 1836, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 81, 1037 - 1039
- Houghton, J., et al., 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press
- Hoyt, D.V., Schatten, K., 1998, *The Role of the Sun in Climate Change*, Oxford University Press
- Jones, P.D., Osborn, T.J., Briffa, K., 2001, The evolution of the climate over the last millennium, *Science* 292, 662 - 673
- Shindell, D.T., Schmidt, G.A., Miller, R.L., Rind, D., 2001, Northern Hemisphere winter climate response to greenhouse gas, ozone, solar and volcanic forcing, *Journal of Geophysical Research* 106, 7193 - 7210
- Vázquez Abeledo, M., 1998, *La Historia del Sol y el Cambio Climático*, Mc Graw-Hill / Interamericana