



## 2. Evolución del clima de la Tierra.

Arturo Sousa Martín.  
Departamento de Biología Vegetal y Ecología.  
Universidad de Sevilla.

## 1. Introducción

La **percepción humana** del clima, debido a que tenemos un horizonte vital muy limitado (con una esperanza de vida media entre 65 y 75 años), genera con frecuencia una visión distorsionada del clima. Ya que es un período de tiempo realmente breve si lo medimos a escala de la Historia del planeta Tierra. Esto explica que -aun sin ser conscientes de ello- se tiene frecuentemente una visión muy estática del clima. Sin embargo el clima –por definición- es y ha sido extraordinariamente variable a lo largo de la historia de la Tierra.

Por ello, para comprender el significado y el peso que han tenido cambios relevantes en el clima, resulta imprescindible analizar la historia del clima de la Tierra de forma completa, y por tanto a escala geológica. Sólo de esta manera se puede entender el peso de los cambios climáticos más recientes en el marco general de la historia de la Tierra con un sesgo menos antropocéntrico. Sólo comprendiendo los mecanismos que han hecho cambiar el clima en el pasado podremos entender cual es el funcionamiento y los cambios que nos depara el futuro.

## 2. ¿Podemos saber cual ha sido la historia del clima de la Tierra o especular sobre ella?

A pesar del título, la respuesta a esta pregunta sería un *No* matizado. Efectivamente no conocemos con detalle la historia del clima de la Tierra, es más, conocemos muy poco, casi nada, del 90 % de la Historia de la Tierra. Así, si el planeta Tierra existe como tal desde hace aproximadamente unos 4500 millones de años (Ma), sólo tenemos una información -más o menos completa- de lo que ha pasado, desde hace unos 540 millones de años.

En esta fecha hay una explosión de vida en el planeta (Cámbrico), y por ello estos últimos 540 millones de años se denominan como Fanerozoico [del griego *phanerós* = claro, visible y *zoe* = vida, existencia; Quintana (1987)]. Téngase en consideración que el último período geológico -en el que estamos inmersos en la actualidad- es un período interglaciar conocido como Holoceno, y que está datado -aunque varía según el autor- desde hace aproximadamente 11.500 años... lo que dentro de los 4500 millones de años de la Historia de la Tierra es tan sólo un instante.

Todo el período anterior al inicio del Cámbrico (y por tanto del **Fanerozoico**) se denomina Precámbrico por razones obvias. Y dentro del Precámbrico se pueden distinguir 3 vastos lapsos de tiempo (conocidos como eones): **Haadense** [clima de la tierra era literalmente infernal, una bola de masa magmática y se forma una atmósfera primigenia; del griego *hádes*= la muerte, el infierno; Quintana (1987) ], **Arqueozoico** (durante el cual cesa el bombardeo de los meteoritos y se forma una

delgada litosfera donde se pueda iniciar la vida mediante cianobacterias anaerobias en una atmósfera donde predomina el dióxido de carbono) y Proterozoico (donde parece probable que la concentración de oxígeno se estabiliza hasta el 21 % actual, debido a la acción de las cianobacterias).

Un esquema de ello se recoge en la Figura 1.

Al final del Arqueozoico y al final del Proterozoico se dieron varias glaciaciones en la Tierra, mucho más intensas que las que se dieron más recientemente, cuando los antecesores de la especie humana empezaban a colonizar el planeta. La última de ellas fue tan intensa que se conoce en inglés como *snowball Earth*, debido a que la Tierra se congeló casi completamente como una gran bola de hielo, quedando la vida reducida hasta muy pequeños reductos. A partir de aquí -tras recuperarse de este período tan desfavorable para el desarrollo de los organismos- se inicia una explosión de vida, instaurándose el período conocido como Fanerozoico, durante el cual hay varios ciclos de glaciaciones. Las últimas de las glaciaciones Fanerozoicas se dan durante la Era Cuaternaria (aproximadamente últimos 2.5 Ma, y especialmente durante el último millón de años en lo que se conoce como glaciaciones pleistocénicas).

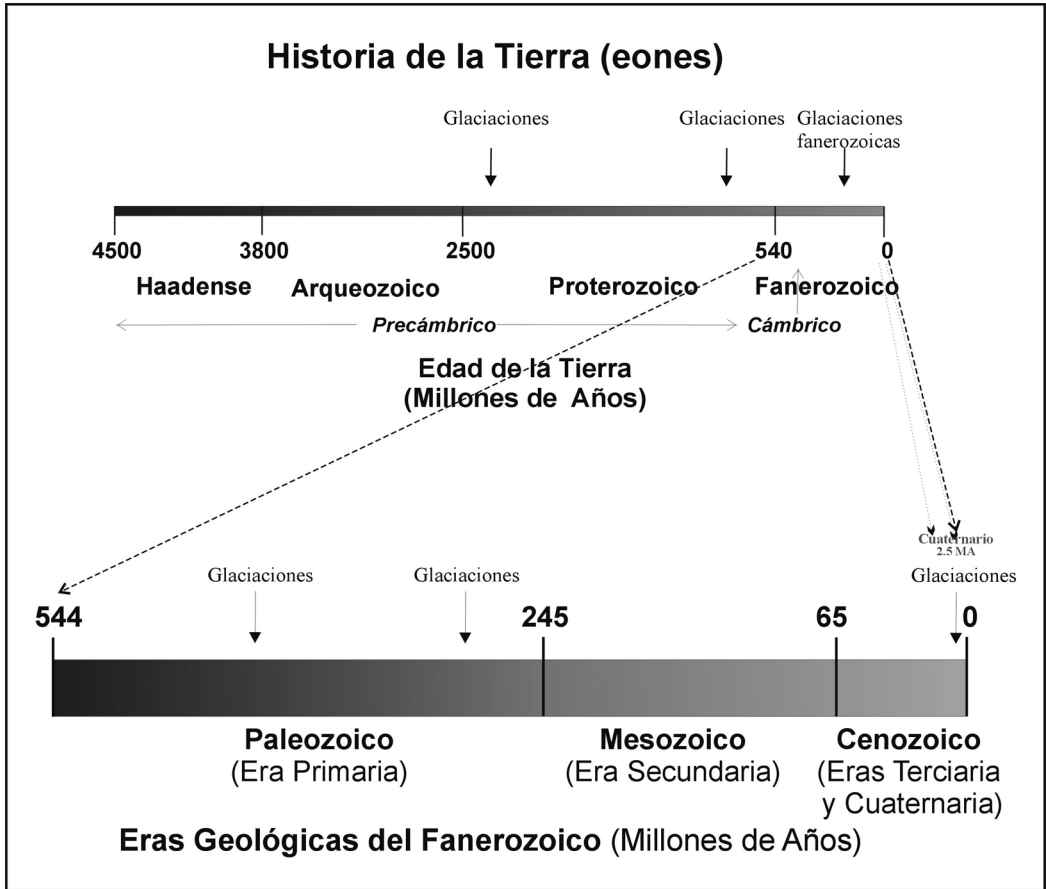


Figura 1. Períodos de la Historia de la Tierra en Millones de Años (Ma, Millones de años).

### 3. La explosión de vida del Cámbrico y las glaciaciones Fanerozoicas

Durante el primer período del Fanerozoico, conocido como Cámbrico, el registro fósil revela una explosión de vida, con la aparición de numerosas especies animales de aguas marinas. Las razones de este incremento en los tipos de formas de vida no están del todo claras, aunque la concentración de magnesio/calcio en el mar baja, favoreciendo de esta forma la aparición y diversificación de taxones animales calcáreos.

Independientemente de ello a lo largo de la vida de la Tierra (Fanerozoico fundamentalmente) ha habido 5 grandes extinciones en cada una de las cuales desaparecen-al menos- el 70 % de las especies que pueblan en cada momento

el planeta (ver Figura 2). Por éstas cinco grandes extinciones, algunos autores, comienzan a hablar que desde la presencia del hombre se ha iniciado la “Sexta Gran Extinción” asociada al Cambio Global (no a Cambios Climáticos exclusivamente), y donde no sólo desaparecen un gran número de especies sino que lo hacen que una velocidad que no se ha dado antes en la historia del planeta.

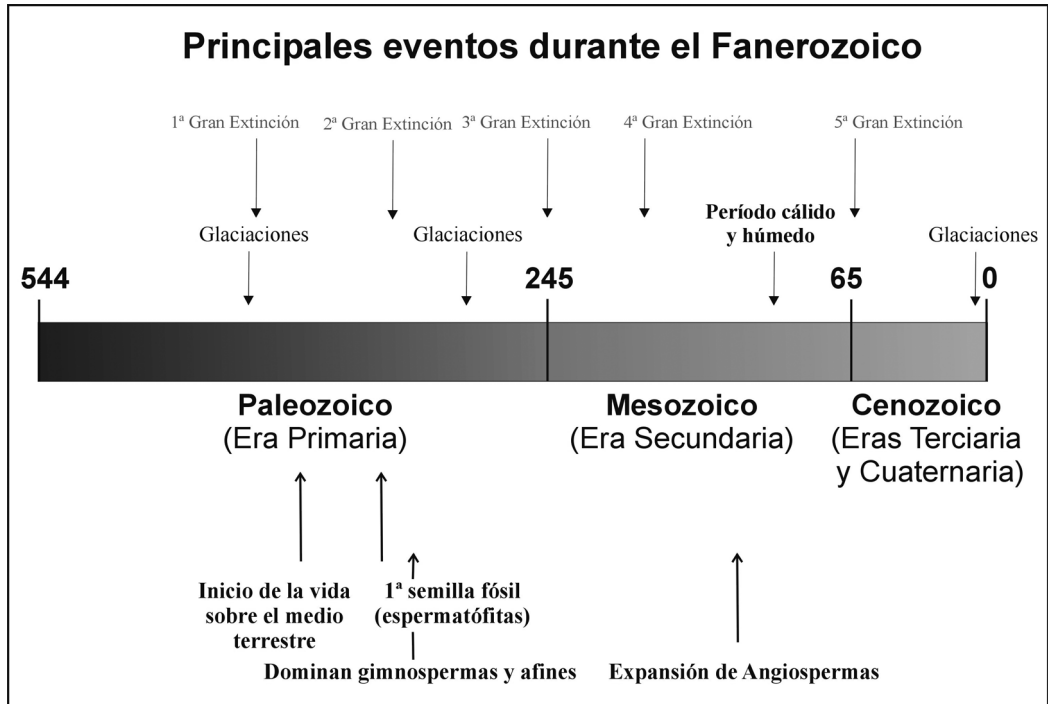


Figura 2. Distribución de las glaciaciones fanerozoicas, así como las 5 últimas grandes extinciones de vida en la Tierra.

A mediados del Paleozoico (hace aproximadamente 400 Ma) las formas de vida, que sólo se podían desarrollar en el medio acuático, empiezan a colonizar la Tierra. Esto permite que poco después -siempre a escala geológica- hace unos 350 Ma el registro fósil nos aporte la primera semilla conocida. Tras la aparición de la semilla se hicieron dominantes los grupos portadores de éstas: coníferas, cícadas y ginkgos en la era Mesozoica, gran parte de los cuales terminarían por extinguirse, después de un largo período de supremacía, y de las que aún hoy nos quedan algunos taxones vegetales relictos como *Ginkgo biloba*, *Cycas revoluta* o *Welwitschia mirabilis*.

Después de la glaciación provocada por el secuestro de la materia orgánica en los suelos (proveniente de los grandes bosques de gimnospermas y afines), a finales del Carbonífero, se inicia una lenta pero constante recuperación de las temperaturas hasta entrar en la Era Secundaria, uno de los períodos más cálidos de la Historia de la Tierra.

## 4. El cálido mesozoico: la desaparición de los dinosaurios y la expansión de las Angiospermas

Hace 245 ma. durante la transición del Paleozoico (primaria) al Mesozoico (Secundaria), tras finalizar el pérmico (después del Carbonífero) y justo antes del Triásico, se produce 3ª Gran Extinción, en la cual desaparece la mayor parte de la vida en la Tierra, y se conoce como del Permo-Trías. Las causas fueron seguramente varias pero, entre ellas, parece que estuvieron implicados tanto el impacto de bólidos extraterrestres como erupciones volcánicas masivas.

Ya dentro del Mesozoico [del griego *mésos*= situado en medio, central y *zoe* = vida, existencia; Quintana (1987)], aunque no es un período tampoco homogéneo, no se conoce ninguna glaciación (ver Figura 2), aunque aparece una tendencia -con diversas fluctuaciones- hacia un calentamiento.

Aunque los datos que se tienen no son muy precisos, a mediados del Cretácico (100 Ma) -uno de los tres períodos en que se divide el Mesozoico: Triásico, Jurásico y Cretácico- la temperatura media era entre 6 y 12 °C más elevada que la actual, según recoge Uriarte (2003). Según recopila este mismo autor, la concentración de CO<sub>2</sub> era varias veces superior a la actual (entre 900-3.300 ppm). Este aspecto es extraordinariamente relevante, ya que sirve a algunos autores para cuestionar el carácter antropogénico del Calentamiento Global. Así según el último informe de expertos del IPCC (2007) la tasa natural en los últimos 650.000 años habría estado entre 180-300 ppm. Más concretamente había pasado de 280 ppm en la época pre-industrial hasta 379 ppm en el año 2005 (IPCC, 2007).

## 5. El Cenozoico [del griego *kainós* = reciente, nuevo)], y las glaciaciones cuaternarias

A finales de la Era Secundaria el clima comienza -con diversas fluctuaciones- a enfriarse, después del máximo Cretácico. Ya dentro del Cenozoico están el **Terciario** (65-2.5 Ma) y el **Cuaternario** (2.5 Ma-actualidad). A su vez dentro del Cuaternario se puede discriminar el Pleistoceno y el Holoceno (últimos 11.500 años), en el cual nos encontramos actualmente.

Por tanto, en general, el Cenozoico (supone una tendencia general al enfriamiento (después del cálido y húmedo Mesozoico), y a la acumulación de mantos glaciares en la Antártida y Groenlandia (que no existían antes). Este proceso termina desembocando en un conjunto de glaciaciones cíclicas durante el Cuaternario (glaciaciones Pleistocenas) que cubren con su manto de hielo grandes zonas continentales, como se aprecia en la Figura 3.

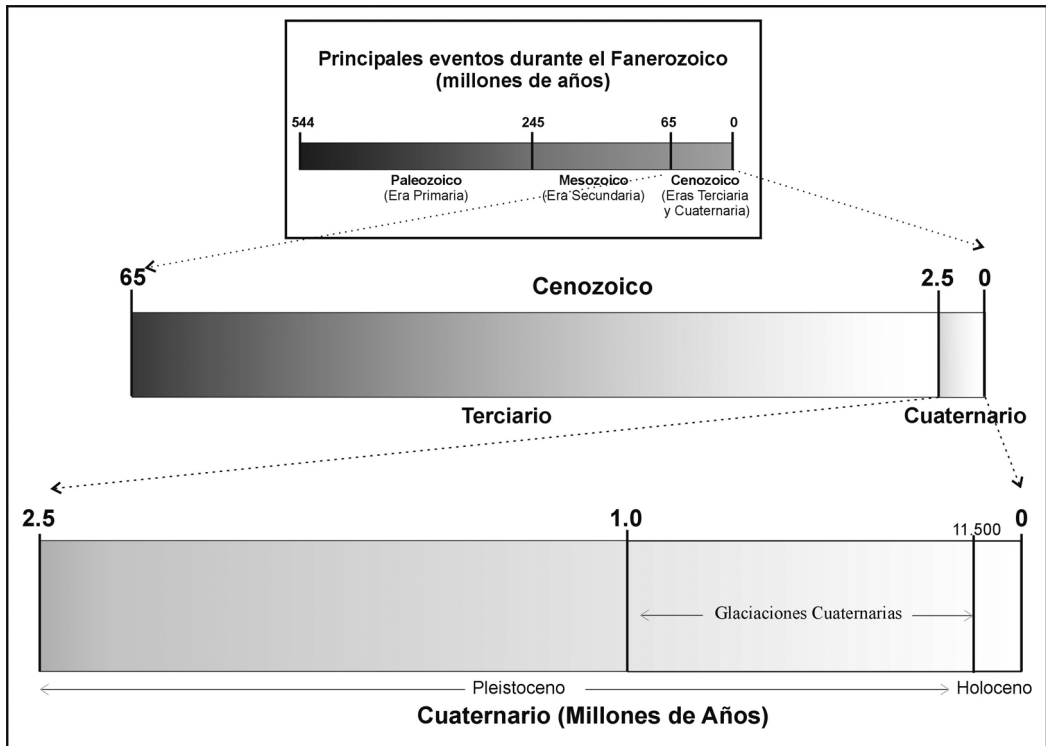


Figura 3. Aparición de las glaciaciones Cuaternarias durante el Pleistoceno.

El Cuaternario consta de dos períodos muy desiguales: Pleistoceno (2.5 Ma-11.500 Ka) y el Holoceno (11.500 años-actualidad). Desde finales del Terciario (Plioceno), la atmósfera ha entrado en una fase de enfriamiento general (aunque proviene desde los últimos 50 Ma, o incluso más, desde el período cálido Cretácico). Esta tendencia fría permitió que se acumulara hielo en el norte de América y Europa (lo que se denomina mantos de hielo Laurentino en USA-Canadá y manto Finescandinavo en Escandinavia y norte de Europa), añadiéndose a los mantos de hielo existentes en la Antártida y Groenlandia. Estos casquetes de hielo crean las condiciones necesarias para que se den las glaciaciones Cuaternarias (Pleistoceno), asociadas a las cuales se producen importantes avances y retrocesos en estos mantos de hielo (glaciaciones y período interglaciares).

Por tanto la Era Cuaternaria es una época de inestabilidad climática, con fluctuaciones y oscilaciones cada vez más marcadas que terminan derivando en la alternancia de 9 ó 10 glaciaciones con sus correspondientes períodos interglaciares (que eran más breves). El último período interglaciar es el actual (se denomina Holoceno), y el anterior es el Eemiense (se inicia tras la penúltima glaciación hace 130 ka). El final del Eemiense y el inicio de la última glaciación se da hace 115 ka (115.000 años)

como consecuencia de una disminución en la radiación solar estival. Esta ligera disminución permitiría que la capa de nieves perpetuas de latitudes altas resistiera un poco más la fusión del verano, encontraban un terreno favorable para cuajar y acumular la nieve del otoño siguiente, lo cual aumenta la superficie reflectante (color blanco de la nieve) y al aumentar el albedo disminuía la insolación absorbida (disparando así un bucle o feedback que se retroalimentaba positivamente). Este ligero cambio en la cantidad de radiación estival que recibía la Tierra en latitudes altas se debería -según las hipótesis de James Croll a finales del S. XIX y de Milutin Milankovitch a principios del S. XX- a alteraciones orbitales en la Tierra.

A lo largo de la última glaciación (conocida en Europa como Würm y en Norteamérica como Wisconsin) el enfriamiento no se produjo de manera uniforme, sino que existieron períodos de agudización del frío (estadales) que al final solían producir flotillas de Iceberg (eventos Heinrich), cuyo rumbo se puede seguir por los depósitos que han dejado. Entre estos períodos fríos o estadales, había períodos cortos que se denominan interestadales (oscilaciones Dansgaard-Oeschger). El efecto de estos icebergs (alteran la salinidad) junto con los mantos de hielo modificaban la circulación termohalina, y por tanto el clima global y por regiones.

Tras la última glaciación llega el Holoceno [del griego *hólos* = todo, entero y *kainós* = reciente, nuevo; Quintana (1987)], que es el actual período interglaciar (con una temperatura media terrestre de 14-15 °C), y tampoco ha sido un clima muy estable. Así dentro de este período hay fases conocidas como Preboreal, Boreal, Atlántico, Subboreal, Subatlántico... Font Tullot (1988) reconoce en España: Año cero-400 DC (Episodio cálido Romano). 400-700 DC (Episodio frío Altomedieval). 700-1300 DC (Episodio Cálido Bajomedieval). 1430-1850 DC (Pequeña Edad del Hielo). Vamos pues a concretar que es lo que ha pasado desde los últimos mil años hasta nuestros días.

## 6. Historia del clima de la Tierra durante los últimos mil años

Diferentes indicios (diatomeas, glaciares, datos históricos, inundaciones...) señalan la existencia de dos períodos climáticos durante los últimos mil años:

- **Período Cálido Medieval** (Óptimo Climático Medieval): 700-1300 AC.
- **Pequeña Edad del Hielo** (Pequeña Era Glaciar o Miniglaciación): 1430-1850 AC.

A los cuales habrá que añadir el actual **Calentamiento Global** en el que estamos inmersos.

La duración y las características de estos períodos fueron diferentes. El Óptimo



Climático Medieval duró al menos 6 siglos, y en general se considera que en Europa central fue un período más cálido. Pero los efectos de los cambios climáticos no tienen porqué ser homogéneos, y en otras zonas del mundo -como por ejemplo Patagonia- fue un período más seco (Stine, 1994).

Este período alcanzó su apogeo en el año 1100 DC, y permitió que el cultivo de la vid se extendiera por el sur de Inglaterra, que las invasiones vikingas llegaran desde Noruega hasta las Islas Británicas, Islandia, Groenlandia, y muy probablemente el norte de Terranova (América), mientras en el Mediterráneo tenía sequías agudas y en Suiza los glaciares se retiraban.

En cambio la Pequeña Edad del Hielo se estima que duró alrededor de 4 siglos, aproximadamente desde 1450 á 1850 según Pita (1997), y se considera que en el Hemisferio Norte fue un período más frío, con una severidad invernal más marcada. Sus consecuencias en Europa Central son bien conocidas: los ríos se helaron en la mayor parte de Europa, había ferias y mercados en el agua helada del Támesis (Londres), se dejaron de cultivar viñedos en el sur de Inglaterra y cereales en Islandia, avances generalizado de los glaciares en el Hemisferio Norte (Alpes, Pirineos, Sierra Nevada...).

Sin embargo -como ya se ha comentado- los cambios climáticos no tienen un impacto global homogéneo. Así en Andalucía, como se recoge en la Figura 4, es posible que el Óptimo Climático Medieval fuera un período más seco, y la Pequeña Edad del Hielo fue un período globalmente más húmedo (donde alternaban períodos secos y picos de precipitación). Así severidad invernal que caracteriza la Pequeña Edad del Hielo en latitudes más septentrionales, en el sur de la Península Ibérica se distinguía por un incremento de la precipitación (Rodrigo et al., 2000).

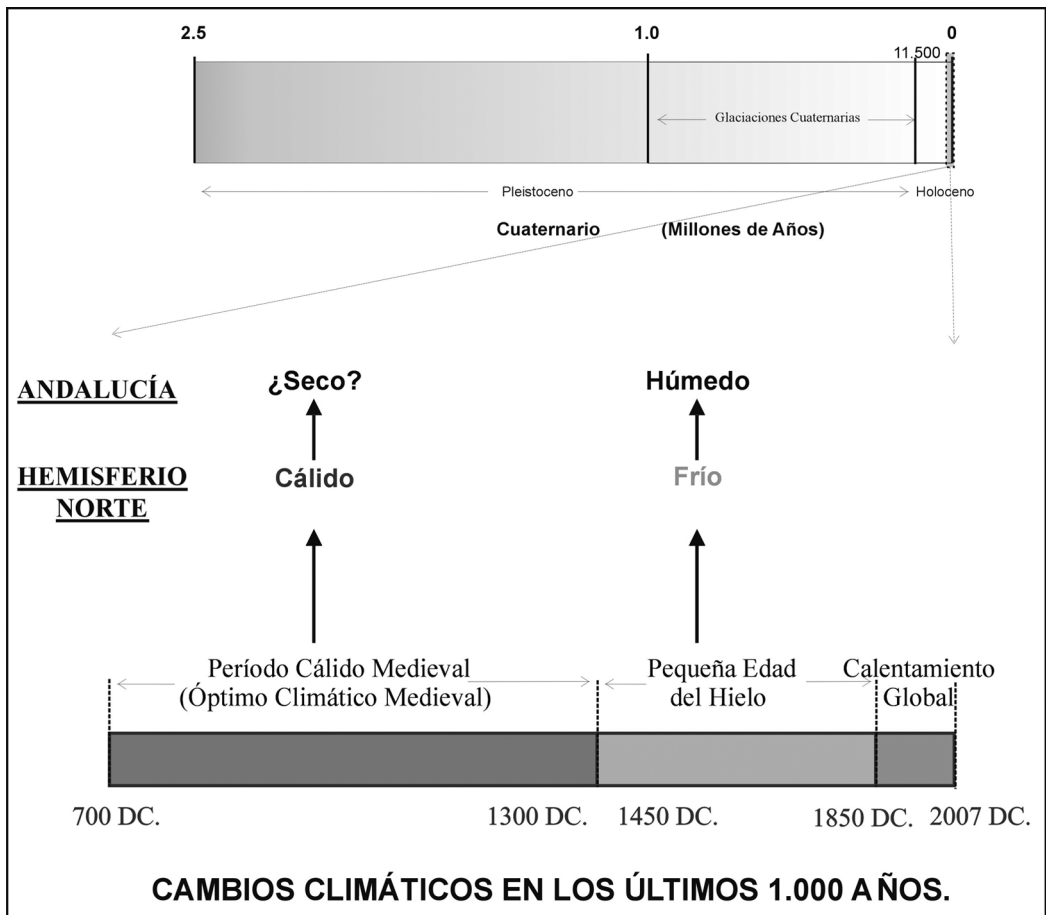


Figura 4. Tendencias y fases en el clima de la Tierra durante el Cuaternario, y más concretamente durante los últimos mil años, comparando sus efectos en el Hemisferio Norte y en Andalucía.

El análisis de la Figura 4 que esquematiza de forma comparada los principales cambios que se han dado en Andalucía en los últimos años revela que los cambios climáticos en la Península Ibérica parecen estar más relacionados con la precipitación que con la temperatura (Pfister et al., 1999). De hecho en Andalucía Occidental, el litoral oriental onubense sufrió un importante proceso de aridización desde el final de la Pequeña Edad del Hielo (Sousa & García-Murillo, 2003), que terminó desecando grandes lagunas temporales y turbosas fuera del Parque Nacional de Doñana (Sousa et al., 2006) y dentro de éste (Sousa & García Murillo, 2005).

Este período daría paso a la situación actual y más concretamente a lo que se denomina hoy día Calentamiento Global, que será analizado con profundidad en otros capítulos de esta monografía. Aunque como se aprecia en la Figura 4 es un

período mucho más corto que los otros dos períodos climáticos anteriores, al menos a día de hoy.

## **7. Factores que regulan el clima de la Tierra a lo largo de su historia**

A lo largo de los 4.500 millones de años de la Historia de la Tierra diversos factores han ido modelando el clima y su evolución geológica y biológica. Según la escala de tiempo que consideremos (millones de años, miles de años, cientos de años, décadas...), tendrá un mayor o menor impacto cada uno de ellos. Así lo que a una escala temporal muy detallada supone un gran cambio, a la escala geológica se pierde dentro de variabilidad natural del clima. Por eso es fundamental contextualizar los cambios recientes del clima -que podemos datar tan sólo en algo más de un siglo - en el marco general de episodios fríos, miniglaciaciones, episodios más cálidos, periodos glaciares, grandes extinciones...

Como síntesis final, se pueden enumerar algunos de los factores que han condicionado y dirigido la evolución del clima de la Tierra, desde una escala de tiempo geológica a la escala de la esperanza de vida media del hombre:

- Cambios astronómicos (excentricidad de la órbita de la Tierra, inclinación de su eje y precesión de los equinoccios) y cambios en la radiación solar (estrella joven o madura).
- Alteración del albedo (tectónica de placas y radiación estival).
- Impactos de bólidos extraterrestres.
- Emisiones volcánicas.
- Secuestro y liberación de gases invernadero por la vegetación.
- Ciclos de manchas solares.
- Gases invernaderos de origen antrópico.

Además de ello existen otros factores -todavía insuficientemente conocidos- que pueden estar interactuando en las tendencias climáticas actuales: efectos de los rayos cósmicos sobre los núcleos de coalescencia de las nubes, Oscurecimiento Global (Global Dimming), ciclos positivos de las manchas solares como se dieron en el Óptimo climático Medieval, finalización del actual periodo interglaciar e inicio de una próxima glaciación, entre otros muchos que son todavía hoy día una gran incógnita.

## **8. Agradecimientos**

La elaboración de este capítulo ha sido financiada por el Ministerio Español de Educación y Ciencia (Proyecto CGL2006-07194/BOS y parcialmente Proyecto CGL2009-10683).

## Bibliografía

1. FONT TULLOT, I. (1988), Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 297 p.
2. IPCC (2007). Summary for Policymakers. <http://www.ipcc.ch>
3. PITA, M. F. (1997), "Los cambios climáticos". En: Climatología. Cuadrat, J. M. & Pita, M. F. (Eds.), págs. 387-458. Editorial Cátedra, Madrid.
4. QUINTANA, J. M. (1987), Raíces griegas del léxico castellano científico y médico. Ed. Dykinson, Madrid. 1418 pp.
5. RODRIGO F. S. et al. (2000), "Rainfall variability in Southern Spain on decadal to centennial times scales". International Journal of Climatology 20, pp. 721-732.
6. SOUSA A. & P. GARCÍA MURILLO (2005). Historia ecológica y evolución de las lagunas peridunares del Parque Nacional de Doñana. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 170 pp.
7. SOUSA, A. et al. (2006), "Post-Little Ice Age warming and dessication of the continental wetlands of the Aeolian sheet in the Huelva region (SW Spain)", Limnetica 25, pp. 57-70.
8. STINE, S. (1994). "Extreme and persistent drought in California and Patagonia during mediaeval time". Nature 369, pp. 546-549.
9. URIARTE, A. (2003). Historia del clima de la Tierra). Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Bilbao. 306 p. <http://homepage.mac.com/uriarte/>

## Lecturas recomendadas

1. GROVE, J. M. (1988). The Little Ice Age. Routledge. London, New York, 498 p.
2. LAMB, H. H. (1982). Climate history and the Modern World. Methuen, London, 387 p.
3. LE ROY LADURIE, E. (1991). Historia del clima desde el año mil. Ed. Fondo de Cultura Económica. México. 1ª edición, 523 p.
4. PITA, M. F. (1997). "Los cambios climáticos". En: Climatología. Cuadrat, J. M. & Pita, M. F. (Eds.), págs. 387-458. Editorial Cátedra, Madrid.
5. URIARTE, A. (2003). Historia del Clima de la Tierra. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.