

Las causas naturales del cambio climático se pueden dividir en dos tipos: causas externas y causas internas a la Tierra. A continuación, analizaremos ambos tipos de causas.

## **1. CAUSAS EXTERNAS.**

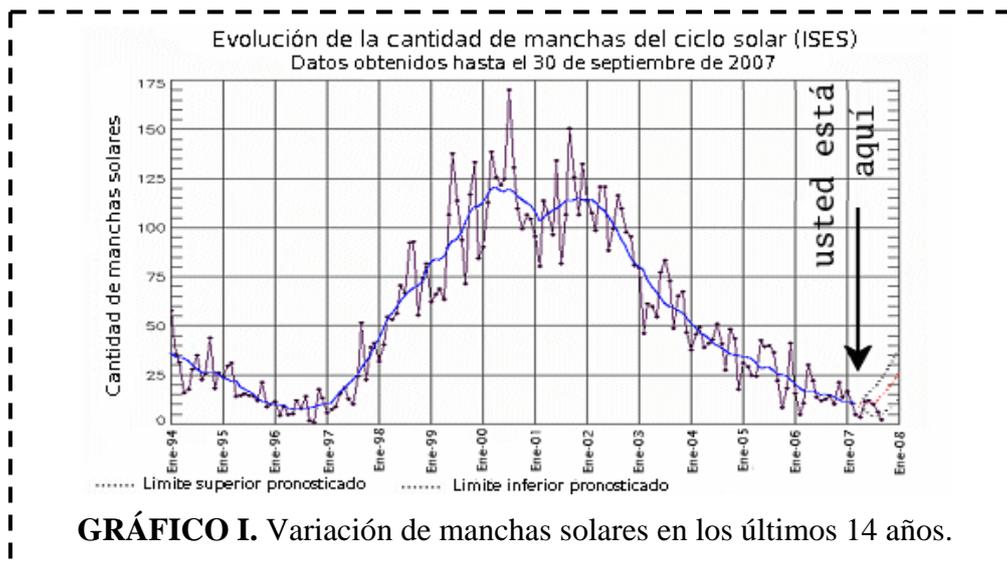
Las causas externas son las influencias sobre el clima ajenas al sistema climático de la propia Tierra. Normalmente ocurren de forma sistemática, aunque también pueden producirse aleatoriamente, como es el caso de los impactos de meteoritos. Según el tipo de factores que determinen la variación del clima, una causa se podrá considerar sistemática o aleatoria.

La escala de tiempo con la que se mide la variación es decisiva, ya que en una baja escala de tiempo pueden no llegar a reflejarse cambios que ocurren en grandes ciclos, o viceversa. Se pueden distinguir tres tipos de causas externas: variaciones solares, variaciones orbitales e impacto de meteoritos.

### **1.1. Variaciones solares.**

El sol es una estrella de tipo G muy estable, por lo que su flujo se mantiene casi constante. Aunque el valor medio de ésta apenas cambie, se producen pequeñas fluctuaciones en la cantidad de energía.

#### *1.1.1. Variación a corto plazo*



La variación solar más conocida son los ciclos de manchas solares. Son ciclos de 11 años de duración en los que varía la intensidad solar en un 0,1% a causa de la aparición de regiones oscuras en la superficie del Sol (Ver **GRÁFICO I**). Heinrich

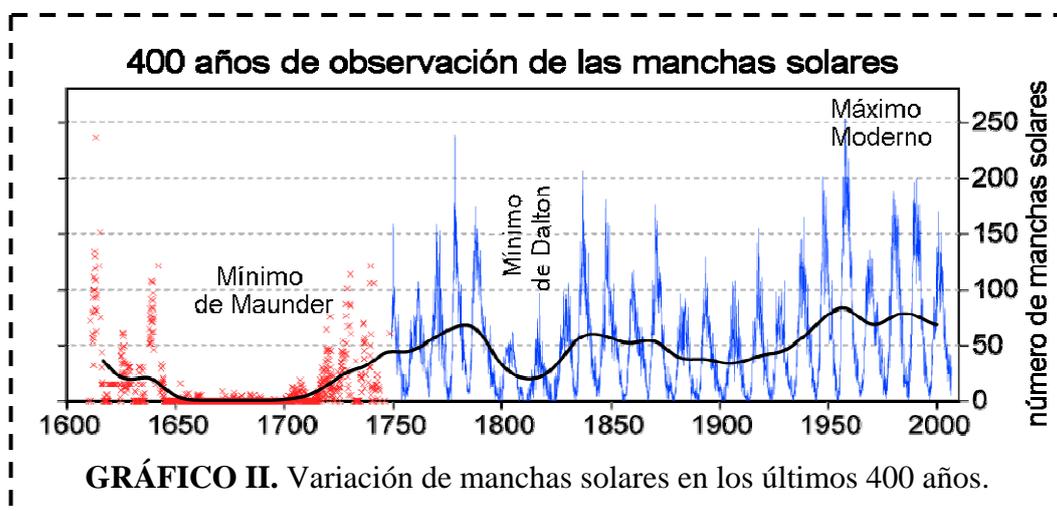
Schwabe fue la primera persona en observar estos cambios, entre 1826 y 1843, lo que llevó a Rudolf Wolf a realizar observaciones más detalladas en 1848.

Una mancha solar consta de una parte central, llamada “umbra”, y una “penumbra” que la rodea. Ambas partes poseen apariencia oscura debido al contraste de temperatura con el resto de la superficie solar, pero en realidad las temperaturas de la umbra y la penumbra son 4000°K y 5600°K, respectivamente, mientras que la de la superficie solar es de 6000°K. La umbra emite un 32% de luz de lo que emite un área de igual de la fotosfera, mientras que la penumbra emite un 71%. La oscuridad no es más que un efecto de contraste.

Si viésemos una umbra del tamaño de la Tierra, aislada y a la distancia del Sol, brillaría 50 veces más que la Luna llena. Una sola mancha solar puede llegar a medir hasta 12.000 km, de modo que un grupo de manchas solares pueden multiplicar por 10 ese tamaño, o incluso más.

Aunque aún hay detalles por aclarar, se dice que las manchas solares se crean gracias al tubo de flujo magnético que se forma bajo la superficie solar. La presión y la densidad bajan en estos tubos, y por esto se enfrían. El tubo se enrosca, y si la tensión que debe soportar es demasiado alta, se riza, con lo que se detiene el flujo de energía desde el interior del sol y la temperatura de la superficie se reduce. Es cuando aparecen dos manchas con polaridad magnética opuesta.

Existen otros ciclos de mayor duración, siendo el más conocido el “ciclo de Gleissberg”, con un período de 72 a 83 años. La variación de intensidad es parecida a la de los ciclos de 11 años (Ver **GRÁFICO II**), con la única diferencia de que este último ciclo puede producir algún cambio climático apreciable en el tiempo que dura.



### *1.1.2. Variación a largo plazo*

Sin embargo, se ha demostrado que las variaciones solares sí influyen a muy largo plazo. Se calcula que un aumento del 1% en su brillo provocaría que la temperatura media de la atmósfera subiese 1 ó 2 grados.

La luminosidad del sol aumenta un 10% cada 1.000 millones de años, debido a que el hidrógeno se va agotando y la presión solar aumenta. Esto es parte de la evolución de la estrella. Estos incrementos son despreciables a corto y medio plazo, pero a largo plazo (aproximadamente dentro de 1.000 millones de años), el Sol irá brillando cada vez más, lo que causará que los océanos empiecen a evaporarse y desencadenará un efecto invernadero devastador que podría convertir la Tierra en una especie de Venus.

## **1.2. Variaciones orbitales.**

Al contrario que la luminosidad solar, la órbita de la tierra cambia periódicamente, lo cual provoca que la radiación que llega a cada hemisferio varíe con el tiempo. Estas variaciones provocan los períodos glaciales e interglaciares, según la Teoría de Milankovic.

Hay que tener en cuenta varios factores que modifican las características orbitales, y causan las glaciaciones del Cuaternario cada 100.000 años. Por sí solos, no serían suficientes para provocarlas, pero la combinación de las tres lo hace posible.

Esos factores son la precesión de los equinoccios, la excentricidad orbital y la inclinación de la órbita.

### *1.2.1. Precesión de los equinoccios.*

Se trata del cambio de dirección del eje de la Tierra. El eje se desplaza en el espacio dibujando una forma cónica. Se necesitan casi 26.000 años para realizar una rotación completa (periodo llamado “año platónico”), y la apertura angular media de ese cono es de  $23^{\circ} 27'$ . Ocurre por dos razones: la forma geoide de la Tierra, que no es totalmente esférica, y la combinación de las fuerzas de atracción gravitatorias del Sol y de la Luna.

Este es el primer factor que se tuvo en cuenta. Joseph Adémar, un matemático francés, fue el que anunció este efecto por primera vez. El cambio de dirección del eje altera el inicio de la primavera y el momento en el que la Tierra alcanza el perihelio y el afelio, aunque no tiene nada que ver con los movimientos de traslación y rotación del planeta. Por esta razón, en un hemisferio las estaciones serán más extremas que en el otro. En la actualidad, el verano del hemisferio sur se da en el perihelio, y el verano

durante el afelio, por lo que las estaciones del Hemisferio Sur son algo más extremas que las del Hemisferio Norte.

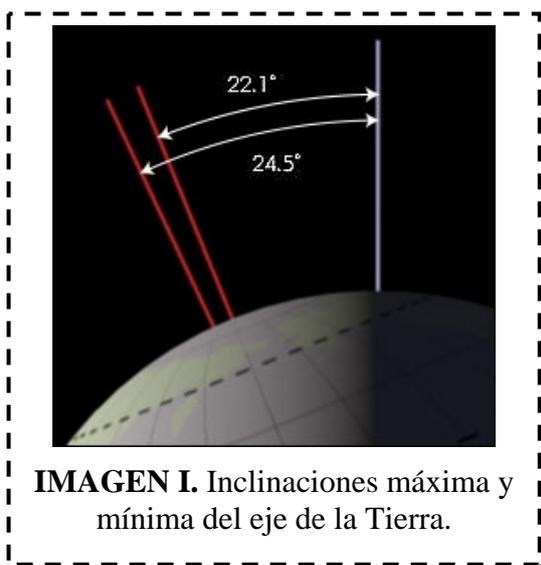
### 1.2.2. Excentricidad orbital.

Debido a que el resto de planetas del Sistema Solar atraen la Tierra, la forma de su órbita sufre variaciones. Pasa de ser casi circular a ser ligeramente elíptica, y su excentricidad media es de 0,028. Lo descubrió el inglés James Croll. El ciclo más conocido de esta variación dura unos 100.000 años, pero hay un ciclo que puede llegar hasta los 413.000 años de duración. Los periodos de gran excentricidad serían eras glaciales, mientras que los de órbita casi circular, eras interglaciares.

Cuando la órbita es muy elíptica, la cantidad de radiación solar en el perihelio es un 23% mayor que en el afelio. Actualmente, la excentricidad es de 0,017 y el aumento de radiación solar entrante es del 6,8%. El perihelio ocurre el 3 de enero y el afelio, alrededor del 4 de julio.

### 1.2.3. Inclinación de la órbita.

El eje de giro de la Tierra cambia su inclinación lentamente con el tiempo. La



inclinación se mueve hasta 2,4° de diferencia, entre 22,1° y 24,5° (Ver **IMAGEN I**). Milutin Milankovic fue el primero en proponer la influencia de este factor. Este movimiento se repite cada 41.000 años.

Cuando la inclinación es superior, los inviernos son más fríos y los veranos más calurosos. Cuando la inclinación es inferior, los inviernos y los veranos se hacen más apacibles. En la actualidad, el eje de

rotación de la Tierra tiene una inclinación de 23,5° sobre el eje de la órbita.

## 1.3. Impacto de meteoritos.

Son eventos que ocurren en muy pocas ocasiones y de manera aleatoria. Son eventos catastróficos que marcan a la Tierra para siempre. El último ocurrió hace 65 millones de años. Estos fenómenos provocan un efecto devastador: liberan grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, polvo y ceniza a la atmósfera, que pueden quemar zonas boscosas.

También se puede intensificar la actividad volcánica de la zona. En el caso de que el impacto sea muy poderoso, puede llegar a cambiar la actividad geológica del planeta y su órbita.

## **2. CAUSAS INTERNAS.**

Se consideran causas internas la mayoría de los factores no sistemáticos o caóticos, y que ocurren dentro de la propia Biosfera de la Tierra. Aquí no sólo hay que tener en cuenta los factores, sino también las respuestas que estos producen.

### **2.1. Deriva continental.**

Hace 225 millones de años todos los continentes estaban unidos formando un único continente que llamamos Pangea, y había un océano universal llamado Panthalassa (Ver **IMAGEN II**). La forma del continente favorecía las corrientes oceánicas, y no había masas de tierra en ninguno de los Polos. Esto implicaba que la diferencia de temperaturas entre el Ecuador y el Polo era menor que ahora, y el clima fuese mucho más caluroso en general.



**IMAGEN II.** Disposición inicial de los continentes.

La tectónica de placas ha separado los continentes y los ha puesto en la situación actual. Es un proceso lento, por lo que esto puede no influir en el clima durante millones de años. La influencia que puede tener dependerá de la latitud en la que se coloquen los continentes y lo fragmentados que estén.

Durante el Jurásico, el clima tropical se extendía por todo el mundo y los bosques de helechos prosperaban por todas partes.

### **2.2. Composición atmosférica.**

Inicialmente, la atmósfera primitiva perdió sus componentes ligeros (el hidrógeno diatómico y el helio) para ser sustituidos por gases procedentes de emisiones volcánicas, especialmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que dieron lugar a una atmósfera de segunda generación. En esta atmósfera, los gases de efecto invernadero naturales contribuían al aumento de temperatura de la Tierra. Por otro lado, los óxidos de azufre y



las corrientes hacen que sean notorios los diferentes períodos de temperatura y humedad.

Hay un efecto especial relacionado con una corriente cálida del Pacífico que va desde las costas de Perú a Indonesia. Esta corriente es empujada por los vientos alisios, que facilitan su llegada a Indonesia. Una vez allí, se encuentran con la atmósfera cálida y húmeda y causan lluvias y los monzones. Por esta razón, Indonesia es una zona muy húmeda y Perú, una de las zonas más secas del planeta. Cuando los alisios no soplan con fuerza o constancia suficiente, la corriente se queda en el Pacífico y se retira hacia el sur. Este efecto se conoce como “el Niño”. Si esto ocurre, se da un aumento de temperatura en Perú y en el centro del Pacífico.

#### **2.4. Campo magnético terrestre.**

El núcleo de la Tierra está compuesto, principalmente, por hierro y níquel, materiales que pueden formar imanes. Sin embargo, debido a las altas temperaturas del núcleo, no se forma ningún imán. El núcleo tiene una capa externa en estado líquido, y la teoría del campo magnético terrestre dice que ese material líquido se mueve. Un pequeño campo inicial, que puede venir del exterior, hace que se forme uno mucho más intenso a partir de los fluidos antes nombrados, que es capaz de mantenerse a sí mismo.

Este campo magnético es como un escudo para las partículas que vienen del Sol. Según su estado, permite el paso o detiene las partículas que vienen del Sol. Las variaciones del campo magnético terrestre pueden afectar al clima de manera indirecta.

En el pasado, la polaridad del campo se invirtió y su intensidad varió mucho, llegando casi a anularse en momentos concretos. También se sabe que los polos magnéticos han llegado a estar cerca del Ecuador, en lugar de estar cerca de los polos geográficos como es normal. Estos sucesos influyeron en la forma en la que llegaba el viento solar a la Tierra.