



# Cambios climáticos y efectos ambientales

Leoncio García Barrón (Coord.)

Pablo García Murillo

Vicente Jurado Doña

Julia Morales González

Javier Navarro Luna

Arturo Sousa Martín

**un**  
**i** Universidad  
Internacional  
de Andalucía  
**A**



# **Cambios climáticos y efectos ambientales**

**Leoncio García Barrón  
(Coord.)**

EDITA:  
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA  
Monasterio de Santa María de las Cuevas  
Calle Américo Vespucio, 2  
Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla  
[www.unia.es/publicaciones](http://www.unia.es/publicaciones)

COORDINACIÓN DE LA EDICIÓN:  
Universidad Internacional de Andalucía.

COORDINADOR:  
Leoncio García Barrón

COPYRIGHT DE LA PRESENTE EDICIÓN:  
Universidad Internacional de Andalucía

COPYRIGHT:  
Leoncio García Barrón (Coord) y los autores de cada capítulo

FECHA:  
Octubre de 2009

ISBN:  
978-84-7993-072-1 Versión papel

DISEÑO:  
Olga Serrano García

MAQUETACIÓN:  
Ricardo Barquín Molero



# Sumario

## **Prólogo**

8

## **1. El sistema climático.**

L. García-Barrón.

10

## **2. Evolución del clima de la Tierra. Historia del clima desde el año 1000.**

A. Sousa.

20

## **3. Variabilidad climática en series instrumentales andaluzas.**

L. García-Barrón.

33

## **4. Consecuencia de cambios climáticos sobre humedales y vegetación.**

A. Sousa.

42

## **5. Elementos vegetales del paisaje referentes de situaciones climáticas concretas.**

P. García Murillo.

56

## **6. Bosque mediterráneo y cambio climático.**

V. Jurado.

68

**7. Posibles efectos del cambio climático sobre la salud humana.**

J. Morales.

74

**8. Cambio climático y sostenibilidad.**

J. Navarro.

85

**Sobre los autores.**

95

# Prólogo.

Actualmente entre los temas científicos de mayor difusión social se incluyen los relacionados con el cambio climático y sus impactos. Consideramos que esta materia debe ser abordada en el ámbito universitario y analizada desde los distintos aspectos que concurren en la misma. En el tratamiento de los temas se ha prestado particular atención a las manifestaciones climáticas y consecuencias en Andalucía.

Hemos seleccionado tres áreas para exposición y análisis:

- La variabilidad temporal del clima y de la incidencia de la actividad antrópica en el cambio climático.
- Las posibles consecuencias ambientales del cambio climático.
- Las estrategias para la mitigación del cambio climático.

La contribución de profesores de distintos departamentos universitarios (Física Aplicada, Ecología, Geografía Física,...) y profesionales de la Consejería de Medio Ambiente, todos investigadores y expertos en los temas a desarrollar, confiere a esta publicación un carácter interdisciplinar. Aunque su reducida extensión obliga a una selección de temas hemos pretendido aportar una información científica actual con una perspectiva amplia. Manteniendo la unidad en el tratamiento de los contenidos, el enfoque multidisciplinar enriquece el tratamiento general del tema y permite lograr una visión de conjunto. Consideramos que su lectura reposada puede servir de base para que el lector interesado la amplíe para lo cual se le ofrece en cada capítulo una bibliografía recomendada.

Es un libro dirigido fundamentalmente a estudiantes y titulados relacionados con áreas de ciencias de la tierra (Biología, Geografía, Física, Química, Ingeniería Agrícola, etc.). Sin embargo, hemos procurado -sin perder rigor científico- evitar que una terminología excesivamente especializada fuera una barrera para otras personas interesadas en temas ambientales.

La intención de la publicación no se limita a la divulgación sino que pretende una labor formativa de educación ambiental. Para amortiguar los posibles efectos negativos del cambio climático se requiere disponibilidad para modificar determinados hábitos. Ello sólo puede lograrse como consecuencia de la reflexión en el marco de un comportamiento sostenible, acerca de las consecuencias de nuestras actividades. Es, por tanto, una responsabilidad que compete a las administraciones públicas pero también directamente a los ciudadanos.

Leoncio García Barrón  
Coordinador de la edición



# 1. El sistema climático.

Leoncio García Barrón.  
Dpto. de Física Aplicada.  
Universidad de Sevilla.

## 1. Introducción

Al tratar temas relacionados con el cambio climático se utilizan términos y se hace referencia a fenómenos cuyo significado es preciso conocer previamente. Pretendemos exponer los componentes que constituyen el sistema climático y algunos de sus mecanismos, de modo que se facilite la comprensión de aspectos que se desarrollaran en los temas siguientes. La importancia de determinados conceptos hace que aparezcan de modo recurrente aunque tratados desde aspectos complementarios.

Existe consenso entre los climatólogos acerca de que, con independencia de la variabilidad natural del clima, se está produciendo actualmente un proceso de calentamiento atmosférico debido a la actividad humana (industria, transporte, agricultura intensiva, deforestación, contaminación,...). Sin embargo, dada la complejidad del sistema climático, de sus interacciones y del distinto tiempo de respuesta ante modificaciones introducidas, aún no se conoce suficientemente la intensidad del previsible incremento térmico global y de los fenómenos asociados, ni de sus posibles efectos ambientales. Además, resoluciones administrativas y comportamientos sociales pueden generar diversos escenarios futuros, en función de los cuales se puede generar una amplia horquilla de estados en la evolución climática. Corresponde, pues, a las administraciones públicas, y a la sociedad en general, adoptar decisiones de las cuales se derive una *mitigación* de la magnitud del cambio, interviniendo directamente contra las causas que lo favorecen, y por otra parte se tomen medidas paliativas y de *adaptación* que aminoren las consecuencias negativas. Entre estas decisiones, dada la incidencia de emisiones de gases de efecto invernadero, adquiere particular relevancia la optimización en la producción y aprovechamiento sostenible de los recursos energéticos.

## 2. El clima

Definimos el clima como el conjunto de estados atmosféricos que caracterizan estadísticamente a una zona geográfica a lo largo del tiempo. Las situaciones meteorológicas de un lugar son cambiantes, pero presentan componentes de periodicidad diaria y periodicidad estacional a las que se superponen perturbaciones no sincronizadas. De esta forma se generan fluctuaciones interanuales inmersas, a su vez, en ciclos amplios. El clima determina condiciones ambientales (paisaje, vegetación, producción agroforestal, salud, ...) y condiciones sociales (hábitat, economía, transporte, turismo, ocio, ...). La cuestión que se plantea ante la posibilidad del cambio climático es saber si esas fluctuaciones responden a una regularidad establecida en distintas escalas temporales por el propio sistema, o si por el contrario inciden factores externos de carácter antrópico que perturban el comportamiento del clima.

La Tierra es un sistema termodinámico en equilibrio regido por la energía solar. El sistema climático en su conjunto distribuye la energía por el globo de forma que el clima actual responde a un balance energético entre la energía solar incidente -con su distribución geográfica y transporte global- y la energía emitida al exterior.

El sistema climático se compone de cinco componentes o subsistemas:

- Atmósfera, constituida por la capa de aire que cubre al planeta.
- Hidrosfera, formada por el manto líquido de ríos, lagos, mares y océanos.
- Criosfera, formada por los hielos polares y de montaña.
- Litosfera, capa terrestre de suelo continental y oceánico.
- Biosfera constituida por los ecosistemas y organismos vivos.

Estos componentes presentan características propias, que posteriormente se detallarán, dando lugar a interacciones mutuas.

### 3. El sol fuente de energía

El sol, como el resto de estrellas, puede considerarse un reactor nuclear. Su superficie se encuentra aproximadamente a 6000 K y radia como un cuerpo negro a tal temperatura. La energía emitida por un cuerpo es función de su temperatura superficial:  $E = f(T^4)$ . El sol emite radiación electromagnética de espectro continuo desde 100 nm, ultravioleta, hasta 2400 nm de longitud de onda, infrarrojo, con el máximo en el intervalo visible, de 400 a 780 nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ). Esta radiación se emite en todas las direcciones del espacio. Para determinar la energía incidente sobre la superficie terrestre debemos establecer en primer lugar factores solares. Si consideramos al Sol un foco emisor aproximadamente puntual la energía incidente sobre un elemento de superficie terrestre depende de la geometría planetaria: disminuye con el cuadrado de la distancia y con el coseno del ángulo de incidencia (siendo máxima en la orientación perpendicular).

Se denomina *constante solar* al flujo energético del conjunto espectral procedente del Sol sobre un receptor de superficie unidad perpendicularmente situado en el exterior de atmósfera terrestre. Actualmente su valor medio es  $1354\text{ W/m}^2$ , oscilante para los puntos extremos de la elipse orbital entre  $1308\text{ W/m}^2$  en el afelio y  $1395\text{ W/m}^2$  en el perihelio. Debemos considerar que la radiación total recibida en la superficie terrestre es la suma de la radiación directa, la difusa de la atmósfera y la reflejada por el entorno. Se denomina *albedo* de una superficie la fracción de radiación reflejada respecto de la incidente. El albedo depende de las características físicas y químicas (estado de agregación, color, etc.) de tal superficie; la radiación reflejada conserva la longitud de onda de la incidente.

A pesar de la denominación de constante solar la actividad del Sol es variable.

Un método indirecto de determinar la actividad, es por medio del número de manchas solares que aparecen en su superficie. Estas son debidas a movimientos convectivos del magma. Se ha comprobado una alta correlación positiva entre el número de manchas y la insolación terrestre. En los dos siglos precedentes el número de manchas presenta una periodicidad aproximada de 11 años; en 2006 han alcanzado el mínimo de un ciclo. Sin embargo, los registros astronómicos muestran la ausencia de manchas solares entre 1645 y 1715 (mínimo de Maunder), que coincide con la fase crítica de la “pequeña edad del hielo” en Europa, caracterizada por las bajas temperaturas. En el siglo XX se observa una tendencia ascendente en los valores de los máximos periódicos de las manchas observadas. Por las consecuencias climáticas, además de los factores solares indicados también deben establecerse en la insolación local, factores debidos a la nubosidad y transparencia atmosférica, y factores debidos al entorno como el albedo próximo y el ocultamiento topográfico.

La principal incidencia en la variabilidad del clima es debida a los movimientos planetarios. El movimiento de rotación genera periodicidad diaria que en la temperatura se observan secuencias cíclicas de máximas diurnas y mínimas nocturnas. El movimiento de traslación da lugar a periodicidad anual marcada por las estaciones. Actualmente el plano orbital y el plano ecuatorial terrestre forman un ángulo de  $23^{\circ} 27'$ , *declinación orbital*, de tal forma que en el hemisferio norte el Sol incide perpendicularmente sobre el trópico durante el solsticio de verano: 21 de junio (con la Tierra en el afelio, posición más alejada del foco solar). La sucesión estacional en la incidencia de la energía solar sobre la atmósfera de la Tierra y la desigual distribución hemisférica de los océanos da lugar a la variabilidad temporal y espacial del clima.

Se denomina *forzamiento radiativo* a la perturbación del balance de la radiación global sobre la Tierra. Es un indicador de la capacidad potencial de un factor determinado para alterar el clima. El forzamiento puede tener carácter natural y, por tanto, se considera inherente al sistema climático, o ser de origen antropogénico generado por actividades del hombre. Si bien desde la expansión de la agricultura (Siglo VI a.C.) la humanidad ha interferido los procesos naturales, es desde hace 150 años con la era industrial cuando los efectos sobre el clima alcanzan relevancia.

Se denomina *sensibilidad climática* al incremento de la temperatura global a causa de forzamiento radiativo. El IPCC asocia, en particular, la sensibilidad al incremento de la temperatura global al duplicar la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.

Entre los forzamientos naturales deben destacarse, además de las variaciones de la actividad solar y de las emisiones volcánicas (no sometidas a periodicidad),

los cambios orbitales cíclicos. Milankovich, astrónomo yugoslavo, estableció a principios del siglo XX la relación entre los cambios de la geometría planetaria y la evolución del clima en épocas geológicas. Estos cambios, provocados por la acción gravitatoria de los otros planetas, son la variación de la inclinación del eje terrestre, de 21,8° a 24,4° con periodicidad de 41.000 años, la variación en la excentricidad de la órbita terrestre con periodicidad de 110.000 años y el movimiento de precesión con periodo de 26.000 años.

## 4. Componentes del sistema climático

Exponemos brevemente las características, interacciones e incidencia de cada uno de los subsistemas en la conformación del clima.

### 4.1. Atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve externamente el globo terráqueo. Se puede considerar que se extiende, con densidad decreciente, hasta los 110 Km. sobre la superficie. Los fenómenos meteorológicos se producen en la troposfera, a niveles inferiores de 12 Km. Hasta esta altura la temperatura desciende linealmente para alcanzar  $-55^{\circ}\text{C}$  aproximadamente. Por encima, está la estratosfera, que contiene la capa de ozono, cuya la temperatura se incrementa progresivamente hasta los 50 Km., en que se estabiliza –estratopausa- e invierte el sentido.

El aire es una mezcla de gases (78 % de  $\text{N}_2$ , 21% de  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , Ne,  $\text{O}_3$ , He,  $\text{CH}_4$ , etc), que actúa como aislante térmico selectivo frente a las radiaciones. Sin atmósfera la temperatura global media sería  $32^{\circ}\text{C}$  inferior a la actual. La proporción de la mezcla de gases ha sufrido grandes variaciones durante las épocas geológicas. El análisis y datación de las burbujas de aire conservadas en capas profundas de hielo de Groelandia y la Antártida ha permitido obtener información de la variabilidad temporal del clima. A su vez, los botánicos han asociado el paleoclima con el desarrollo y distribución de las especies vegetales.

La atmósfera se comporta como un fluido dinámico, distribuidora global de energía y agente del transporte de masa. Para los científicos es importante conocer estos mecanismos que conforman el clima y sus particularidades regionales. El modelo más simple permite suponer que la incidencia de la radiación solar sobre la zona ecuatorial provoca el calentamiento y consiguiente ascensión por convección de las masas de aire, que se desplazan en altura hacia las regiones polares. Allí, al enfriarse, descienden y se desplazan superficialmente hacia el ecuador. Sin embargo, la declinación orbital y la rotación terrestre hacen más complejo el anterior modelo, de forma que el aire cálido y húmedo de las bajas presiones ecuatoriales asciende y se desplaza horizontalmente en altura hasta las zonas subtropicales ( $30^{\circ}$

de latitud aprox.), donde se produce la subsidencia (descenso convectivo) sobre el anticiclón de superficie. Parte de las masas de aire se desplazan superficialmente hacia el ecuador curvando la trayectoria hacia el oeste (vientos alisios) y al cerrar el bucle da lugar a la denominada *célula de Hadley*. Otra parte de las masas de aire subtropical se desplazan superficialmente hacia latitudes medias (60° de latitud) dando lugar a áreas de borrascas y generando, por un mecanismo similar al citado, la *célula de Ferrel*. La *célula polar*, fría, en latitudes altas completa la transferencia atmosférica global. La interacción de frentes de aire cálido con otros de aire más frío en las zonas de borrascas generan las precipitaciones.

En un sistema físico en reposo, un fluido se desplaza en línea recta desde las áreas de alta presión (anticiclón) hasta las de baja presión (borrascas). Sin embargo, al ser la Tierra un sistema en rotación la trayectoria horizontal de las masas de aire se curva (efecto Coriolis). A su vez, las fuerzas de presión actúan perpendicularmente a la trayectoria de forma que las isobaras resultantes tienen a cerrarse. El *viento geostrófico* impulsa el movimiento del aire según las isobaras, en sentido horario para los anticiclones y antihorario para las borrascas, en el hemisferio Norte. Además, el viento real sufre la fricción superficial y adaptación a las condiciones del relieve.

#### 4.2. Hidrosfera

Los océanos almacenan mayor energía térmica que la atmósfera. Su capacidad calorífica es 2,4 superior y 1000 la densidad. Por su inercia térmica actúa como termorregulador del sistema climático.

En la estructura vertical de los océanos podemos distinguir una capa superficial (hasta 100 m de profundidad en la zona tropical y superior en la polar) que interacciona con la atmósfera por medio del oleaje, favoreciendo la disolución de CO<sub>2</sub>. Su temperatura es variable de 10 a 25 °C aproximadamente en latitudes medias. A profundidades mayores de 400 m la temperatura se estabiliza entre 1 y 5 °C.

Las aguas superficiales impulsadas por los vientos dominantes, y bajo el efecto de la rotación terrestre, dan lugar a corrientes oceánicas. En el océano Atlántico, la corriente del Golfo transporta superficialmente agua cálida desde el Caribe hacia el nordeste; al llegar a los mares nórdicos aumenta su densidad por enfriamiento/salinidad y se hunde. Un flujo frío y profundo retorna hacia el hemisferio sur, donde nuevamente aflora. Este ciclo, denominado *corriente termohalina*, con los vientos dominantes del suroeste, genera el clima suave y húmedo de Europa Occidental. Junto con el transporte de masa corrientes marinas son distribuidoras latitudinales de energía del planeta.

La interacción de los componentes del sistema climático tiene como factor más relevante el *ciclo hídrico*. De forma resumida: el agua de la superficie del océano se evapora e incrementa su energía. El aire cálido y húmedo al ascender se enfría y se condensa formando nubes. A su vez las diferencias de presión arrastran a las nubes hasta que el agua precipita (como lluvia o como nieve). Parte de ella se acumula en la criosfera, otra parte se filtra quedando retenida como agua subterránea hasta que aflora en manantiales, o por escorrentía forma arroyos y ríos que desembocan nuevamente al océano. Los periodos en los que se producen estos diferentes procesos pueden ser muy variables, por lo que introduce incertidumbre sobre la respuesta del sistema climático a los forzamientos externos.

### 4.3. Criosfera

La criosfera está formada por la cubierta de hielo continental y los hielos flotantes. Entre los hielos continentales destacan los de la Antártida que constituyen el 85 % de la superficie helada, costas e islas heladas y nieves de alta montaña, y entre los hielos flotantes, principalmente el casquete ártico y los icebergs. Se caracteriza por la gran capacidad de reflexión luminosa con albedo entre 0,5 y 0,9. Las masas de agua de la criosfera están cautivas durante largos periodos (años, siglos o milenios) por lo que no participan en la dinámica del ciclo hídrico, elemento determinante del clima y su evolución.

No está suficientemente analizado el efecto que un calentamiento global pueda tener sobre la criosfera en su conjunto. Se observa un retroceso en los glaciares, sin embargo el calentamiento atmosférico, al incrementar la evaporación marina, podría generar mayores precipitaciones y acumulación de nieve sobre las zonas polares. Conviene aclarar que el posible efecto de elevación del nivel del mar y consiguiente impacto de invasión costera por el incremento de la temperatura, no es debido a la fusión de hielos flotantes o costeros, sino fundamentalmente a la dilatación térmica provocada sobre volumen líquido de la capa superior oceánica.

### 4.4. Biosfera

La biosfera es la parte del sistema climático que comprende los ecosistemas y organismos vivos, incluida la materia orgánica derivada de ellos. Interaccionan con la atmósfera, el suelo (biosfera terrestre) o los océanos (biosfera marina).

El impacto del clima sobre los seres vivos y ecosistemas es de tal magnitud que en definitiva dirige la distribución y desarrollo de las especies. La interacción con la atmósfera, litosfera e hidrosfera (principalmente a través del ciclo hídrico) es determinante para el mantenimiento de la vida. Los vegetales por medio de la evapotranspiración retornan a la atmósfera parte del agua acumulada en el suelo, proveniente de la lluvia y previamente evaporada en los océanos.

Entre los constituyentes de la biosfera destaca, por su extensión, la cubierta vegetal cuya capacidad reflectante varía del orden de 0,15 en zonas boscosas a 0,3 en zonas áridas.

Desde la perspectiva de la evolución del clima hay que destacar el comportamiento de los bosques como sumideros de CO<sub>2</sub> atmosférico, para la generación de biomasa, así como el efecto negativo de emisión de metano por prácticas agrícolas (cultivos de arroz, etc.) y ganaderas. También el plancton marino sustrae parte de CO<sub>2</sub> disuelto en el agua para incorporarlo a su estructura como carbonato, con lo que amortigua el efecto invernadero.

Consecuencia de la biosfera se puede considerar también la actividad antropogénica con la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero a la atmósfera y la alteración de usos del suelo.

#### 4.5. Litosfera

La litosfera está formada por corteza terrestre continental (suelo) y oceánica. La distribución de las cuencas oceánicas y de las cadenas montañosas continentales, afectan a las transferencias energéticas del sistema climático.

Por sus efectos en la conformación del clima debemos destacar a escala geológica los movimientos continentales. Incluso actualmente el vulcanismo incide en la evolución climática por la emisión de gases y partículas en suspensión que participan en el efecto invernadero. Además, la modificación de los usos del suelo por deforestación para dedicarlo a agricultura intensiva genera pérdida de cubierta vegetal con la consiguiente erosión y por, excesos de abonos, la contaminación de acuíferos y emisión de gases nitrogenados a la atmósfera. Todo ello puede conducir a la progresiva desertización, en que el suelo privado de regulador térmico y de humedad, sufre grandes oscilaciones de temperatura e incrementa el albedo y la radiación térmica infrarroja contribuyendo al calentamiento atmosférico.

### 5. Efecto invernadero y calentamiento global

De la energía solar incidente en la alta atmósfera, la capa de ozono estratosférico absorbe radiación ultravioleta (la de mayor frecuencia ondulatoria y energía del conjunto espectral) y la troposfera, transparente en gran medida a la luz visible, absorbe en el infrarrojo. Casi la mitad de la energía incidente alcanza la superficie terrestre, una parte de la cual, a su vez, es reflejada por el albedo. Casi un tercio de la energía total incidente es directamente reflejada por el conjunto de los subsistemas (atmósfera, suelo, hielo, c). La energía absorbida por la superficie la caliente, lo que - junto a agentes geológicos - provoca la radiación térmica, en

el infrarrojo, hacia el exterior. Sin embargo, las nubes y otros gases absorbentes capturan y remiten al suelo y océanos parte de esta radiación infrarroja. Así, se alcanza el equilibrio termodinámico entre la energía solar incidente sobre la Tierra y la energía emitida al espacio. Si por causas endógenas (actividad solar, geometría planetaria, etc.) o exógenas (actividad humana) se altera el balance energético, el sistema evoluciona hacia otro nuevo estado de equilibrio modificando la temperatura terrestre.

Entre las causas entrópicas que alteran el balance energético se encuentran las que provocan modificación de la reflexividad y, fundamentalmente, las que incrementan el efecto invernadero al impedir la emisión infrarroja terrestre hacia el espacio, comportándose como un aislante térmico selectivo y produciendo, en consecuencia, el calentamiento de la troposfera.

Junto al vapor de agua, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son  $\text{CO}_2$ , metano, óxidos nitrosos, y gases fluorocarbonados. La emisión de gases fluorocarbonados (HFC, PFC) se ha reducido desde 1995 por la prohibición de su utilización industrial, aunque los ya emitidos se mantendrán por décadas en la atmósfera. Estos gases HFC, en la estratosfera catalizan la destrucción de ozono favoreciendo indirectamente la penetración de la radiación ultravioleta hasta la superficie terrestre. El ozono  $\text{O}_3$  estratosférico se origina por la acción de la radiación ultravioleta sobre moléculas de oxígeno  $\text{O}_2$ . Por ser el ozono inestable, la radiación ultravioleta de alta frecuencia lo transforma nuevamente en  $\text{O}_2$ . Se establece un equilibrio dinámico en que la formación-destrucción de ozono absorbe energía incidente.

El metano  $\text{CH}_4$  se produce principalmente en zonas pantanosas (cultivos de arroz) y por descomposición de materia orgánica (basureros incontrolados); posee gran efecto de calentamiento atmosférico pues absorbe en una amplia banda del espectro, pero en presencia de oxígeno su vida media es corta (10 a 15 años). La concentración de metano se ha duplicado de 0,85 a 1,70 ppm. en los últimos 150 años.

El  $\text{CO}_2$  es muy estable, con vida media atmosférica del orden de siglos. Las tres cuartas partes del efecto invernadero son debidas al dióxido de carbono. Su concentración se ha incrementado desde unas 275 ppm, antes de la era industrial, hasta 360 ppm. Los principales sumideros de  $\text{CO}_2$  son los bosques y la capa superior oceánica. La fuente de emisión son los combustibles fósiles, derivados del petróleo, empleados principalmente en transporte, industria, calefacciones, centrales térmicas, etc. Las partículas en suspensión también contribuyen al efecto invernadero. Las reflectantes ejercen acción positiva, mientras las partículas oscuras (hollín), procedentes principalmente de la combustión, absorben energía y favorecen al calentamiento global.

## Lecturas recomendadas

1. BALAIRÓN L. (2002). El cambio climático: fundamentos físicos. Instituto Nacional de Meteorología y del Colegio Oficial de Físicos.
2. CUADRAT JM, PITAM<sup>a</sup> F (1997). Climatología. Madrid. Cátedra.
3. GARCÍA-BARRÓN L., SOUSA A. Clima y sostenibilidad. (2007). Colegio Oficial de Doctores y Licenciados de Sevilla.
4. MARTÍN VIDE J.(1999) Fundamentos de climatología analítica. Editorial Síntesis. Madrid.
5. VÁZQUEZ, RAMÓN (2002). La física en la atmósfera. Curso del Instituto Nacional de Meteorología y del Colegio Oficial de Físicos gFormación del profesorado en el área de Meteorología h.
6. <http://www.ipcc.ch/> (Versión en español de los informes del IPCC).

un  
i  
A

## 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).

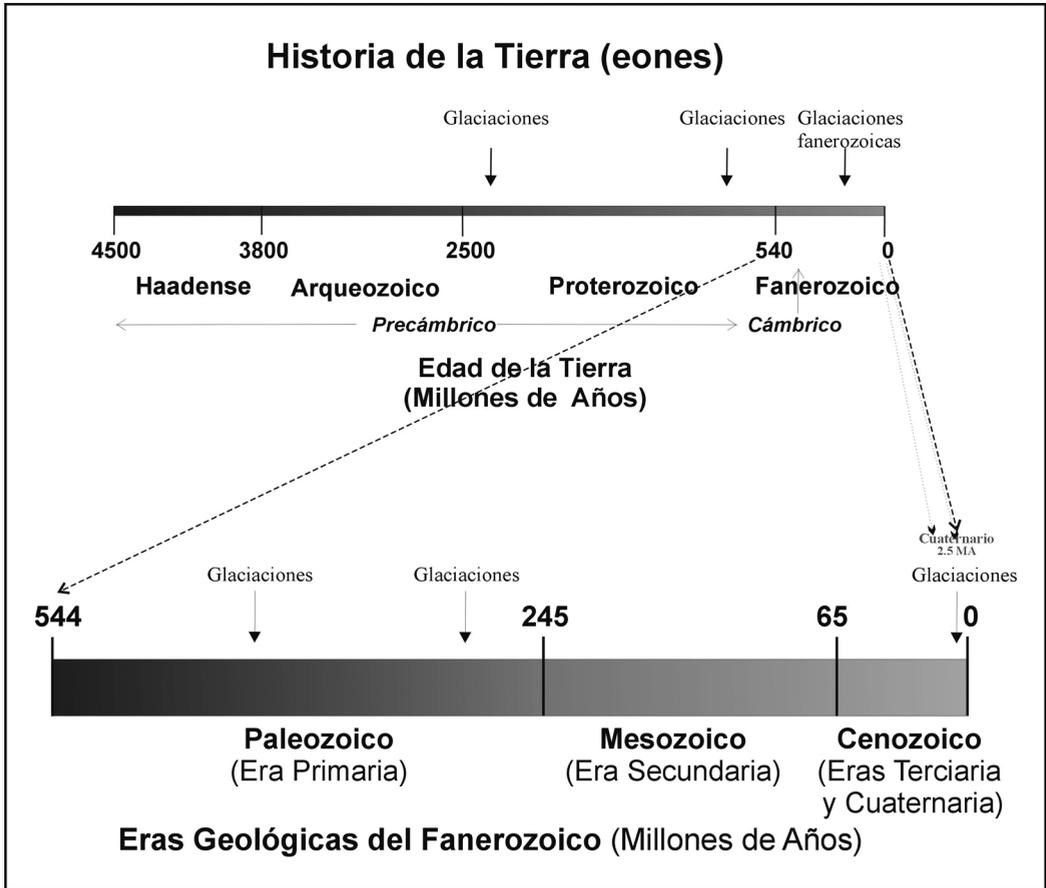


Figura 1. Períodos de la Historia de la Tierra en Millones de Años (Ma, Millones de años).

### 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.

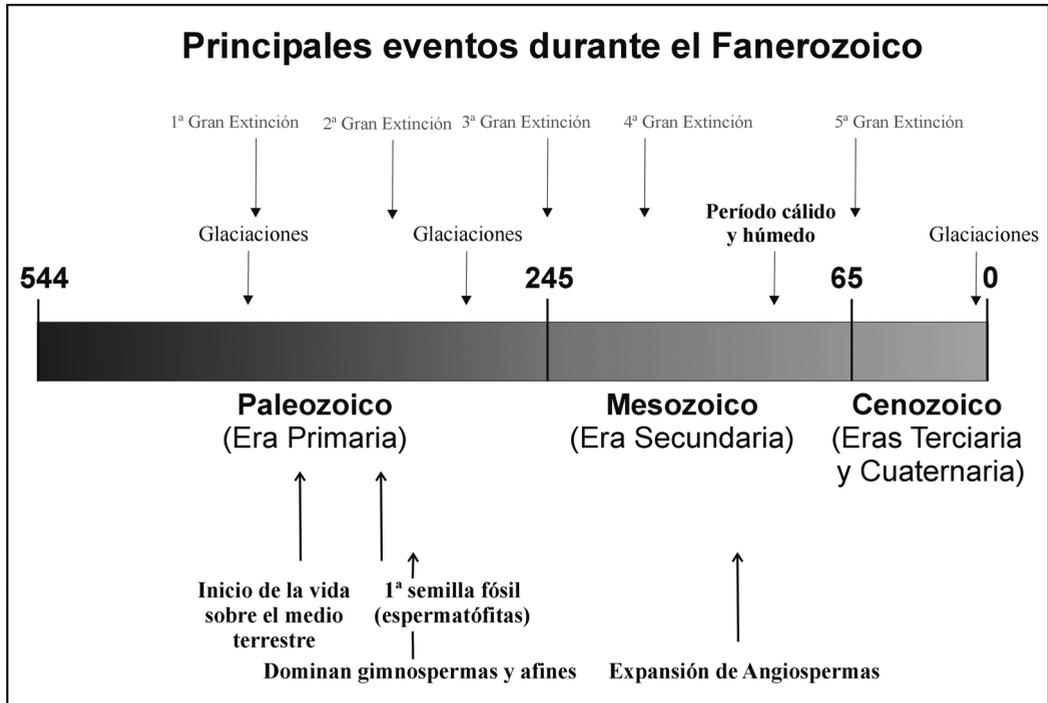


Figura 2. Distribución de las glaciaciones fanerozoicas, así como las 5 últimas grandes extinciones de vida en la Tierra.

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.

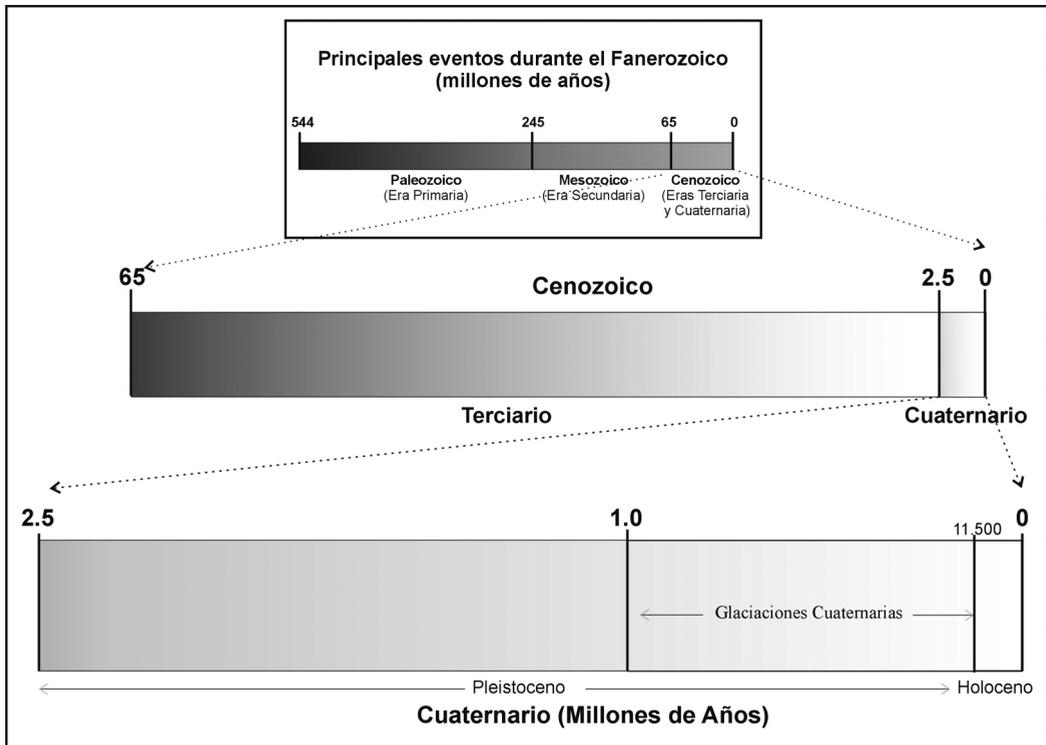


Figura 3. Aparición de las glaciaciones Cuaternarias durante el Pleistoceno.

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).

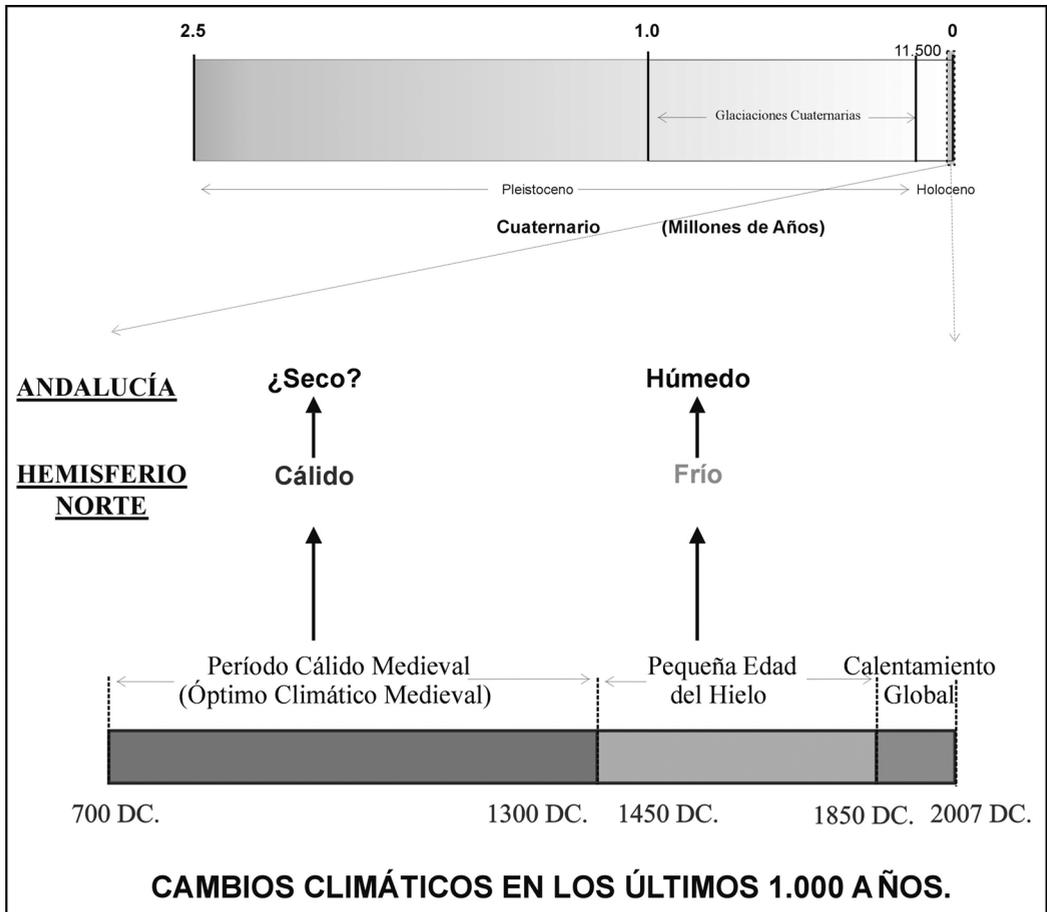


Figura 4. Tendencias y fases en el clima de la Tierra durante el Cuaternario, y más concretamente durante los últimos mil años, comparando sus efectos en el Hemisferio Norte y en Andalucía.

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.



# **3. Manifestaciones de la variabilidad climática en observatorios de Andalucía Occidental.**

Leoncio García Barrón.  
Dpto. Física Aplicada II.  
Universidad de Sevilla.

## 1. Introducción

El análisis de la evolución de las series termopluviométricas permite conocer el comportamiento del clima en una región. Dicho análisis es básico para interpretar el sistema natural y fundamenta otros estudios de carácter científicos y técnicos (sociales, ambientales, etc.). Las conclusiones de paleoclimatología y climatología histórica muestran la inestabilidad del clima a lo largo del tiempo, las posibles causas de ello y sus efectos. Característica del sistema climático es su variabilidad temporal. Un aspecto relevante de la evolución del clima es detectar posibles cambios, estadísticamente significativos, de los cuales pudieran inferirse consecuencias a medio o largo plazo. La comunidad científica está de acuerdo que en el presente, con independencia del proceso natural, existen además causas coadyuvantes de origen antropogénico, que provocan un incremento térmico global. Sin embargo, dada la complejidad física del sistema climático y sus interacciones, se plantean incertidumbres acerca de la intensidad regional de los previsible cambios en el clima futuro.

Ya el primer informe del Programa Intergubernamental sobre el Cambio Climático -IPCC- (1990) indica que *“en las series temporales podemos examinar la variabilidad natural del clima y buscar indicios de posibles cambios”*. Estimamos que para establecer modelos predictivos acerca del comportamiento futuro del clima, bajo distintos escenarios, se debe contemplar la evolución de los registros meteorológicos que poseemos en la actualidad.

La finalidad del capítulo es exponer resumidamente la evolución de series de precipitación y temperaturas para establecer algunas características generales del clima en la región sur-occidental de la Península Ibérica. Se pretende poner de manifiesto la permanencia o modificación de estas características climáticas en la región estudiada, y, a partir de las mismas, elaborar estimaciones predictivas.

## 2. Datos utilizados: fuentes y tratamiento

La fuente de investigación de las series climáticas son los registros de las variables térmicas y pluviométricas realizados a lo largo de los años en los observatorios meteorológicos, y sometidas, en su caso, a un proceso de relleno y homogenización.

- Serie pluviométrica.

Para el análisis pluviométrico hemos elegido los observatorios del suroeste español en los que las series de datos de precipitación son superiores al siglo. Los registros

corresponden al Observatorio de Marina de San Fernando (36° 27' N, 5° 45' W) en Cádiz, Riotinto (37° 42' N 6° 36' W) en la provincia de Huelva, Sevilla (37° 22' N, 6° 00' W), Córdoba (37° 53' N, 4° 47' W) y Badajoz (38° 53' N, 6° 58' W). Por superposición de las estaciones analizadas, distribuidas en los distintos ámbitos geográficos, generamos la serie que denominamos “Suroeste” representativa del conjunto regional.

Por el modo de construcción, al no coincidir los extremos relativos en la totalidad de los observatorios simultáneamente y con igual intensidad, la serie generada “Suroeste” presenta una suavización que amortigua la irregularidad. Esta irregularidad se manifiesta en la falta de constancia temporal en el comportamiento interanual de la precipitación, por lo que los parámetros de centralización de las respectivas series no suministran suficiente información. Por ello tiene que completarse con los parámetros relacionados con la dispersión para obtener una interpretación más adecuada. La irregularidad pluviométrica es un fenómeno característico que afecta a las áreas de clima mediterráneo, incluida la mayoría de la Península Ibérica. Genera impactos ambientales y sociales por lo que su conocimiento es de interés interdisciplinar para disminuir el factor de riesgo en la toma de decisiones en la previsión de sequías.

Para determinar la variabilidad de serie anual de precipitación empleamos el coeficiente de variación definido como el cociente entre la desviación típica y el promedio para un periodo determinado. Con la intención de detectar su evolución temporal hemos elegido como referencia el periodo de once años, al cual hemos traslado progresivamente a lo largo del tiempo hasta generar una nueva serie.

#### - Series térmicas

El estudio se centra en las series de temperaturas diarias -máximas y mínimas- del observatorio Sevilla-Aeropuerto (5783) durante el periodo 1951 a 2001. Si bien el estudio directo se centra en los datos de Sevilla-Aeropuerto, es posible la generalización de las conclusiones al ámbito climático de Andalucía Occidental ya que se ha comprobado que los observatorios regionales [Córdoba (5402), Huelva (4246E)] presentan una evolución temporal similar.

La metodología que empleamos se basa en las 365 series de fechas (prescindimos del 29 de febrero), formada cada una de ellas por los respectivos 50 elementos de los sucesivos años objetos de estudio, desde 1951 a 2001. A cada fecha le corresponden a su vez dos series temporales: de temperaturas máximas diarias y de temperaturas mínimas diarias. Para cada 2x365 series de fechas hemos calculado la tendencia lineal durante el periodo analizado, lo que nos permite detectar la evolución térmica interanual.

### 3. Análisis de resultados

#### - Serie pluviométrica

La descripción de la serie Suroeste durante el periodo 1884-2005 se caracteriza por el promedio de precipitación anual de 598 l/m<sup>2</sup>, desviación típica: 168, y coeficiente de variación 0,28. Estos valores se incluyen sólo como indicativos del conjunto sin considerar el orden cronológico.

El primer método para aproximarnos a la evolución de una serie temporal es conocer su tendencia, calculada por la pendiente de la recta de regresión por mínimos cuadrados de las desviaciones observadas. La figura 1 representa la evolución de la serie anual de precipitaciones del Suroeste y superpuesta ella se incluye de pendiente lineal. La recta obtenida es aproximadamente horizontal indicadora de relativa estabilidad en promedio de la serie a lo largo del tiempo. Dada la irregularidad de la serie anual en su conjunto, la varianza explicada ( $R^2$ ) por la recta de tendencia no es climáticamente significativa, e incluso la elección del inicio y fin de la serie puede cambiar el signo de la pendiente.

Destaca, sin embargo, la tendencia descendente de los observatorios regionales durante la primavera y principalmente durante el mes de marzo. Su significación estadística y generalización implica la aceptación como fenómeno pluviométrico. La disminución media es del orden de un tercio del total primaveral (60 l/m<sup>2</sup>) a lo largo del pasado siglo, que si se mantiene en el futuro puede conllevar efectos ambientales.

El promedio anual, como parámetro de centralización, suministra información parcial del comportamiento temporal. Por ello, tiene que complementarse con los parámetros relacionados con la dispersión para obtener una interpretación más relevante. Podemos observar en la serie anual que durante el primer tercio del siglo XX las desviaciones respecto de la media, por exceso o por defecto, son relativamente pequeñas lo que indica años ligeramente secos o ligeramente húmedos. A partir de década de los cuarenta se producen aisladamente años muy secos y muy lluviosos.

### Precipitación interanual (l/m<sup>2</sup>)

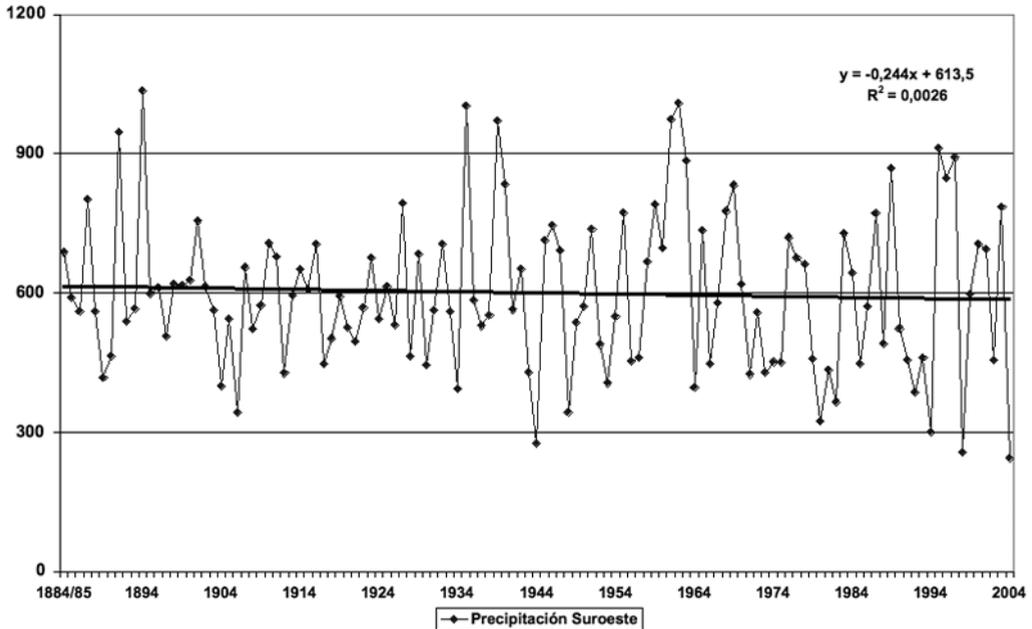


Figura 1. Evolución de la precipitación en el suroeste de la Península Ibérica.

En la figura 2, se muestra la evolución interanual del coeficiente de variación  $CV_{11}$  computado por intervalos móviles de 11 años. A partir de la amplia variabilidad a final de siglo XIX, destaca una época en que esta ha sido marcadamente menor durante el primer tercio de siglo ( $CV_{11}$  del orden de 0,2, valor similar a los del área cantábrica). Posteriormente se produce un incremento pronunciado hacia mitad del siglo ( $CV_{11}$  superior a 0,3, típico del área mediterránea). Tras suavizarse, ocurre un nuevo aumento a partir de mediados de la década de los setenta, que se mantiene actualmente, hasta alcanzar  $CV_{11}$  valores superiores a 0,4. Si la tendencia observada durante las últimas décadas hacia valores extremos de variabilidad se mantiene en el futuro, implicará una mayor frecuencia de años muy secos y años muy lluviosos, y en ocasiones en años consecutivos.

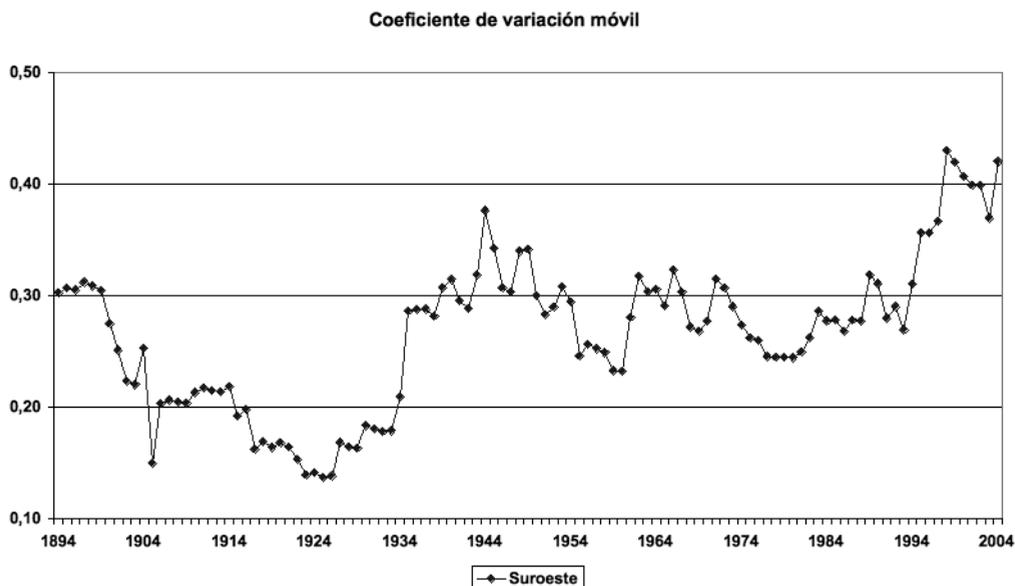


Figura 2. Evolución interanual del coeficiente de variación, computado por intervalos móviles de 11 años, en el suroeste de la Península Ibérica.

#### - Series térmicas

Para las temperaturas mínimas, 324 series de fecha poseen pendiente ascendente (89 %) y únicamente 41 (11 %) son descendentes. El promedio del coeficiente lineal para el conjunto de las series resulta  $0,037\text{ }^{\circ}\text{C/año}$  en la segunda mitad del siglo XX. Observamos en la figura 3 que la distribución del coeficiente lineal es suficientemente uniforme a lo largo del año, aunque con mayor concentración de valores superiores a  $0,05\text{ }^{\circ}\text{C/año}$  en las fechas a final de primavera y verano. Interpretamos que el calentamiento es generalizado durante todas las fechas del año, pero ligeramente más pronunciado en esa época.

El análisis de las series de fechas de las temperaturas máximas presenta características distintas: 247 series de temperaturas máximas poseen carácter ascendente (68 %) y 118 (32 %) son descendentes. En este caso, el promedio del coeficiente lineal para el conjunto de las series resulta  $0,018\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ . La distribución del coeficiente a lo largo del año es irregular, tal que el incremento térmico no mantiene el signo durante todo el año. Tienden a aumentar con mayor intensidad (en torno a  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ ) las temperaturas diurnas de las fechas de final de invierno y principio de primavera, lo que sugiere un adelanto de las condiciones térmicas que favorecen la actividad vegetativa de las plantas.

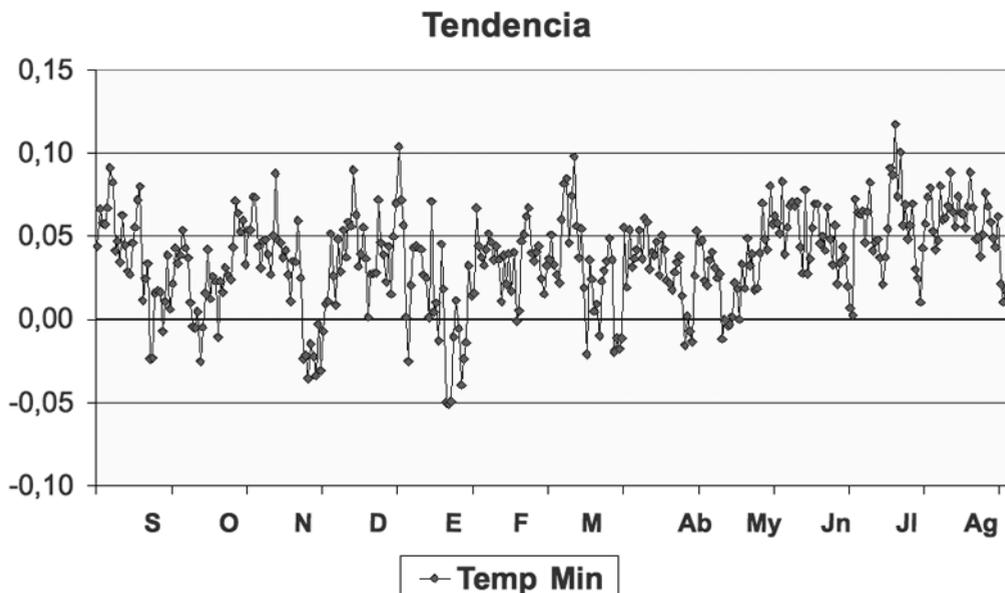


Figura 3. Coeficientes ( $^{\circ}$  C/ año) de la tendencia lineal de las temperaturas mínimas para cada una de las series de fecha en Sevilla-Aeropuerto del periodo 1951-2001.

#### 4. Conclusiones

En el suroeste peninsular la tendencia de la precipitación anual muestra distinto signo, entre series de diferentes observatorios y/o de periodos largos de distintas duración, y, en general, no alcanzan significación estadística. Sin embargo, destaca, en todos observatorios, la tendencia descendente -generalizada y estadísticamente significativa- de las lluvias de primavera. La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía también ofrece disparidad en las predicciones pluviométricas regionales: leve incremento de la precipitación anual en Andalucía Occidental durante el primer tercio del siglo XXI, frente a una disminución, principalmente en las cabeceras de las cuencas, a partir de mediados de siglo.

La evolución interanual de la precipitación en el suroeste peninsular muestra un progresivo incremento de la variabilidad durante las tres últimas décadas. Es previsible la ocurrencia más probable de años excesivamente lluviosos y de años excesivamente secos, y en ocasiones de forma consecutiva. Consideramos que, para la gestión a medio y largo plazo de los recursos hídricos, los estudios de variabilidad tienen más importancia que los de tendencia. En nuestro criterio, la acumulación de años extremadamente secos (aunque posteriormente se compensen por años muy lluviosos) puede generar mayor impacto ambiental del que pudiera deberse a

una suave tendencia negativa de las precipitaciones pero sin fuertes oscilaciones interanuales.

Para periodos temporales del orden del siglo, el promedio de las temperaturas máximas anuales muestra ligeras pendientes que no alcanzan, en general, significación estadística. En el último tercio de siglo se detecta un suave calentamiento diurno, distribuido de forma irregular a lo largo del año, más intenso durante los meses de febrero a abril. La superposición de efectos de incremento térmico y disminución de precipitaciones a principio de primavera podrá generar consecuencias en la vegetación y los cultivos

Las temperaturas mínimas muestran tendencia significativa al calentamiento. Las predicciones sobre la evolución de temperaturas mínimas inducen a esperar incremento térmico del orden de  $0,2^{\circ}$  C en el próximo decenio. En las tres últimas décadas el calentamiento nocturno se distribuye a lo largo del año, pero es más intenso en verano.

La evolución observada permite detectar tendencias en las variables meteorológicas. Su extrapolación sugiere la posibilidad de cambios en el futuro que generen impactos ambientales y sociales. Sin embargo, el solo análisis de las series temporales no permite adscribir causas por lo que la variabilidad observada puede ser de carácter natural o inducida por la acción antrópica. Se necesita del concurso de modelos que establezcan los mecanismos físicos del clima los que permitan discriminar en función de los forzamientos a que se somete el sistema climático.

## Agradecimientos

Los resultados que se recogen en este capítulo han sido financiados parcialmente por el Ministerio Español de Educación y Ciencia (Proyecto CGL2006-07194/BOS).

## Bibliografía

1. GARCÍA BARRÓN L. (2002). "Evolución de las precipitaciones estacionales en el suroeste de la Península Ibérica: posibles efectos ambientales" en *El agua y el clima*. Asociación Española de Climatología, serie A nº 3, pp 209-218.
2. GARCÍA BARRÓN L. (2002). "Caracterización del régimen de precipitaciones en el Oeste de Andalucía" *Aestuarian*º 8, pp 221-242.
3. GARCÍA BARRÓN L., PITA M.F. (2004). "Stochastic analysis of time series of temperatures in the South-West of the Iberian Peninsula". *Atmósfera*. Vol. 17. Núm. 4, pp 225-244.
4. GARCÍA BARRÓN L. et al (2004). "Evolución pluviométrica en el suroeste peninsular: variabilidad y disparidad". *El clima entre el mar y la montaña*. Asociación Española de Climatología serie A nº 4, pp 283-290.
5. GARCÍA BARRÓN L et al (2006). "Caracterización Temporal del Régimen Térmico Intraanual en Andalucía Occidental". *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Asociación Española de Climatología, serie A, pp 625-634.

Las publicaciones de Asociación Española de Climatología se pueden consultar en: [www.aeclim.org/](http://www.aeclim.org/)





# 4. Consecuencias del cambio climático sobre los humedales.

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

## 1. Introducción.

### La percepción social de los humedales

Los humedales son ecosistemas que hoy están sujetos a medidas específicas de conservación, e incluso tienen un gran reconocimiento social (marismas de Doñana, Laguna de Fuente de Piedra, etc.). Sin embargo secularmente han estado sometidos a sistemáticas medidas de desecación, y han sido considerados de forma muy negativa (González Bernáldez, 1992), hasta bien entrado los años 60 del siglo pasado. ¿Cuáles son las causas de este cambio en la valoración social de estos ecosistemas?

Indudablemente son numerosas y, sin duda, están vinculadas al nivel de desarrollo y bienestar alcanzado por la sociedad española a partir de los años 60 del S. XX (como ocurre en general con todos los espacios naturales protegidos). Sin embargo en el caso de los humedales -en general- hay un componente de insalubridad tradicionalmente ligado a ellos. Así, todavía sin conocer la causa o la etiología de la insalubridad de muchos humedales, la percepción empírica que había de ellos como foco de enfermedades era clara. Veamos un ejemplo:

*“... cuando llovía, de todas las del pueblo, se formaba una laguna perenne que en el verano producía mil enfermedades con la fermentación de los insectos, que en gran número se juntaban en ella...” “... así que el pueblo es ya sano desde que le quitaron la laguna de que hablé...”* (D. de Lerma Martínez -Párroco de Tocina- en 1797).

Al igual que esta cita se podrían encontrar otras muchas que hacen referencia a las fiebres intermitentes, tercianas, cuartanas, etc. en Andalucía durante los siglos XVIII, XIX e incluso XX (Sousa et al., 2006a y 2006b) que no hacen sino describir a la enfermedad infecciosa más importante en número de muertes y de infectados hoy en todo el mundo: el paludismo o malaria.

Esta patología es oficialmente declarada erradicada de España, por la Organización Mundial de la Salud, en 1964 (Díaz et al., 2005). Esto explica que encontremos citas de los años 50 de algunas de las lagunas hoy sometidas al mayor rango de protección del Parque Natural de Doñana:

*“...en su mayor parte conservan agua durante el verano, pero facilitan extraordinariamente la reproducción de los mosquitos (anopheles) con la consiguiente propagación del paludismo”* De La Lama (1941).

Precisamente coincide la erradicación del paludismo en España con el inicio del despegue económico de los años 60, y poco más tarde se iniciaría la declaración de grandes espacios protegidos, donde se reconoce la importancia de sus humedales,

como ocurrió con el Parque Nacional de Doñana en 1969.

Este aspecto y otros relacionados con la salud humana se pueden estudiar con mayor profundidad en otro capítulo de esta misma monografía. Pero cabe preguntarse si ¿realmente conocemos el concepto de humedal?

Aunque el RAE lo define como “*Un terreno húmedo*” (Real Academia Española, 1992), según González Bernáldez (1992) “Humedal”, en sentido estricto, sería un terreno sometido a una descarga difusa de agua subterránea (sin que se manifieste forzosamente un flujo copioso de agua líquida). Esto no es óbice para que generalmente suela ser inundable y esté cubierto de vegetación freatófítica. Sin embargo este mismo autor matiza, que una definición más técnica de humedal sería toda anomalía hídrica positiva del terreno de suficiente tamaño y duración para poseer comunidades biológicas diferentes de las de su entorno, y que no es un lago ni un río. Aunque este concepto con el tiempo se ha precisado mucho más, por ejemplo en el Plan Andaluz de Humedales (Consejería de Medio Ambiente, 2002), en nuestra opinión sintetiza tres de las condiciones necesarias que debe de verificar un humedal para serlo:

- Suelos hídricos.
- Lámina de agua (o saturación recurrente en cuyo caso hablaríamos de criptohumedal).
- Vegetación hidrófila.

Independientemente de la dificultad de la conceptualización o de lo “escurridizo” del término “humedal”, lo que sí es muy relevante es la extraordinaria diversidad que hay en España de ellos. González Bernáldez (1992) recopila alrededor de 600 vocablos que hacen referencia a los humedales: *laguna permanente, laguna temporal, laguna efímera, lagunilla, lagunajo, charca, trampal, turbera, tremedal, tembladera, ojo, albufera, lavajo, gola, bodonal, cenote, chortal, galacho, ibón, lamedero, navajo, lucio, madre, ontinar, padul, pacil, restinga, reguero, rambla, salina, salar, tolo...* por seleccionar algunos ejemplos.

En general los diferentes tipos de humedales constituyen unos ecosistemas que, por su propia naturaleza, tienden a desaparecer en un proceso evolutivo de colmatación (Pérez Gago, 2001). Desgraciadamente la acción del hombre ha provocado en las últimas décadas la aceleración de este proceso de senescencia y de otros efectos igualmente negativos, de forma que se ha perdido una gran parte de su superficie original. Esto ha conducido a que sean uno de los sistemas ecológicos más amenazados de la biosfera (Prieto et al., 1998).

En este capítulo se pretende -una vez conocida la evolución reciente de los humedales- analizar cual será el impacto que sobre ellos tendrá el cambio climático,

primero en toda España, después a nivel andaluz, y finalmente concretarlo en el humedal español y andaluz más conocido y emblemático: Doñana y su entorno.

## 2. Evolución natural de los humedales

Lo expuesto, en el apartado anterior, explica que González Bernáldez (1992) aseverara que los humedales eran seguramente el tipo de ecosistema que ha tenido mayores y más profundas transformaciones por la acción humana. Según sus datos hasta el 75 % de los humedales han sido destruidos en Europa y en la mayoría de los países desarrollados. De este orden de magnitud es, por ejemplo, la destrucción de los bogs irlandeses en los últimos 30 años para la extracción de turba, o la desecación de bodones, lavajos y prados longares en la Meseta Norte Española a causa de la extracción de agua subterránea para riego (González Bernáldez, 1992).

Por su parte Custodio (2001) estima que en Europa y otras regiones desarrolladas del mundo la superficie de humedal destruida de manera irreversible alcanza el 80 %. Datos similares se estiman para la disminución de masas de aguas someras del estado español. Concretamente Casado & Montes (1991) y Consejería de Medio Ambiente (2002) calculan esta pérdida de humedales entre el 60-70 %, especialmente en los últimos 50 años. En el caso concreto del Parque Natural de Doñana han desaparecido más del 90 % de las lagunas turbosas (Sousa & García-Murillo, 2003). La situación se puede considerar tan grave que Hollis (1995) opina que el tipo de humedal más frecuente en Europa y en el Mediterráneo es el “*Humedal perdido*”...

## 3. Efectos del cambio climático sobre los humedales españoles

Una vez que conocemos cual es la evolución natural, cabe preguntarse cuál es la situación actual de los humedales y de otros ecosistemas acuáticos continentales en España, y cómo se prevé que puedan verse afectados por el cambio climático.

España posee la mayor diversidad de ecosistemas acuáticos continentales de Europa: >1.000 grandes embalses, 2.500 lagos alpinos > 0.2 ha, 50 lagos kársticos, 11 grandes cuencas hidrográficas con grandes cursos de aguas permanentes y temporales, 500 lagos generados por actividades mineras, 800 humedales > 0.2 ha (Álvarez Cobelas et al., 2005). Además, en relación con el grado de reconocimiento internacional, 49 humedales de nuestro país están incluidos en la lista del Convenio RAMSAR.

El informe preliminar del impacto del cambio climático español, en su capítulo sobre humedales (Álvarez- Cobelas et al., 2005), señala -entre otras muchas cuestiones- el riesgo de que a largo plazo algunos humedales permanentes puedan convertirse

en temporales, y otros temporales tenderán a desaparecer. Esta aseveración se enmarca dentro de las consecuencias que establecen los modelos de cambio climático en España. Ya que las previsiones del panel de expertos de la Oficina Española de Cambio Climático (Fernández González et al., 2005), consideran previsible, como consecuencia del cambio climático, la aridización de los ecosistemas mediterráneos.

Por ello la biodiversidad, en muchos de ellos, probablemente se reducirá y sus ciclos biogeoquímicos se verán alterados. Especialmente sensibles a este impacto son los ambientes endorreicos, lagunas, ríos arroyos de alta montaña, humedales costeros y ambientes dependientes de aguas subterráneas (Álvarez Cobelas et al., 2005).

#### **4. Efectos del cambio climático sobre los humedales andaluces**

Andalucía posee uno de los patrimonios más ricos, en cuanto a humedales, de toda España y de la Unión Europea (Consejería de Medio Ambiente, 2002). Hay varios datos que lo avalan:

El 17 % de los humedales españoles -en número- son andaluces; pero lo que resulta más llamativo, es que gran parte de ése 17 % corresponde a humedales litorales (como las marismas), que son los que ocupan generalmente una extensión más vasta. Esto explica que aproximadamente el 56 % de la superficie de los humedales españoles se sitúen en Andalucía (Consejería de Medio Ambiente, 2002). De ello una parte importante está protegida por alguna figura legal (76 %).

Aunque este panorama parece halagüeño, no todos los datos son tan optimistas. Así, hoy día, se sabe que se han perdido, desde el S. XIX hasta los años 70 del siglo pasado, al menos el 51 % de los humedales andaluces, lo que supone alrededor de 130.000 ha y 120 humedales desaparecidos... (Consejería de Medio Ambiente, 2002).

Aún así estos datos son incompletos. El conocimiento que tenemos de la evolución y desaparición de los humedales en los últimos tres siglos es muy escaso y superficial, debido a la dificultad metodológica de su estudio. De esta forma existen numerosos humedales que ni siquiera somos conscientes de que han existido y se han desecado, y por tanto los cálculos tienden a subestimar la superficie y número de humedales desaparecidos. Un ejemplo de ello podría ser la segunda laguna más grande de la provincia de Huelva -*la Laguna de Invierno*- que desapareció a finales del S. XIX, dentro de los límites del actual Parque Natural de Doñana, y que a pesar de que ocupaba casi 400 ha, prácticamente se había perdido la pista de su existencia (Sousa & García Murillo, 1999).

Como señala Álvarez Cobelas (2007) en el estado actual de los conocimientos, resulta muy difícil hacer aseveraciones demasiado específicas sobre el impacto del cambio climático para un territorio como Andalucía u otro cualquiera de la Península Ibérica. A pesar de esta limitación, el cambio climático probablemente dará como resultado cambios importantes en los ambientes acuáticos dulces y salobres de Andalucía, la mayor parte de los cuales no serán sino una intensificación de las pautas ya existentes debidas a los impactos humanos, no directamente asociados al cambio climático (Álvarez Cobelas, 2007).

Las políticas de adaptación, para disminuir el impacto del cambio climático sobre los humedales andaluces, deben llevarse a cabo tanto desde la oferta como desde la demanda de agua. En el primer caso, tratando de aumentar la cantidad de agua disponible para los ecosistemas acuáticos mediante políticas de ahorro. En el segundo, tratando de reorientar la demanda hacia usos de bajo consumo (Álvarez Cobelas et al., 2005). Por ello estos autores recomienda como opciones adaptativas todas aquellas que conduzcan a mejorar la calidad y la cantidad del ciclo del agua (estimulación del ahorro de agua en la agricultura, estimulación del reciclado de aguas residuales, revegetación masiva en cuencas hidrográficas con plantas autóctonas, etc.).

Los humedales andaluces más vulnerables al impacto del cambio climático serían ambientes endorreicos, lagos y lagunas de alta montaña, humedales costeros o ambientes dependientes de las aguas subterráneas (Álvarez Cobelas, 2007). Una de los humedales andaluces en el que confluyen gran parte de estas características de vulnerabilidad son los de Doñana y su entorno, ya que se trata de una zona litoral, donde existen numerosos humedales dependientes en su alimentación de las aguas subterráneas (hipogeos), y que en muchos casos no terminan drenando hacia mar sino hacia el interior de su propia cuenca (avenamiento endorreico).

Para ello vamos a estudiar cuáles han sido los efectos de los cambios climáticos y de la actividad del hombre sobre los humedales de Doñana y su entorno, para poder así establecer las pautas de cambios que tendrán en el futuro.

Las razones de centrar -a partir de ahora- el estudio en los humedales de Doñana son esencialmente dos: por un lado es uno de los pocos humedales andaluces continentales que se conoce bien cual ha sido su evolución pretérita, y en segundo lugar debido a que es el conjunto de humedales con mayor reconocimiento por figuras y diplomas nacionales e internacionales de protección, y también el más estudiado de todos los humedales españoles.

De hecho -según Pérez Gago (2001)- aproximadamente 1/3 de todas las publicaciones de humedales españoles durante la década de 1989-1999, se referían a Doñana.

## 5. La desaparición de los humedales de Doñana y de su entorno

Durante los últimos siglos los humedales continentales de Doñana y de su entorno han tenido una regresión muy importante. Aunque el grado de desecación y desaparición, varía según el tipo de humedal, y también lógicamente, según el período de estudio, se puede afirmar que el rango de disminución ha oscilado entre el 40 % y el 90 % de su superficie. Esto se puede ver más detalladamente en la Tabla 1.

Humedal	Período de estudio	Superficie o longitud desaparecida	Porcentaje de reducción
Lagunas turbosas de Rivatehilos	S. XVII-XX	1.854,92 ha	91.14 %
Lagunas Temporales de Abalarío	S. XVII-XX	425,83 ha	40.47 %
Lagunas Peridunares de Doñana	1920-1987	98.01 ha	70.73 %
Arroyos Atlánticos	S. XVII-XX	54.14 km	84.50 %
Cañadas de la margen derecha de La Rocina	1956-1987	50.68 km	31.64 %

Tabla 1. Datos de reducción de los humedales de Doñana y su entorno. Fuente Sousa (2004).

Estos resultados se pueden comparar con la reducción que se estima para otros humedales a nivel mundial, europeo o andaluces, y se puede apreciar que el porcentaje de reducción se ajusta a la tasa media estimada en otras zonas del mundo. Posiblemente, a medida que se profundice en la investigación sobre este tema, los datos revelen que las estimaciones medias infravaloran la superficie y número de humedales perdidos en los últimos siglos. Un detalle de ello se puede apreciar en la Figura 1.

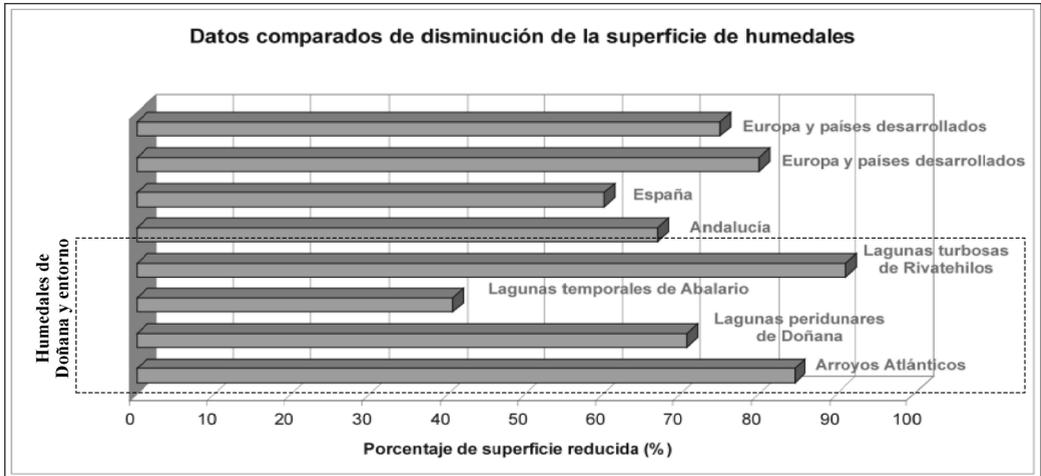


Figura 1. Disminución de los humedales de Andalucía y de Doñana y su entorno, en comparación con otras regiones del mundo. Las fuentes y citas originales de los datos se pueden consultar en Sousa (2004)

El análisis detallado, a lo largo del tiempo, de la reducción de los humedales de Doñana revela que esta progresiva desecación se inicia, al menos, a principios del S. XVII. Este proceso se acentúa durante la segunda mitad del S. XX, cuando la intervención antrópica en la zona (especialmente con reforestaciones con especies de crecimiento rápido), desarticula algunos de los humedales más importantes como las lagunas turbosas de Rivatehilos en el Parque Natural de Doñana o los arroyos atlánticos del Manto Eólico Litoral onubense. En la Figura 2 se recoge la situación de las lagunas turbosas del Parque Natural de Doñana a finales del S. XIX y en 1987.

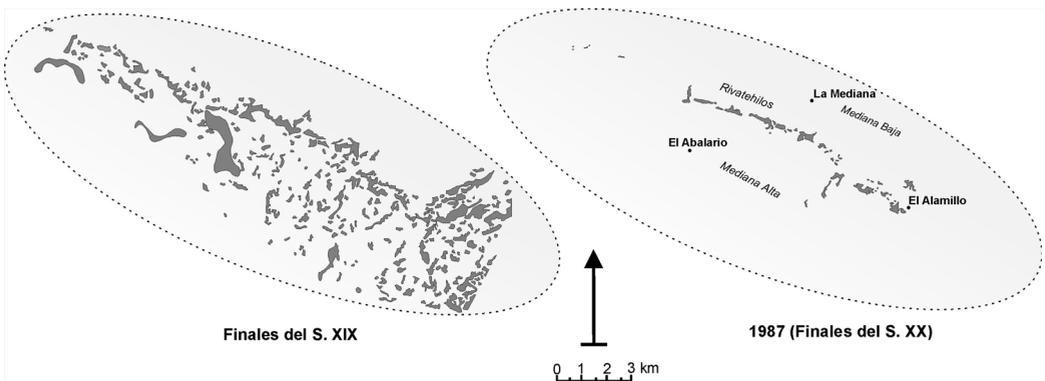


Figura 2. Situación comparada de las lagunas turbosas de Rivatehilos durante los últimos dos siglos. Modificado a partir de Sousa (2004) y Sousa et al. (2006c)

Algo parecido se puede afirmar -aunque con una intervención antrópica diferente- de los humedales del Parque Nacional de Doñana. Un buen ejemplo de ello lo puede constituir las lagunas peridunares que se sitúan en la zona de mayor protección dentro del Parque Nacional de Doñana, como se recoge en la Figura 3.

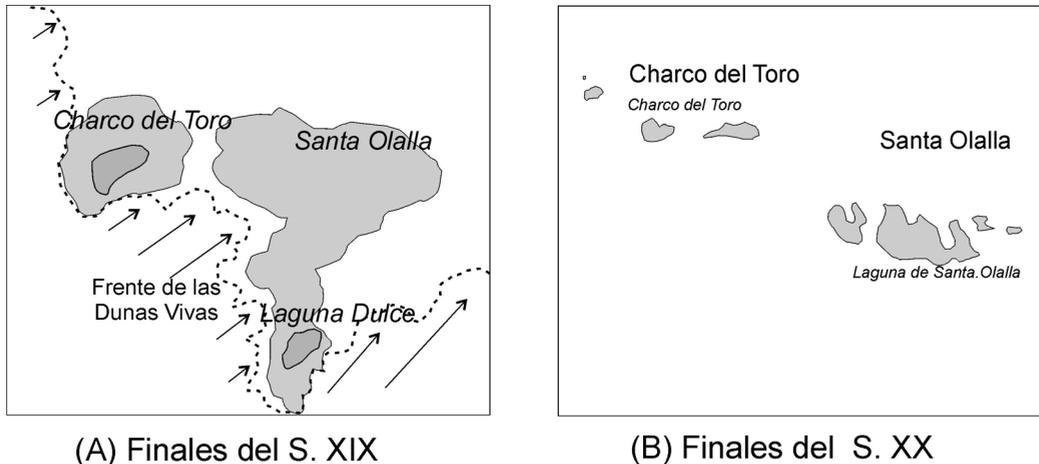


Figura 3. Situación comparada de las lagunas peridunares del Parque Nacional de Doñana durante los últimos dos siglos. Modificado a partir de Sousa (2004) y Sousa & García Murillo (2005).

A partir del S. XX se ha detectado en el área de Doñana una disminución de 1/3 del total de las precipitaciones primaverales ( $60 \text{ l/m}^2$ ), y un incremento en la temperatura media de las mínimas desde finales del S. XIX (García Barrón, 2000; García Barrón, 2002), como consecuencia del inicio del Calentamiento Global.

Además, desde finales del S. XIX, se ha constatado un punto de inflexión climática donde se incrementa el número de años secos-muy secos y disminuye el de húmedos-muy húmedos, asociados al final de la Pequeña Edad del Hielo (*Little Ice Age*). Como se recoge en el capítulo de *Historia del Clima de la Tierra* de esta misma monografía, en Andalucía (a diferencia del centro y norte de Europa), este período se caracteriza por una gran variabilidad climática, y por la alternancia de tres períodos especialmente húmedos con fases más secas. El conjunto de ambos procesos (fin de la Pequeña Edad del Hielo e inicio del Calentamiento Global) supone de facto una pérdida de la suavidad climática oceánica, o lo que es lo mismo un incremento de las condiciones de sequía estival, y probablemente una tendencia hacia unas condiciones de mediterraneidad más áridas. Este proceso se detecta también estudiando la composición de un grupo de algas (diatomeas) de los lagos árticos de Finlandia, y se ha denominado como *post-Little Ice Age warming* (Sorvari et al., 2002). En el caso del sur de España este proceso ha sido traducido como calentamiento posterior al final de la Pequeña Edad del Hielo (Sousa et al., 2006c), como se recoge en la Figura 4.

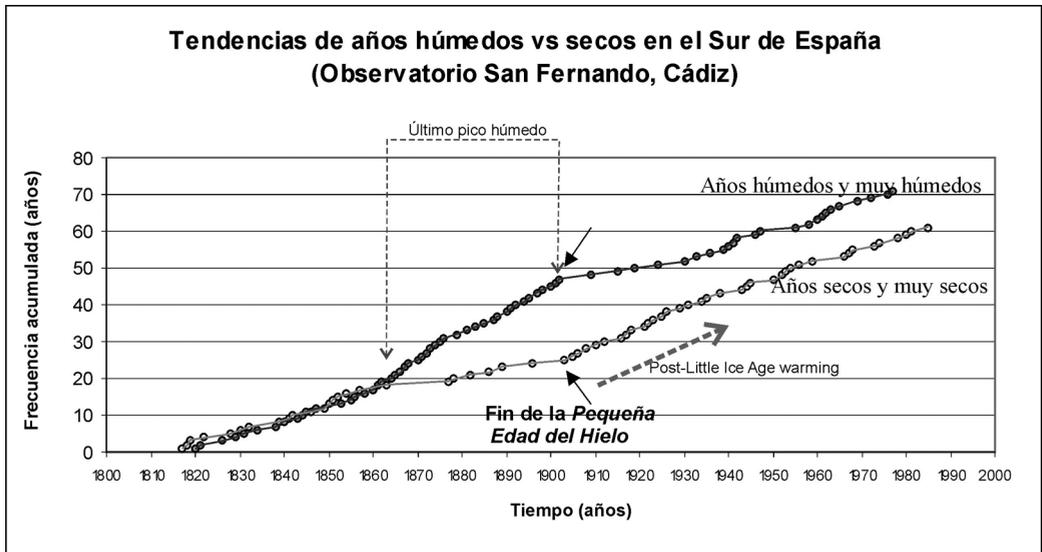


Figura 4. Final del tercer y último pulso húmedo de la Pequeña Edad del Hielo e inicio del Calentamiento Global, de acuerdo a la secuencia de años secos y húmedos en San Fernando. Tomado de Sousa (2004) y Sousa et al. (2006c)

## 6. Conclusiones y perspectivas de futuro

De cualquier modo, estos resultados ponen de manifiesto, que si el Calentamiento Global es tan intenso como predicen los diferentes modelos, los ecosistemas acuáticos de Doñana y su entorno van a verse afectados negativamente. Esta alteración va a depender de cuales sean las variables climáticas que se alteren más (parece más grave en el caso de cambios importantes en la cantidad o distribución estacional de la precipitación, que sobre las temperaturas). También va a depender de las diferentes características de funcionamiento, biológicas y de alimentación de los diferentes tipos de humedales, aunque todo parece indicar que los que se pueden ver más afectados sean aquellos asociados a una alimentación hipogea y con vegetación más estenohídrica (como algunas áreas de carácter higroturboso), así como aquellos elementos florísticos en cuya distribución aparecen rasgos de atlanticidad.

Todo ello pone de manifiesto que los humedales, y los diferentes procesos biológicos que en ellos se dan, pueden actuar como unos indicadores de cambio climático extraordinariamente sensibles.

No obstante es necesario una cierta cautela para no interpretar como cambios

climáticos cualquier modificación de origen antrópico. Sin embargo, en el caso concreto de Doñana y su entorno -y probablemente en otros humedales muy alterados por el hombre- también hay riesgo de infravalorar del impacto de los cambios climáticos, ya que la intensidad de la actividad antrópica puede enmascarar procesos con un origen climático.

De cualquier modo desde el S. XVII -al menos- ha habido una reducción radical de humedales y comunidades vegetales ligadas a ellos en Doñana y su entorno.

## 7. Agradecimientos

Los resultados que se recogen en este capítulo han sido financiados por el Ministerio Español de Educación y Ciencia (Proyecto CGL2006-07194/BOS).

### Bibliografía

1. ALONSO DE LERMA MARTÍNEZ (1797), "Tocina". Alonso de Lerma Martínez, Párroco de Tocina. En: Diccionario Geográfico de Andalucía: Sevilla, Segura Graiño, C. (Ed.). Ed. Don Quijote. Sevilla.
2. ÁLVAREZ COBELAS, M. et al. (2005). "Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales". En: Moreno, J. M. (Ed.). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, pp. 109-142.
3. ÁLVAREZ COBELAS, M. (2007). "Cambio climático y ecosistemas acuáticos continentales en Andalucía". En: Sousa, A., et al. (coords.): El cambio climático en Andalucía: evolución y consecuencias medioambientales. Edita Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla, pp. 143-152.
4. CASADO, S. & MONTES, C. (1991), "Estado de conservación de los humedales peninsulares españoles", Quercus 66, pp. 18-26.
5. CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE (2002), Plan Andaluz de Humedales, Junta de Andalucía, Sevilla. 218 p.
6. CUSTODIO, E. (2001), "Aguas subterráneas y humedales". VII Simposio de Hidrogeología, FERNÁNDEZ URÍA, A. (Ed.), págs. 3-30. Murcia.
7. DE LA LAMA, G. (1941), Memoria de reconocimiento y propuesta de trabajos de la finca "Coto Ibarra". Documento técnico inédito. Patrimonio Forestal del Estado, 24 p.
8. DÍAZ, J. et al. (2005), "Impactos sobre la salud humana". En: Moreno Rodríguez, J. M. (Ed.). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, pp. 727-772.
9. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ F. et al. (2005). "Impactos sobre la biodiversidad vegetal". En: Moreno, J. M. (Ed.). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, pp. 183-248. Ministerio de Medio Ambiente.
10. GARCÍA BARRÓN, L. (2000), Análisis de series termopluviométricas para la elaboración de modelos climáticos en el suroeste de España, Tesis doctoral, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Sevilla. Sevilla, 160 p.
11. \_\_\_\_ (2002), "Evolución del régimen de precipitaciones en el oeste de Andalucía", Aestuaría 8, pp. 219-240.
12. GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1992), Los Paisajes del Agua. Terminología popular de los

humedales. Reyero, J. M. (Ed.), Madrid, 256 p.

13. HOLLIS, G. E. (1995), "Wetland a river restoration in Europe and the Mediterranean". En: Bases Ecológicas para la restauración de humedales en la cuenca mediterránea. Montes, C. et al. (Eds.), págs. 125-142. Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla, 348 p.
14. PÉREZ GAGO, M. (2001), "Análisis de los trabajos publicados en revistas y congresos nacionales en relación con humedales españoles durante el período 1989-1999". En: VII Simposio de Hidrogeología. Fernández Uría, A. (Ed.), pp. 31-41. Asociación Española de Hidrogeólogos. Murcia.
15. PRIETO, I. et al. (1998), "Fuentes documentales y bibliográficas sobre Doñana y su entorno". En: Reconocimiento biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: una aproximación ecosistémica. Montes, C. et al. (Coords.), pp. 151-155 y 194-305. Edita Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). Sevilla, 305 p.
16. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (1992), Diccionario de la Lengua Española. Tomos I y II, vigésima primera edición, Madrid, 2133 p.
17. SORVARI S. et al. (2002). "Lake diatom response to recent Arctic warming in Finnish Lapland", *Global Change Biology* 8, pp. 171-181.
18. SOUSA A (2004) Evolución de la vegetación higrofítica y de los humedales continentales asociados en el litoral onubense oriental. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, Sevilla, 550 pp.
19. SOUSA A. & P. GARCÍA MURILLO (1999), "Historical evolution of the Abalarío lagoon complex (Doñana Natural Park, SW Spain)", *Limnética* 16, pp. 85-98.
20. \_\_\_\_ (2005). Historia ecológica y evolución de las lagunas peridunares del Parque Nacional de Doñana. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 170 pp.
21. \_\_\_\_ (2003). "Changes in the Wetlands of Andalusia (Doñana Natural Park, SW Spain) at the End of the Little Ice Age". *Climatic Change* 58, pp. 193-217.
22. SOUSA, A., et al, (2006a), Paludismo, cambios climáticos y humedales en el litoral oriental onubense, *Aestuarina*, , pp. 179-204.
23. \_\_\_\_ (2006b), "Los humedales del SW de España (litoral oriental onubense) como vínculo entre la malaria y los cambios climáticos más recientes", En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Zaragoza. Asociación Española de Climatología. pp. 709-719.
24. \_\_\_\_ (2006c), "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.





# **5. Elementos vegetales del paisaje referentes de situaciones climáticas concretas.**

Pablo García Murillo.  
Dpto. Biología Vegetal y Ecología.  
Universidad de Sevilla.

## 1. Desarrollo conceptual

En la naturaleza las especies vegetales no se presentan aisladas, sino que forman comunidades donde individuos de diversas especies conviven en una localidad y bajo unas mismas condiciones climáticas, edáficas y ecológicas. Al conjunto de comunidades vegetales de un lugar se denomina **vegetación**. Los cambios en la vegetación han sido una constante en la historia de la biosfera y se han sucedido a un ritmo desigual. Por el contrario, la flora de un lugar hace referencia a un concepto artificial; así se entiende por **flora** el conjunto de especies vegetales que se encuentran en un lugar determinado. La flora andaluza, del mismo modo, es producto de una serie de cambios que de una forma brusca o gradual han conformado su espectro (florístico y biogeográfico). Su estudio revela una historia de extinciones, invasiones, migraciones; donde las condiciones climáticas gobernaron gran parte de estos procesos, hasta que el hombre apareció en la escena.

Los vegetales superiores, a causa de su particular fisiología, son organismos muy sensibles a las condiciones climáticas y edáficas. Ante un escenario de cambio climático la respuesta de la vegetación es rápida y consiste en la sustitución de unas especies vegetales por otras. De esta forma, los procesos ambientales que han ocurrido en un lugar determinado condicionan la vegetación de ese lugar y también su flora. La historia de los cambios en la composición de las comunidades vegetales de un territorio, por tanto, reflejará los cambios que ha experimentado el clima de ese territorio a lo largo del tiempo.

Finalmente, los vegetales superiores son quizá los elementos más conspicuos de la mayor parte de los paisajes de la Tierra. La cubierta vegetal es lo primero que nos llama la atención cuando observamos la superficie terrestre desde nuestra escala, dicha cubierta puede ser también observada, analizada y medida por sensores remotos (como los utilizados por los aviones o satélites) desde una perspectiva diferente y abarcando superficies mucho mayores. Esta característica facilita mucho el uso de las plantas como bioindicadores.

Por todo ello, el conocimiento desde un punto de vista histórico de los cambios en la composición florística y en las comunidades vegetales de un lugar determinado resulta un instrumento excelente para los estudiar los cambios en el clima de ese lugar. En este sentido, los objetivos de este capítulo son: poner de manifiesto la reiteración e importancia de estos cambios en la historia de la Tierra y, en segundo lugar, mostrar el interés de los estudios históricos sobre flora y vegetación para tener un conocimiento preciso de los fenómenos de cambio climático y cambio global. Con estos objetivos el capítulo se ha organizado en tres apartados: éste, conceptual; el siguiente, que mostrará diversas ideas sobre el origen y la evolución de la flora andaluza, y el último, aplicaciones, que presentará varios ejemplos donde se apreciarán las posibilidades que tiene el estudio histórico de la flora y vegetación

en relación con el Cambio Global y Climático.

## 2. Macroevolución de la flora andaluza

Hace unos 420 millones de años, las primeras plantas vasculares (Pteridófitas, el grupo vegetal al que pertenecen los helechos) aparecieron en la Tierra. El mundo resultaba muy diferente al que hoy conocemos. Las tierras emergidas, agrupadas en un único continente: la Pangea, constituían un medio inerte por colonizar que ofrecía buenas posibilidades a todos aquellos organismos que se adaptaran a él. Poco a poco tras un largo proceso de interacción con el medio ambiente, los Pteridófitos, el nuevo grupo vegetal que había desarrollado estructuras que le permitía vivir en el medio terrestre, se fue expandiendo. Durante la segunda mitad de la era Paleozoica estas plantas ya cubrían la superficie terrestre, diversificándose y evolucionando. Prueba de su éxito lo tenemos en los numerosos y potentes yacimientos de carbón, originados todos ellos a partir de estos vegetales.

### 2.1. Mesozoico

En el Mesozoico, hace unos 180-135 millones de años, se produjo la división de la Pangea en dos continentes: Laurasia, al norte, y Gondwana, al sur, separados por el mar de Thetys. Desde el punto de vista climático esto supuso una mayor variedad de climas. Asimismo en este período de tiempo, las plantas que hasta entonces habían dominado las tierras emergidas, los Pteridófitos, dieron lugar a nuevos grupos: las Pteridospermas (los helechos con semilla, extintos en la actualidad), las Gimnospermas (el grupo vegetal al que pertenecen las coníferas) y, al final de la era Mesozoica, las Angiospermas (las plantas con flores y frutos).

### 2.2. Cenozoico

Sin embargo, fue en la era Cenozoica cuando tuvieron lugar los acontecimientos que conformaron los rasgos característicos de la vegetación que cubre el territorio andaluz. Dicho período, además, coincidió con la diversificación de las angiospermas, cuyos efectivos se multiplicaron hasta convertirse en el grupo dominante, a la vez que las Pteridofitas y Pteridospermas, menos competitivas, quedaban en situaciones marginales.

### 2.3. Paleógeno

El Paleógeno, la primera etapa de esta era se desarrolló entre los 65-25 millones de años y se caracterizó, a grandes rasgos, por un clima tropical y cálido que originó una vegetación de tipo laurisilva (en la actualidad la laurisilva forma gran parte de los bosques autóctonos que se encuentran en las islas Canarias) que se extendía

por gran parte de lo que hoy es Europa. El Mediterráneo aún no se había formado y tampoco existían los casquetes polares permanentes, y Europa, Groenlandia y Norteamérica permanecían aun unidas. Este contacto explica el hecho que regiones de los Estados Unidos y de la Europa mediterránea compartan géneros de plantas como: *Alnus*, *Arbutus*, *Crataegus*, *Juniperus* o *Quercus*.

#### 2.4. Neógeno

Durante la segunda parte del Terciario, el Neógeno, entre los 25-2 millones de años, se sucedieron diversos acontecimientos que iban a ser la causa de muchas de las características de la flora y vegetación mediterránea. Se inició un período de gran aridez, Europa y Groenlandia se separaron, finalizó la Orogenia Alpina (que originó las principales cadenas montañosas europeas, como los Alpes, Cárpatos o Pirineos), se formó el Mediterráneo y el SW de Europa estuvo unido episódicamente al continente africano. Quizá la crisis climática más significativa de este periodo, tuvo lugar en el Mesiniense, entre los 6.7-5.2 millones de años, cuando el Mediterráneo se secó y quedó reducido a un inmenso marjal. Este hecho tuvo una enorme importancia desde el punto de vista florístico, ya que permitió la incorporación de nuevos elementos a la flora de nuestro territorio. Numerosos grupos ubicados en territorios asiáticos o africanos pudieron, de esta forma, alcanzar Europa.

El final del Terciario vino acompañado de una trasgresión marina como resultado de la apertura del estrecho de Gibraltar, la cual tuvo también importantes consecuencias para la flora andaluza. La subida de las aguas provocó el aislamiento de numerosas poblaciones, que quedaron aisladas en las islas del Mediterráneo o en las montañas litorales y que condujo a una especialización alopátrica en numerosos géneros. Igualmente, ocurrieron varias crisis climáticas sucesivas que tuvieron un doble efecto desde el punto de vista de la flora. Por un lado, favorecieron la expansión de las especies esteparias y xerofíticas, y por otro, contribuyeron a la extinción, en el territorio europeo, de los géneros propios de climas templados y tropicales que habían aparecido a comienzos del Terciario (*Taxodium*, *Sequoia*, *Liquidambar*, *Hammamelis*, etc.)

#### 2.5. Cuaternario. Pleistoceno

Los últimos dos millones de años corresponden al período denominado Cuaternario. La principal característica de este período en el continente europeo es la alternancia entre fases glaciares e interglaciares. Según Carrión & Díez (2003), el 80% del tiempo del Cuaternario en el norte de Europa fue glacial. Este hecho supuso la extinción de numerosos taxones que vivían en territorio europeo. Las condiciones de frío intenso se extendieron por el norte y centro de Europa, cuyo suelo quedó bajo los hielos y de esta forma la vegetación leñosa de lo que es actualmente Europa central desapareció. Sólo las regiones meridionales conservaron lugares donde el suelo no se congeló.

En las regiones del sur, las condiciones de frío fueron simultáneas con ambientes de aridez y xerofitismo, y a consecuencia de ello, una gran parte de la Península Ibérica se transformó en estepa. Según una hipótesis desarrollada recientemente por Carrión y otros investigadores, bajo estas circunstancias, las cadenas montañosas costeras del sur de Europa fueron decisivas para el mantenimiento de la diversidad de las masas forestales europeas, ya que actuaron como refugio de especies que encontraron en estos microclimas su salvación. Cuando se retiraron los hielos estas especies colonizaron de nuevo los territorios del norte y centro de Europa dando origen a la vegetación europea actual.

## 2.6. Cuaternario. Holoceno

La etapa interglaciar actual, que abarca los últimos 10000 años se denomina Holoceno y se caracteriza por la disparidad en la dinámica vegetal y la gran heterogeneidad biogeográfica.

Además, la aparición del hombre y el uso del fuego introdujeron un importante factor de perturbación en las comunidades vegetales. El fuego y el pastoreo han influido muy significativamente en la evolución de la vegetación durante la segunda mitad del Holoceno. La acción antrópica es un elemento crítico de perturbación que determina cambios en las especies dominantes y conlleva cambios radicales en la diversidad y la cobertura arbórea y arbustiva. Como consecuencia de la influencia humana, una gran parte de las comunidades vegetales de nuestro territorio fueron destruidas para crear cultivos y pastos, pero eso es ya otra historia.

## 3. Aplicaciones

Desde una perspectiva mucho más próxima que el enfoque macroevolutivo, el estudio diacrónico de la flora y vegetación de una región proporcionan importante información sobre los procesos de cambio climático y cambio global. Esta información resulta especialmente relevante en el caso de regiones donde no existen o son escasos los datos climáticos históricos a partir de medidas instrumentales. Como ocurre en gran parte de Andalucía.

### 3.1. El Cambio Florístico

La noción de Cambio Florístico hace referencia a cambios históricos en las floras de países o regiones y es motivo de atención en diversas investigaciones actuales. Los cambios en las floras se producen por la adición de nuevas especies a catálogos florísticos ya realizados o por la desaparición de especies cuya presencia había sido registrada en el área de estudio. Así, se encuentran estudios que inciden sobre pérdida de especies en los bosques norteamericanos en los últimos 50 años, en islas

de Oceanía en los últimos 40 años, en la pérdida de especies de plantas acuáticas en el Norte de Europa en los últimos 100 años, o en el incremento de especies nitrófilas en varias regiones centroeuropeas desde una perspectiva histórica. En todos ellos subyacen los problemas de extinción de especies autóctonas, invasión de exóticas y homogeneización de hábitat. Pero quizá, el mejor referente sobre el Cambio Florístico lo encontramos en Gran Bretaña. Las peculiaridades culturales de este país le permiten abordar las cuestiones sobre el Cambio Florístico desde una posición de ventaja sobre otros países. Los investigadores que han trabajado en esta materia coinciden en que durante el siglo XX se han producido importantes cambios en la flora británica. Así a partir del estudio de más de 50 floras regionales publicadas entre 1660 y 1960, se puso de manifiesto como el cambio fue más intenso en el período que iba desde 1950 hasta nuestros días y, por el contrario, antes de 1860 resultaba muy difícil encontrar referencias de cambio florístico. Igualmente, estudiando las extinciones en la flora de una veintena de condados ingleses durante el siglo XX se observó una tasa de extinción de más de una especie cada dos años, con una variación en la velocidad de extinción, que se incrementaba progresivamente a medida que se acercaban al final del siglo XX.

### 3.2. Los estudios sobre la flora y vegetación de El Abalarío

En 1994, como consecuencia de los trabajos desarrollados por un equipo multidisciplinar coordinado por el Prof. Montes del Olmo de la Universidad Autónoma de Madrid: “*Bases ecológicas para la restauración ecológica del complejo palustre del Abalarío*”, en el que el autor de este capítulo fue el responsable del Equipo de Flora y Vegetación; se realizó un detallado análisis de las comunidades y elementos vegetales de una parte del litoral onubense: el complejo palustre de El Abalarío. En el transcurso de los trabajos se descubrió una gran zona turbosa, oculta entre la masa de eucaliptos, que se extendía por los lugares denominados Ribatehilos y El Peladillo. Esta zona, a pesar de haber sido intensamente alterada por los cultivos forestales durante 50 años, mantenía destacables manchas de vegetación de turbera que albergaba numerosas especies singulares, como: *Erica ciliaris*, *Genista ancystrocarpa*, *Pinguicula lusitanica* o briófitos del género *Sphagnum*, todos con un gran valor desde el punto de vista de la conservación. Estos lugares llamaron nuestra atención desde el primer momento que los exploramos, no sólo por el interés florístico de las especies que en ellos se encontraban, sino por lo insólito de su ubicación: en un clima mediterráneo, a nivel del mar y en el extremo sur de Europa.

Las turberas son ecosistemas caracterizados por la acumulación de materia orgánica debido a una saturación permanente de agua que origina condiciones anaeróbicas impidiendo así la descomposición de la materia orgánica. La formación de una turbera se debe a la acumulación de una masa de materiales orgánicos en lugares de drenaje restringido donde las condiciones hidromorfias anaerobias han permitido su conservación a través del tiempo. El agua es, por tanto, el

factor exógeno más importante para el desarrollo, transformación y forma de la futura turbera. Las condiciones climáticas idóneas para la formación de turba son temperaturas bajas y precipitaciones abundantes distribuidas a lo largo de todo el año. En Europa, estas condiciones son frecuentes en las fachadas atlánticas de Irlanda y Gran Bretaña, Costas del Norte de Europa, Escandinavia y en las regiones montañosas más elevadas; en la Península Ibérica son raras y, en general, están presentes en determinadas zonas del norte y noroeste, y en las zonas más altas de las cordilleras. Por tanto, la presencia de una turbera en nuestra zona de estudio era un acontecimiento realmente sorprendente.

Por esta razón resolvimos profundizar en nuestras investigaciones sobre la turbera y decidimos investigar la vegetación remontándonos más allá de los años 30 del siglo XX, momento en que la presión antrópica era casi inexistente. Los resultados, mostraron un significativo incremento en la superficie cubierta por vegetación turbosa. Igualmente, observamos una disminución paulatina de estas comunidades a medida que nos acercábamos al siglo XX. Algo estaba desorganizando las comunidades de vegetación turbosa y no era la acción del hombre, ya que en las épocas consideradas la zona de estudio era un desierto en lo relativo a presencia humana. Iniciamos, entonces una serie de trabajos encaminados a confirmar estas observaciones y a buscar una explicación a este sorprendente hecho. Los resultados de estas investigaciones, publicados en varias revistas científicas y libros, confirmaron las hipótesis de que las comunidades turbosas, al igual que los arroyos de la zona y determinadas lagunas habían experimentado una significativa reducción en su superficie, debido fundamentalmente a un proceso de aridización que se remontaba, al menos, a dos siglos y que lo vinculamos con el final de una crisis climática conocida en Europa como Pequeña Edad del Hielo. Estos resultados han supuesto una importante contribución al conocimiento de este período climático, ya que sus efectos en el sur de Europa son escasamente conocidos. Asimismo, pensamos que estos trabajos constituyen un buen ejemplo para mostrar que investigaciones fuera de los límites de las disciplinas estrictamente climáticas, pueden aportar información de gran valor a cuestiones relativas a cambios en el clima.

### 3.3. Las especies exóticas invasoras

Las especies que viven de forma natural en un lugar determinado se denominan **especies autóctonas** o nativas, en cambio las que aparecen de nuevo en ese lugar (por causas naturales o no) se denominan **especies exóticas**. Si una especie exótica causa importantes transformaciones en el ecosistema donde se instala se llama **especie exótica invasora**.

El proceso de Calentamiento Global está incidiendo de forma significativa en la competitividad de las especies vegetales, modificando la frecuencia de establecimiento de especies exóticas en las zonas de climas templados. Así muchas

especies autóctonas, bajo estas nuevas condiciones resultan ser menos competitivas y terminaran desapareciendo de muchos de su hábitat tradicionales. Por el contrario, determinadas especies ajenas a los ecosistemas autóctonos actuales, las especies exóticas, en las nuevas condiciones, tendrán ventajas adaptativas y se expandirán, ocupando los hábitat que han dejado las especies autóctonas. El estudio de la aparición de especies exóticas en un determinado territorio brinda claros ejemplos de los efectos del Calentamiento y Cambio Global.

Si nos fijamos en las plantas acuáticas, un grupo de organismos extremadamente sensible a los cambios en el medio, observamos que en nuestro país son plantas que han pasado desapercibidas. Hasta hace poco tiempo, el principal problema que planteaban era el de su conservación y desaparición de los distintos cursos de agua y humedales, donde vivían. Pero recientemente, este efecto ha cambiado, las plantas acuáticas están empezando a ser fuente de problemas en sí mismas. El motivo de estos problemas está en que se están incorporando a la flora acuática españolas especies exóticas invasoras procedentes de zonas tropicales.

En el año 2005, un tramo del río Guadiana de unos 40 Km de longitud, situados entre Medellín y Montijo, fue invadido por el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), una especie procedente de la zona tropical de Sudamérica. La invasión causó gran alarma en la población de la zona que observó con inquietud como su paisaje inmediato se había transformado súbitamente y como los jacintos de agua colapsaban la red fluvial; tras enormes esfuerzos y con una importante inversión económica (la comunidad extremeña ha gastado en control de esta especie más de 3 millones de euros) la situación parecía estar controlada, pero recientemente se ha activado la plaga y en estos días se extiende por 140 Km del río Guadiana.

Otro caso, el del helecho flotante *Azolla filiculoides*, de nuevo una especie procedente de América tropical. Esta especie apareció en la marisma del Parque Nacional de Doñana en el año 2000 y en 2007 se extendía por más de 4000 Ha de la marisma de Doñana. Su rápida expansión amenaza con transformar la estructura de los ecosistemas marismesños y es motivo de preocupación para científicos y gestores el medio natural, que observan con inquietud como *Azolla* se propaga rápidamente a otros lugares de Andalucía.

Por último, en la provincia de Cádiz, en 2005, se detectó (y en estos momentos parece estar bajo control) una invasión del repollo de agua (*Pistia stratiotes*), otra especie procedente de zonas tropicales, que en 2005 ocupaba 3 Km de un canal que desembocaba en el Guadalquivir frente al Parque Nacional de Doñana.

Los efectos las especies exóticas invasoras en los ecosistemas que invaden, no sólo inciden en el ámbito de la conservación de especies y ecosistemas, sino que también causan importantes pérdidas a la actividad humana. Ejemplos hay numerosos,

aunque quizá el paradigma sea el jacinto de agua o camalote (*Eichhornia crassipes*), originario de la cuenca amazónica, ha invadido ecosistemas acuáticos de los cinco continentes. El jacinto de agua fue introducido a finales del siglo XIX en USA, allí proliferó rápidamente e invadió canales, ríos y lagos, obstaculizando los sistemas de riego, impidiendo la navegación y causando numerosos trastornos a las actividades humanas, además de transformar los ecosistemas autóctonos. Por estas razones ha sido objeto de numerosas campañas de control a lo largo de todo el siglo XX, empleándose para ello miles de millones de dólares, sin haberse conseguido aún su erradicación.

Para concluir, insistir en que las crisis climáticas han sido una constante en la historia de nuestro planeta y han sido la causa de los cambios en la flora y vegetación que han venido sucediéndose a lo largo de la historia de la Tierra. Por esta razón los estudios sobre cambios en la flora y vegetación de una región (desde una escala macroevolutiva, o histórica) constituyen unos instrumentos de gran valor para conocer, no sólo los efectos de las crisis climáticas o el cambio global, sino también, para detectar procesos ambientales globales “invisibles” que no han quedado registrados por procedimientos instrumentales tradicionales.

## Bibliografía

1. ARROYO, J., CARRIÓN, J.S., HAMPE, A. & JORDANO, P. (2004), «La distribución de especies a diferentes escalas espacio-temporales», en Valladares, F. (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, Ministerio de Medio Ambiente, Egraf, S.A., Madrid., pp. 27-67.
2. BLANCA, G. (1993), «El origen de la Flora Andaluza», en AMA (Ed.), *Introducción a la flora Andaluza*, Consejería de Cultura y Medio Ambiente, Agencia de Medio Ambiente, Sevilla. pp. 19-35.
3. CARRION, J.S. (2003), *Evolución vegetal*, Librero editor, Murcia.
4. CARRIÓN, J. S. & M. J. Díez (2004), «Origen y Evolución de la vegetación mediterránea en Andalucía a través del registro fósil», en C.M. Herrera (Coord.), *El monte mediterráneo en Andalucía*. Herrera C.M. (Coord.), Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 21-27.
5. FERNÁNDEZ ZAMUDIO, R., A. SOUSA & P. GARCÍA MURILLO (2007), *Laguna de las Madres. Flora y vegetación*, Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
6. GARCÍA MURILLO, P. (2001), «Restauración del Complejo Palustre del Abalarío: la reconstrucción del paisaje», en Ministerio de Medio Ambiente (Ed.), *1ª Reunión Internacional de Expertos sobre la Regeneración Hídrica de Doñana. Ponencias y Conclusiones*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 117-130.
7. - (2005), «Reconstrucción del paisaje del Abalarío: un referente para la restauración ambiental en Doñana», en Martín, C. & F. García Novo (Eds.) *Doñana Agua y Biosfera, Conferenciación Hidrográfica del Guadalquivir*, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, pp. 271-275.
8. GARCÍA MURILLO, P., M.D. COBO, E. SÁNCHEZ GULLÓN & H. GARRIDO. (2004a), «Una planta acuática americana invade Doñana» *Quercus* 218, pp. 46-47.
9. GARCÍA MURILLO, P., COBO, M.D. ,SÁNCHEZ GULLÓN, E. & GARRIDO, H. (2004), «Plantas exóticas e invasoras en Doñana», *Medio Ambiente* 46, pp. 45-53.
10. GARCÍA MURILLO, P., DANA SÁNCHEZ, E. & RODRÍGUEZ HIRALDO, C. (2005), «La lechuga de agua amenaza con invadir Doñana», *Quercus* 232, pp. 36-37. MARREN, P. (2001), «What time hath stole away h: local extinctions in our native flora». *British Willdlife* 12, pp. 305-310.
11. PRESTON, C.D. (2003), «Perceptions of change in English county Floras, 1660–1960», *Watsonia* 24, pp. 287-304.
12. RICH, T. C. G. & A. B. KARRAN (2006), «Floristic changes in the British Isles: comparison of techniques for assessing changes in frequency of plants with time». *Botanical Journal of Linnean Society* 152, pp. 279–301.

13. SAND-JENSEN, K., T. RIIS, O. VESTERGAARD & S. E. LARSEN (2000), « Macrophyte decline in Danish lakes and streams over the past 100 years», *Journal of Ecology* 88, pp. 1030-1040.
14. SOUSA, A. & P. GARCÍA MURILLO (2002), «Méthodologie pour l'étude des effets du petit âge glaciaire dans le Parc Naturel de Doñana (Huelva, Espagne). Essai de reconstitution des formations palustres et du drainage superficiel», *Publications de l'Association Internationale de Climatologie* 14, pp. 359-367.
15. - (2003), «Changes in the wetlands of Andalucía (Doñana Natural Park, SW Spain) at the end of the Little Ice Age», *Climatic Change* 58, pp. 193-217.
16. - (2005), *Historia ecológica y evolución de las lagunas peridunares del Parque Nacional de Doñana*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
17. SOUSA, A., L. GARCÍA-BARRÓN, J. MORALES & P. GARCÍA MURILLO (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.
18. WALKER, K.J. (2003a) «Using data from local floras to assess floristic change», *Watsonia* 24, pp. 305-319.
19. WALKER, K.J. (2003b), «One species lost every year? An evaluation of plant extinctions in selected British vice-counties since 1900», *Watsonia* 24, pp. 359-374.



**un**  
**i** **≡**  
**A**

# **6. Bosques mediterráneos y cambio climático.**

Vicente Jurado Doña.  
Área de Ecología.  
Universidad Pablo de Olavide.

## 1. Introducción

El calentamiento de la Tierra es ya una realidad científica indiscutible. Sus efectos ya se están sintiendo, como indican los datos a nivel global: la temperatura media de la superficie terrestre se ha incrementado en algo más de medio grado, desde 1976, y once de los últimos doce años (1995-2006) están en el ranking de los doce años más calurosos en los registros de temperaturas de superficie terrestre instrumentalizados desde 1850 (IPCC, 2007). Y ello está generando un deshielo acelerado del polo norte (los datos de satélite desde 1978 muestra una reducción de la extensión de hielo marino en el Ártico de un 2.7 % por década, IPCC, 2007), un aumento de los episodios de sequía, lluvias torrenciales y huracanes en diferentes zonas del planeta –que entre los años 2004 y 2005, ha afectado a más de 300 millones de personas-, y una clara elevación del nivel del mar. Es decir, un brusco cambio de los ecosistemas de la tierra, lo que va a afectar profundamente a todas las formas de vida.

Pero lo que está por venir es mucho peor. Según el informe Stern encargado por el Gobierno británico en 2005 y presentado a fines del 2006 en la Royal Society de Londres, la elevación de tan sólo un grado de la temperatura media del planeta –que se alcanzará cuando se llegue a 430 ppm CO<sub>2</sub>-, supondrá el incremento de la desertificación en el Sahel (donde viven más de cien millones de personas), la desaparición de los glaciares de montaña en todo el mundo (lo que generará problemas de agua a los 50 millones de personas que viven en su entorno), graves daños para los ecosistemas de los arrecifes coralinos y, en general, una notable reducción del rendimiento de los cultivos en muchas regiones pobres, lo que incrementará el riesgo de hambre en millones de personas y, por tanto, una indudable presión migratoria hacia otras zonas.

A nivel regional se ha constatado que los pequeños arroyos litorales del entorno de Doñana (Huelva), han tenido una importante regresión durante los últimos siglos en consonancia con otros humedales de la zona (Sousa, 2004). También se ha observado en el suroeste de Andalucía, un incremento de las temperaturas medias de las mínimas y la disminución de la precipitación primaveral probablemente en relación con el cambio global (García, 2000).

## 2. El papel de los bosques ante el Cambio Climático

Los bosques mediterráneos juegan un papel importante en cuanto sumideros de dióxido de carbono. El **Plan Forestal Andaluz** es el instrumento válido de gestión de las masas forestales de Andalucía. Se aprobó en febrero de 1989 y fue ratificado por Resolución del Parlamento Andaluz en noviembre de 1989. El PFA define la estrategia de la política forestal andaluza para un horizonte de 60

años, dadas las características de las acciones a emprender en los ecosistemas forestales. Se estableció que su ejecución se llevara a cabo en fases decenales con actualizaciones cada 5 años. En julio de 2003 se aprobó la *Adecuación del PFA* a las nuevas orientaciones y directrices en materia de desarrollo forestal y de política ambiental para el período 2003/07. Se trata en realidad de 2ª actualización (revisión) que se realiza y que básicamente pretende la adecuación del PFA a las demandas de la situación nacional e internacional incluyendo la necesidad de investigar el importante papel de los bosques y matorrales frente al calentamiento global. El plazo de vigencia es de 5 años (2003/07) e incluye una programación financiera. Dicho documento recoge entre sus objetivos “la gestión de los recursos naturales y su aprovechamiento de forma sostenible”. Entre las Estrategias para conseguirlo (estrategia 2.6) se incluye la *Valoración del monte mediterráneo como instrumento de fijación del CO<sub>2</sub> atmosférico*. Frente a la baja productividad de los ecosistemas forestales mediterráneos, su valor como fijadores de CO<sub>2</sub> les dota de un valor poco reconocido pero mucho más importante para la humanidad, un valor que es necesario transmitir al conjunto de la sociedad, para concienciarla de la necesidad de ón y mejora de estos ecosistemas.

### 3. Aspectos clave en relación a los bosques andaluces

#### 3.1. Importancia económica

El subsector forestal supone en Andalucía casi el 5% de la producción final agraria, aunque este bajo porcentaje quizá no responda a la realidad, pues algunos productos son difícilmente cuantificables y otros se incorporan a la cadena del mercado y ya no se consideran de índole forestal. Si bien basándonos sólo en las cifras estadísticas podríamos llegar a la conclusión de que los bosques son algo absolutamente marginal y residual desde el punto de vista económico, estos datos no reflejan la importancia de los recursos forestales a nivel territorial, social y ecológico porque la mayoría de los aprovechamientos forestales siguen jugando un papel socioeconómico destacado. En 2005 la Consejería de Medio Ambiente presentó un documento titulado *1ª Valoración Económica integral de los Ecosistemas Forestales de Andalucía* que recoge y cuantifica tres aspectos: productivo, recreativo y ambiental. El valor total estimado supera los 24 mil millones de €, de los que un 25,3% corresponden a los elementos constituyentes del aspecto productivo (madera, corcho, castaña, piñón, pastos, caza y viento), un 15,2 % a los elementos del aspecto recreativo (áreas y paisaje) y el 59,5% restante a los elementos constituyentes del aspecto ambiental: absorción de carbono y no-uso. Habría que destacar de dicho estudio el peso que adquiere la función ambiental de los ecosistemas forestales (casi el 60% del total) frente a los otros aspectos incluido el productivo.

### 3.2. Captura de CO<sub>2</sub> y Cambio Climático

Las plantas absorben el anhídrido carbónico a través de los estomas para la síntesis de carbohidratos y lo pierden como consecuencia de la respiración. Es necesaria la luz del sol para llevar a cabo parte de una serie de reacciones químicas complejas que se realizan en los cloroplastos de las células vegetales. El proceso de transformación del CO<sub>2</sub> en azúcares (primero azúcares simples y luego más complejos) requiere de la intervención de un enzima especializado denominado rubisco, que junto con la clorofila desempeña un papel crucial en la fotosíntesis, el proceso fundamental para el mantenimiento de la vida en la Tierra.

La importancia de los ecosistemas forestales en cuanto sumideros netos de carbono y por ello su papel primordial en cuanto a la mitigación del aumento de gases de efecto invernadero es conocido desde hace décadas. El Protocolo de Kyoto sobre Cambio Climático ratificado por España, (que entró en vigor el 16 de febrero de 2005) alude expresamente a la necesidad de proteger y mejorar las masas forestales en consonancia con su función en la lucha contra el calentamiento global (Jurado, 2006). Además, gran parte de nuestros bosques mediterráneos han sido sabiamente aprovechados y gestionados desde antiguo y se consideran en parte como modelos de desarrollo sostenible (Jurado, 2007). Andalucía dispone en la actualidad de una *Estrategia ante el Cambio climático* que fue adoptada en septiembre de 2002 y se ha creado un Panel de Seguimiento de la Estrategia constituido por expertos de diversas disciplinas.

A nivel mundial los bosques fijan grandes cantidades de carbono, retirándolo de la atmósfera. Desgraciadamente el secuestro de carbono por los bosques es mucho menor que el total de carbono emitido por la quema de combustibles fósiles, que es de 7 Gt (gigatoneladas = 10<sup>12</sup> Kg). Los cambios previstos en los modelos de simulación señalan que, en promedio, el 33% del área forestal mundial se verá afectada por cambios en la frecuencia e intensidad de los incendios forestales, la distribución del agua y la diversidad de la vida silvestre (IPPC, 2007). Así pues, la recurrencia de incendios, la sequía y los eventos climáticos extremos producirán cambios en las comunidades vegetales e incluso se provocarán fenómenos locales de extinción de las especies peor adaptadas (Valladares et. al., 2004). Un incremento de apenas 1°C puede causar cambios significativos en la composición y distribución de ciertas poblaciones vegetales, al modificar los umbrales fisiológicos de tolerancia a la temperatura y la pluviosidad (IPPC, 2007). Las especies menos resistentes a las nuevas condiciones climáticas serán sustituidas paulatinamente por otras. Curiosamente la encina, paradigma de especie esclerófila mediterránea, que ha dominado y domina aún muchos bosques de la Península, parece asistir a un lento declinar como consecuencia de ciertos factores como su baja eficiencia en el uso del agua durante largos periodos de sequía, su balance negativo de carbono durante el verano y, en definitiva, su escasa competitividad en condiciones de sequía intensa (Valladares et. al., 2004).

El cambio climático podría estar también relacionado con “la seca de las quercíneas” ya que el principal factor de incitación o detonación en el decaimiento de las especies del género *Quercus* es la sequía, o mejor dicho, la alternancia de períodos secos con períodos de precipitaciones abundantes y concentradas. La mortalidad de una parte importante de los encinares y alcornoques andaluces, si bien no es un fenómeno nuevo, supone un auténtico reto en cuanto a investigación y gestión de nuestros bosques mediterráneos.

Dada la gran importancia ecológica y paisajística de los ecosistemas mediterráneos en Andalucía y el grado de incertidumbre que se cierne sobre ellos y teniendo en consideración la capacidad de resistencia y adaptabilidad a los futuros cambios de las plantas leñosas mediterráneas, se está llevando a cabo un inventario de captaciones de CO<sub>2</sub> por los bosques y pastizales (no se han considerado los matorrales). La media de captaciones está en cerca de 5 t/ha de formación arbolada. Aunque se trata de un avance y los datos han de mejorar, en el estudio se destaca la importancia de los bosques de Andalucía en la mitigación del calentamiento global. A la espera de datos más precisos, los ecosistemas forestales andaluces fijan de media anual cerca de 200 millones de toneladas de dióxido de carbono, de las cuales el 74% se acumula en la biomasa aérea y el resto en la biomasa radical. La encina con el 36%, el pino piñonero (11,6%) y el alcornoque (10,7%) serían las especies con más capacidad de fijación, probablemente por la gran cantidad de árboles existentes de estas especies. **La Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático** incluye acciones de gestión forestal, restauración y mejora en 800.000 hectáreas tanto en los ecosistemas terrestres como en las praderas de fanerógamas del litoral marino de la comunidad y en la vegetación de zonas húmedas, si bien su grado de cumplimiento actual es bajo y habría que activar las medidas propuestas.

A nivel europeo se ha creado recientemente una red de observación a largo plazo en relación al cambio climático, constituida por numerosos científicos que pretenden el establecimiento de un sistema de alerta temprana, que permita anticipar los cambios en los ecosistemas y que facilite el flujo de información ecológica.

## Bibliografía

1. IPCC (2007). Cambio Climático 2007: Las bases Científicas y Físicas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
2. GARCÍA, L. 2000. Análisis de series termopluviométricas para la elaboración de modelos climáticos en el suroeste de España, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 160 pp, Sevilla.
3. JURADO, V. (2006). Los bosques andaluces ante el cambio climático: Reflexiones y propuestas . En: La Gestión forestal próxima a la Naturaleza. Actas de las 1as Jornadas sobre Bosques, Biodiversidad y Educación Ambiental. P. A. Tíscar (coord.): pp. 41-46. Consejería de Medio Ambiente, Jaén.
4. JURADO, V. (2007). Aprovechamientos tradicionales de los bosques mediterráneos: aspectos históricos y situación actual . En: Los montes andaluces y sus aprovechamientos: experiencias históricas y propuestas de futuro. E. Araque y J.D. Sánchez (eds): pp. 177-203. Universidad de Jaén, Jaén.
5. SOUSA, A. 2004. Evolución de la vegetación higrofitica y de los humedales continentales asociados en el litoral onubense oriental, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 550 pp, Sevilla.
6. VALLADARES, F., A. VILAGROSA, J. PEÑUELAS, R. OGAYA, J. CAMARERO, L. CORCUERA, S. SISÓ & E. GIL-PELEGRÍN (2004): Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía . En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. F. Valladares (ed.): pp 163--190. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.



# 7. Posibles efectos del cambio climático sobre la salud humana.

Julia Morales González.  
Departamento de Biología Vegetal y Ecología.  
Universidad de Sevilla.

## 1. Introducción

Según los informes realizados por distintos grupos de expertos, el cambio climático podría traer consigo una serie de riesgos para la salud como consecuencia de condiciones meteorológicas extremas, contaminación atmosférica y enfermedades transmitidas por vectores infecciosos. A lo largo de este capítulo veremos cómo nos pueden afectar cada una de ellas.

## 2. Temperaturas extremas

En los últimos años se ha podido comprobar que tanto el aumento de la temperatura como su disminución por debajo de unos valores umbrales, pueden provocar un aumento de la morbilidad y de la mortalidad. De hecho, existe una temperatura de disparo a partir de la cual se observa un incremento acusado de la mortalidad. Así por ejemplo, la temperatura máxima diaria a partir de la cual se observa un incremento acusado de la mortalidad en Madrid es de 36,5 °C (Díaz et al., 2002a), mientras que en Sevilla es de 41 °C (Díaz et al., 2002b). También se puede establecer una temperatura máxima diaria por debajo de la cual se dispara la mortalidad, en el caso de Madrid esta temperatura es de 6 °C.

La última ola de calor importante por su intensidad y duración fue la del verano del 2003. Esta ola de calor no sólo afectó a España sino también a los países del centro de Europa. Existen datos de distintos países que registran un aumento de la mortalidad durante ese periodo de calor extremo respecto al mismo periodo en años anteriores.

Así en Francia se incrementó la mortalidad en 14.800 personas, en Italia, 4.175 (entre los mayores 65 años), en Portugal en 1.316, en Gran Bretaña, 2.045 (Pirard, 2003), en España se incrementó en más de 6.000 (W.H.O. 2004, Martínez et al., 2004). En Navarra concretamente se produjo un aumento de la mortalidad del 23%; el Instituto de Salud Pública reconoció 12 personas fallecidas directamente relacionadas con la ola de calor (8 por golpe de calor y 4 por deshidratación) desconociéndose el número de fallecidos en los que pudo influir indirectamente el calor (Pejenaute, 2004).

En este sentido las previsiones no son muy halagüeñas ya que apuntan hacia un aumento de la frecuencia e intensidad de las olas de calor, especialmente en los primeros meses del verano (Hulme et al, 2002). Un estudio reciente elaborado para la ciudad de Lisboa (Dessai, 2003) evalúa el posible incremento de la tasa bruta de mortalidad relacionada con el calor para los años 2020 y 2050, prevé un incremento entre el 5,8 y 15,1 para el horizonte del 2020 y entre 7,3 a 35,6 para el de 2050.

### 3. Contaminación atmosférica

Se entiende por *contaminación atmosférica* la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (Estevan, M.T., 1989). De la definición anterior, por lo tanto, se deduce que una sustancia será contaminante o no dependiendo de los efectos que produzca sobre los receptores.

#### 3.1. Contaminantes químicos

Un estudio realizado en Francia, Suiza y Austria, indica que el 6% de la mortalidad y un número muy importante de nuevos casos de enfermedades respiratorias en estos países puede ser atribuido a la contaminación atmosférica. La mitad de este impacto es debido a la contaminación emitida por vehículos a motor (Künzli et al, 2000). En un reciente informe se ha estimado que la contaminación atmosférica es responsable del 1,4% de muertes en todo el mundo (Cohen et al, 2003).

En España, los resultados del análisis conjunto de los datos disponibles de 13 de las 16 ciudades incluidas en el proyecto EMECAS, indican que un incremento de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  en los niveles de humos negros se asoció con un aumento del 0,8% en el número de defunciones diarias. También se ha encontrado una asociación significativa entre la mortalidad y el resto de contaminantes, fundamentalmente para las enfermedades respiratorias (Ballester et al., 2003). Pero además hay que tener en cuenta el impacto de la contaminación atmosférica sobre las mujeres gestantes que puede dar como resultado un retraso en el crecimiento intrauterino y un bajo peso del recién nacido, así como un incremento en la mortalidad infantil (Lacasaña et al., 2005). Entre los niños europeos de hasta 4 años de edad, entre el 1,8 al 6,4% de todas las muertes serían atribuibles a la contaminación atmosférica en exteriores, y el 4,6% al aire contaminado del interior de edificios (Valent et al., 2004).

Por otro lado, parece ser que existe un mayor efecto de algunos de los contaminantes atmosféricos durante los meses más cálidos como el  $\text{SO}_2$  (Ballester et al., 1996, Michelozzi et al., 1998), las partículas (Biggeri et al. 2001, Ballester et al, 2001) o el ozono (Sartor et al., 1995) sobre la mortalidad y morbilidad cardiovascular. En el proyecto europeo APHEA (Air Pollution and Health: an European Assessment) se encontró que tanto la temperatura media anual, como la ubicación de la ciudad tenían un papel modificador del efecto de la contaminación sobre la mortalidad. Esta relación entre el mayor efecto de algunos contaminantes con una temperatura más cálida podría ser debido a una mayor exposición total de la población, al pasar más tiempo en la calle, mantener las ventanas abiertas (Katsouyanni, 1995); a una mayor susceptibilidad individual (Pekkanen et al., 2000) o incluso a la mayor permanencia de las personas de más edad en las ciudades (Biggeri et al., 2001).

La concentración de los contaminantes atmosféricos depende de su producción y de su dispersión. El cambio climático puede afectar a cualquiera de los dos procesos anteriores. La posible mayor frecuencia de fenómenos anticiclónicos puede hacer disminuir la dispersión de los contaminantes. El aumento de la temperatura se correlaciona muy directamente con un incremento en las concentraciones de ozono, e indirectamente con un incremento de las emisiones de contaminantes por el consumo mayor de energía debido a los sistemas de aire acondicionado, refrigeración y conservación de alimentos y otros productos. Este aumento en las temperaturas puede traer consigo un incremento en el número e intensidad de incendios forestales; el humo producido en estos incendios está relacionado con el incremento de procesos respiratorios entre la población afectada.

### 3.2. Aeroalérgenos

Cuando hablamos de contaminación atmosférica en lo primero que pensamos es en los contaminantes químicos, pero según la definición de contaminante, tanto el polen como las esporas de hongos se encuadran en esta categoría, ya que pueden producir un efecto no deseable sobre sus receptores; son por lo tanto contaminantes biológicos.

En los países industrializados, los casos de polinosis han aumentado considerablemente durante los últimos años. Recientemente en Madrid se ha observado como un incremento en las concentraciones de polen de gramíneas y llantén en el aire del percentil 95 al 99 se asocia significativamente con un incremento en el número de visitas a Urgencias hospitalarias por asma del 17 y 16% respectivamente. También se encontró una asociación con el polen de Urticáceas, aunque en este caso el porcentaje fue inferior (Tobías et al., 2003).

No sólo el aumento de las extensiones de especies anemófilas influyen en este incremento de la rinitis y el asma bronquial alérgica; también lo hace una mayor exposición a los contaminantes químicos. Fundamentalmente, el dióxido de azufre y el nitrógeno contribuyen a la inflamación de la mucosa pituitaria aumentando su permeabilidad, favoreciendo por tanto la penetración de los alérgenos. Existe una relación causa-efecto entre el aumento de los contaminantes y los problemas respiratorios, así como una mayor sensibilidad de las personas alérgicas a la contaminación (Kagamimori et al., 1986). Kaneko et al. (1980) hallaron que la proporción de rinitis alérgica entre los niños en distritos contaminados por los humos de los vehículos era marcadamente superior a la de los distritos no contaminados. Masaharu Muranaka et al. (1986) en experimentos con ratones, encontraron que las partículas de los escapes de los motores diesel potencian la producción de IgE contra sustancias alérgicas aisladas del polen del cedro japonés.

Por otra parte, un incremento de la temperatura media anual podría adelantar o

alargar el periodo polínico para algunas especies con capacidad alergógena. De hecho, diferentes trabajos han puesto de manifiesto un adelanto generalizado de la estación polínica de diferentes especies en la Europa Occidental. Así, en el caso del polen de abedul (*Betula*), género muy alergógeno, existe una tendencia al adelanto progresivo de la estación polínica que en el caso del Reino Unido es de 5 días por década. Si las tendencias se mantienen en los próximos 10 años se adelantará 6 días más en ciudades como Londres, París, Lyon, Bruselas, Zurich o Viena, lo cual tiene un efecto sobre la longitud de la estación alérgica y por lo tanto sobre la salud (Emberlin et al., 2004). En el caso del polen del cedro japonés (*Cryptomeria japonica*) este adelanto ha sido mucho más llamativo, entre 20-30 días desde 1983 al 2003 (Teranishi et al., 2004).

El incremento de los niveles de CO<sub>2</sub> también podría afectar a la producción de polen, hecho que se ha demostrado experimentalmente obteniéndose un aumento en la producción total por planta de polen de Ambrosía (*Ambrosia artemisiifolia*), uno de los tipos polínicos más agresivos (Rogers, et al., 2004).

En cuanto a las esporas de hongos, un incremento de las temperaturas favorece el aumento en la atmósfera de la concentración de algunas de los tipos más alergógenos como es el caso de las esporas de *Alternaria* (Morales, 2004).

Vemos por tanto cómo los cambios en el clima debido al calentamiento global pueden incrementar la abundancia de polen y esporas alergógenas y plantear un riesgo significativo para la salud.

#### **4. Enfermedades transmitidas por vectores infecciosos**

El rebrote de la mayor parte de enfermedades infecciosas está condicionado por cambios evolutivos y medioambientales que pueden afectar a la interacción entre el patógeno y su vector, su hospedador intermediario y su reservorio o bien a la relación entre patógeno, vector y hospedador con las condiciones medio ambientales.

Un cambio de temperatura puede influir en la mayor o menor supervivencia del vector, condiciona la tasa de crecimiento de la población de estos, puede modificar la susceptibilidad del vector al patógeno, modifica el periodo de incubación del patógeno en el vector y cambia la actividad y el patrón de la transmisión estacional.

En cuanto a las precipitaciones, un aumento podría incrementar el número de criaderos de vectores y un aumento de la densidad vegetal que proporcionaría cobijo y alimento a los roedores hospedadores intermediarios. Sin embargo, las inundaciones eliminarían el hábitat de vectores y vertebrados. Las sequías por un lado favorecerían la formación de remansos en los ríos lo que aumentaría los lugares

de cría, y por otro provocarían una mayor deshidratación del vector lo que le obligaría a alimentarse con mayor frecuencia, dando lugar a un mayor número de picaduras. Otros factores que pueden afectar al resurgimiento de este tipo de enfermedades infecciosas son: el desarrollo urbano, la deforestación, los planes de irrigación y abastecimiento de aguas, la intensificación agrícola, la contaminación química, el incremento del comercio internacional y los movimientos de poblaciones.

#### 4.1. La malaria

Es considerada la más importante de todas las enfermedades parasitarias que afectan al hombre, se caracteriza por producir unos picos febriles y escalofríos cada dos o tres días. El parásito, un protozoo del género *Plasmodium*, es transmitido por la picadura de las hembras de mosquitos del género *Anopheles*. La duración de la metamorfosis de estos mosquitos desde su fase de huevo a la fase adulta varía según la temperatura ambiental, desde 7 días a 31°C hasta 20 días a 20°C. Las puestas de los huevos se realizan al 4-5 día de vida del mosquito y se repiten cada 2-3 días coincidiendo con la picadura en busca de sangre. Una vez que el mosquito es infectado puede transmitir el parásito durante toda su vida, que puede ser desde 4 semanas hasta 6 meses en algunas especies de zonas templadas. La temperatura óptima para el desarrollo del mosquito es de 20-27°C y de 22-30°C para el parásito.

La malaria existió en Europa hasta mediados de s.XIX, prevaleciendo en el sur hasta pasada la II Guerra Mundial debido a la pobreza y la falta de desarrollo. En los años 90 se produjo un brote en el sur de la antigua Unión Soviética, debido a casos importados por las tropas procedentes de Afganistán. Esporádicamente se describe algún caso autóctono como el ocurrido en Italia en el que se han registrado casos de transmisión local de *P.vivax* y donde la densidad anophelina ha aumentado (Baldari, et al., 1998).

España fue un país endémico hasta hace muy poco, siendo el área de Doñana uno de los últimos focos de la enfermedad en Europa Occidental (Sousa et al., 2006). El último caso de paludismo autóctono se registró en 1961 y hasta 1964 no se expidió el certificado oficial de erradicación de la enfermedad. Desde entonces todos los casos declarados han sido importados o bien inducidos por transfusiones o intercambio de jeringuillas. En la actualidad, el 85 % de los casos de malaria detectados corresponden a pacientes que provienen del centro y oeste de África (Rubio et al., 1999).

El único vector potencial en España es *Anopheles atroparvus* con una población muy extendida, aunque resistente a las cepas tropicales de *P.falciparum* lo que limita la transmisión autóctona a partir de casos adquiridos en el África subsahariana (Ramsdale y Coluzzi, 1975).

Existe una gran polémica entorno a la re-emergencia de esta enfermedad. Algunos investigadores relacionan su expansión o retroceso con cambios en el clima (Loevinsohn, 1994; Mouchet et al., 1998; Martens, 2000), como el *Calentamiento Global*. Si bien otros cuestionan este tipo de análisis por imprecisos (Reiter, 2004), alarmistas (Bate, 2004) o por no tomar en consideración los datos históricos de la enfermedad (Reiter, 1998 y 2000).

En el caso español, el informe preliminar sobre el impacto del cambio climático considera que el restablecimiento de la malaria es muy improbable mientras no haya un deterioro drástico de las condiciones sociales y económicas, aunque no descarta la transmisión local y de carácter esporádico, así como la posibilidad de que vectores africanos susceptibles a las cepas de *Plasmodium* tropicales puedan invadir el sur de la Península Ibérica.

#### 4.2. Otras enfermedades

Existen otras muchas enfermedades susceptibles de ver afectada su área de distribución como consecuencia del Cambio Climático, como por ejemplo el dengue, la leishmaniosis, el tifus murino o distintas encefalitis víricas.

El establecimiento de estas enfermedades en España puede potenciarse debido a que se trata de una zona de tránsito de aves migratorias y personas que proceden del continente africano. Si las temperaturas siguen subiendo es muy posible que disminuya la mortalidad invernal de los vectores transmisores de estas enfermedades. Además si los inviernos son más cálidos y lluviosos se favorecerá la proliferación de vectores tropicales y subtropicales. Pero no debemos olvidar que para el establecimiento de verdaderas zonas endémicas necesitaríamos, además, un deterioro de las condiciones socio-económicas e higiénico-sanitarias.

### 5. 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. BATE, R. (2004). "Climate Change and Mosquito-Borne Disease: causal link or green alarmism?" American Enterprise Institute for Public Policy Research March-April 2004 pp.1-6.
2. BALDARI, M., et al. (1998). "Malaria in Maremma, Italy", *Lancet* 351, pp. 1246-1247.
3. BALLESTER, F., et al. (1996). "Air Pollution and Mortality in Valencia, Spain: a Study using the APHEA Methodology", *Journal of Epidemiology and Community Health* 50, pp. 527-533.
4. BALLESTER, F., et al. (2001). "Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain". *Journal of Epidemiology and Community Health* 55, pp.57-65.
5. BALLESTER, F., et al. (2003). "Relación a corto plazo de la contaminación atmosférica y la mortalidad en trece ciudades españolas", *Medicina Clínica* 121, pp.684-689.
6. BIGGERI, A., et al. (2001). "Meta-analysis of the Italian Studies on Shortterm Effects of Air Pollution", *Epidemiologia & Prevenzione* 25(2).
7. DESSAI, S. (2003). "Heat stress and mortality in Lisbon. Part II: an assessment of the potential impacts of climate change", *International Journal of Biometeorology* 48 pp.37-44.
8. DÍAZ, J., et al., (2002a). "Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly", *International Archives of Occupational and Environmental Health* 75 pp. 163-170.
9. \_\_\_\_ (2002b). "Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997", *International Journal of Biometeorology* 46 pp.145-149.
10. EMBERLIN, J., et al, (2004). The impact of recent climate changes in Europe on the start of *Betula* (birch) pollen seasons in seven countries, *Polen* (14) pp.89-90.
11. ESTEVAN, M.T., (1989). *Evaluación del Impacto Ambiental*, Fundación Mafre 2ª ed.
12. HULME, M., et al, (2002). *Climate change scenarios for the United Kingdom: the UKCIPO2 scientific report*, Norwich, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia.
13. KAGAMIMORI, S. M., et al, (1986). "The changing prevalence of respiratory symptoms in atopic children in response to air pollution", *Clinical Allergy* 16 pp. 299-308.
14. KANEKO, S., et al, (1980). "Nasal allergy and air pollution", *Oto-Rhino-Laryngology Tokyo* 23 (4) pp. 270.
15. KATSOUYANNI, K. (1995). "Health effects of air pollution in southern Europe: are there interacting factors?", *Environmental Health Perspectives* 103 Suppl 2 pp. 23-27.
16. KÜNZLI, N., et al, (2000). "Public Health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment", *Lancet* 356 pp. 795-801.

17. LACASAÑA, M., et al, (2005). "Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects", *European Journal of Epidemiology* 20: pp. 183-189.
18. LOEVINSOHN, M.E. (1994). "Climatic warming and increase malaria incidence in Rwanda", *Lancet* 343 (8899) pp. 714-718.
19. MARTENS, P. (2000). "Malaria and Global Warming in Perspective?", *Emerging Infectious Diseases* 6 (3) pp. 313-314.
20. MARTÍNEZ, F., et al, (2004). "Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad". *Gaceta Sanitaria* 18 pp. 250-258.
21. MASAHARU, M., et al, (1986). "Adjuvant activity of diesel-exhaust particulates for the production of Ig E antibody in mice", *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 77 (4) pp. 616-623.
22. MICHELOZZI, P., et al, (1998). "Air pollution and daily mortality in Rome, Italy", *Occupational and Environmental Medicine* 55 pp. 605-610.
23. MORALES, J. (2004). Estudio aerobiológico de las esporas de hongos en la atmósfera de Sevilla y su relación con las variables climáticas", tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
24. MOUCHET, J., et al, (1998). "Evolution of Malaria in Africa for the past 40 year: impact of climate and human factors", *Journal of the American Mosquito Control Association*. 14 (2) pp.121-130.
25. PEJENAUTE, J, M., (2004). La ola de calor de agosto de 2003 en Navarra, En: *El Clima, entre el mar y la montaña*. Santander. Asociación Española de Climatología. pp. 105-114.
26. PEKKANEN, J., et al, (2000). "Daily concentrations of air pollution and plasma fibrinogen in London", *Occupational and Environmental Medicine* 57 pp. 818-822.
27. PIRARD, P. (2003). "Heat wave: a climatic deadly phenomena that can be prevented", *Enfermedades Emergentes* 5 pp.145-146.
28. RAMSDALE, C.D y COLUZZI, M. (1975). "Studies on the infectivity of tropical African strains of *Plasmodium falciparum* to some southern European vectors of malaria", *Parassitologia* 17 pp. 39-48.
29. REITER, P. (1998). "Global-warming and vector-borne disease in temperate regions and at high altitude", *The Lancet* 351 pp. 839-840.
30. \_\_\_\_ (2000). "From Shakespeare to Defoe: Malaria in England in the Little Ice Age, *Emerging Infectious Diseases* 6 (1) pp. 1-11.
31. \_\_\_\_ (2004). "Global warming and malaria: a call for a ccuracy", *The Lancet* 4 pp. 323-324.
32. ROGERS, C.A., et al, (2004). Spring germination date and CO2 concentration influences pollen production in ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). *Polen* (14) pp.91-92.

33. RUBIO, J.M., et al, (1999). "Usefulness of seminested multiplex PCR in surveillance of imported Malaria in Spain", *Journal of Clinical Microbiology* 37 (10) pp. 3260-3264.
34. SARTOR, F., et al, (1995). "Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium", *Environmental Research* 70 pp. 105-113.
35. SOUSA, A., et al, (2006). "Los humedales del SW de España (litoral oriental onubense) como vínculo entre la malaria y los cambios climáticos más recientes", En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Zaragoza. Asociación Española de Climatología. pp. 709-719.
36. TERANISHI, H., et al, (2004). Global warming and the earlier start of Japanese-cedar (*Cryptomeria japonica*) pollen season in Toyama, Japan, *Polen* (14) pp.90.
37. TOBIÁS, A., et al, (2003). "Short-term Effects of Ambient Oxidant Exposure on Mortality: A Combined Analysis within the APHEA Project", *American Journal of Epidemiology* 146(2) pp. 177-185.
38. VALENT, F., et al, (2004). "Burden of disease attributable to selected environmental factors and injury among children and adolescents in Europe", *Lancet* 363 (9426) pp. 2032-2039.
39. W.H.O. (2004). Heat-Waves: risks and responses. *Health and Global Environmental Change*, Series No.2.



# 8. Cambio Climático y sostenibilidad.

Javier Navarro Luna.  
Dpto. de Geografía Física y AGR.  
Universidad de Sevilla.

## 1. Introducción

La problemática ambiental está alcanzando en los últimos años un gran nivel de difusión y discusión, en ámbitos muy dispares, desde los foros universitarios, las administraciones públicas, las empresas, los medios de comunicación o la vida cotidiana del conjunto de ciudadanos. Así somos cada vez más conscientes del progresivo deterioro del entorno en el que vivimos, ya sea desde una visión global o planetaria hasta una más próxima o local. Pero a pesar de que los síntomas y el diagnóstico están claros resulta difícil progresar en la resolución de los conflictos medioambientales, porque ello, en esencia, supone cambiar muchas cosas, desde la reestructuración de sistemas y sectores productivos hasta la modificación de hábitos y comportamientos en nuestra sociedad.

## 2. ¿Cuál es la percepción del ciudadano?

El ciudadano percibe los problemas ambientales de muy diferentes maneras, tanto en la identificación de problemas como en la escala en la que estos más influencia tienen. Además varía mucho en el tiempo la identificación de los problemas, así ocurre con el cambio climático, por ejemplo, cuando al final del VI Congreso Nacional de Medioambiente (CONAMA), en el año 2002, se pasó una encuesta a los participantes, preguntándoles cuáles eran los principales problemas medioambientales en España, se identificaron como principales la degradación del litoral, la contaminación del agua, los residuos industriales o la erosión y desertización del territorio, mientras que otras cuestiones que hoy son de intensa actualidad, como el cambio climático o la pérdida de biodiversidad, ocupaban posiciones bastante más alejadas. Sin embargo, el empuje mediático de los últimos años ha hecho que en el último CONAMA (2006) el cambio climático surge como el problema medioambiental más relevante y se hace hincapié en que estamos no sólo ante un problema de modelo energético sino que estamos ante un problema más amplio, de modelo de desarrollo.

Esta situación también persiste en Andalucía. Si tomamos la encuesta sobre actitudes y conductas relacionadas con el medio ambiente (*Ecobarómetro de Andalucía*) del año 2006, la principal preocupación de los andaluces es el paro y la economía (77,1%), mientras que las preocupaciones medioambientales se relegan a una posición intermedia y más alejada (21,4%). Ahora bien la percepción varía según la escala espacial, de tal manera, que se percibe mayoritariamente (66,6%) como mala o muy mala la situación ambiental a nivel mundial, mientras que el entorno más próximo, local o regional, tan sólo percibe como mala o muy mala el 28,3% y el 23,2% respectivamente.

La identificación de los problemas también varía sustancialmente y está en relación con experiencias concretas vividas. Así en el entorno local dominan los derivados

del modo de vida urbana - ruido, suciedad en las calles, falta de zonas verdes, residuos sólidos urbanos -, mientras que en el entorno regional los principales problemas medioambientales son los incendios forestales (60,8%) y la escasez de agua (47,9%), sin aparecer mencionado siquiera el cambio climático como problema ambiental regional. Sin embargo éste sí aparece para el 44,2% de los encuestados como uno de los principales problemas a nivel mundial, junto a la destrucción de la capa de ozono (47,6%).

Esta situación demuestra lo importante que resultan las campañas de educación ambiental, donde además de concienciar a la población se les facilite suficiente información y se les forme sobre las posibles acciones que podemos realizar para mitigar los efectos de la degradación ambiental. En definitiva no lograremos corregir los problemas ambientales sino es, desde la implicación directa del conjunto de la sociedad, identificando con claridad las causas y consecuencias y adoptando nuevas actitudes y comportamientos, de los que ya en el propio ecobarómetro los encuestados asumen favorablemente (como por ejemplo el reciclaje y el ahorro energético).

Pasemos pues a identificar los conceptos de cambio climático y sostenibilidad.

### 3. Cambio climático

Se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (art. 2 de la Convención Marco de la ONU sobre Cambio Climático).

Este concepto recoge una de las características del clima; su variabilidad, que ha permitido que a lo largo de la historia se hayan sucedido diversos períodos de “cambio climático”. La novedad reside en que en el balance energético que sostiene el sistema climático (Sol-atmósfera-hidrosfera-litósfera-biosfera) y en el que debe existir un equilibrio, la Tierra debe emitir tanta energía como la que absorbe del Sol. Ésta se hace en forma de radiaciones de onda larga, de la que una parte sale al exterior y otra es absorbida por la atmósfera, que o bien la reenvía a la superficie o sale directamente hacia el exterior. Este es el denominado efecto invernadero natural. Sucede que a este proceso natural la actividad antrópica de la era industrial origina la emisión de gases (denominados GEI; gases de efecto invernadero) cuya acumulación en las capas bajas de la atmósfera produce un calentamiento, incrementando sustancialmente el efecto invernadero. Se ha llegado a contabilizar en algunos estudios ese incremento. Así en los últimos 200 años el nivel de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ha crecido un 30%, el metano ( $\text{CH}_4$ ) ha crecido un 150% y el óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Este proceso continuado de crecimiento de los GEI y los posibles efectos sobre el clima motivó en el año 1988 la creación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, que es en la actualidad el organismo asesor de la ONU para el cambio climático. Su trabajo se centra en la elaboración de informes de evaluación a partir de investigaciones de científicos de todo el mundo. Cuatro han sido los realizados hasta el momento (1990, 1995, 2001 y 2007) y en cada uno de ellos se hace especial hincapié en los posibles daños medioambientales. Veamos algunos de ellos a través de las conclusiones del Informe de 2001: Aumento de la temperatura entre 1,4 y 5,8 °C durante el período 1990-2100; crecimiento del nivel del mar 9-88 cm durante el período 1990-2100; cambio en el régimen de distribución de precipitaciones; endurecimiento de las sequías, en particular en el sur de Europa; mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos. Para el caso de España un reciente trabajo (vid. El clima en España) certifica una subida de temperaturas medias, significativamente mayores en verano que en invierno, y una mayor amplitud y frecuencia de anomalías térmicas mensuales. En las precipitaciones se observa una tendencia generalizada a la disminución del total anual, así como una mayor reducción en los meses de primavera.

Esta visión científica se enriqueció con el enfoque economicista que aportó, en octubre de 2006, el informe Stern al cuantificar los costes económicos (entre un 5 a un 10% anual del PIB mundial) de las consecuencias del cambio climático y los costes y beneficios (el coste se reduciría al 1% del PIB mundial anual) de las posibles medidas para reducir las emisiones de GEI que lo causan.

La constatación científica del proceso de cambio climático y de sus consecuencias ambientales, junto a la cuantificación económica que supondría para los Estados, permite trasladar del campo técnico al campo político la iniciativa de frenar el deterioro y degradación de nuestro entorno natural. De esta manera la sostenibilidad como política de acción alcanza su mayor significación en las estrategias de reducción de los GEI.

#### **4. Sostenibilidad y desarrollo sostenible**

Está generalmente aceptado considerar que la sostenibilidad es aquella condición que se puede mantener de forma indefinida sin disminución progresiva de la calidad. En un sistema como el climático en el que interaccionan diversos entornos (atmósfera-hidrosfera-litosfera-biosfera) estaríamos de acuerdo en que su aplicación supone alcanzar un cierto equilibrio entre sus componentes (ya sean naturales o humanos). Es en cierta medida algo similar al concepto más utilizado aplicado al desarrollo –el desarrollo sostenible–, como aquel “desarrollo económico y social que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades” (Informe Brundtland, 1987). Término

de gran éxito desde entonces y más al ser tomado como referente a partir de la Cumbre de Río, en 1992, y en posteriores conferencias internacionales. De hecho en gran medida aquí se fraguaron las bases de la actuación política en programas de acción a diferentes escalas espaciales como el Protocolo de Kyoto, la carta de Aalborg o la más reciente (2006) Estrategia Europea de Desarrollo Sostenible, donde éste se constituye como objetivo del conjunto de políticas de la UE en aras, entre otras, de la protección medioambiental y del fomento económico, y entre cuyos pilares básicos destacan la conservación y gestión de los recursos naturales y el cambio climático y energías limpias.

Junto a la definición de estrategias políticas de desarrollo sostenible, es igual de importante considerar que gran parte del problema reside en el actual modo de vida de nuestra sociedad, centrado en el alto consumo de recursos naturales. Por ello hay que incidir mediante la sensibilización y concienciación del problema ambiental a través de la educación. De hecho en la conferencia de Estocolmo de 1972, surge el enfoque de la educación ambiental como recurso e instrumento para resolver el problema medioambiental. Así en sus conclusiones se cita como “indispensable una educación en valores ambientales... para ensanchar las bases de una opinión pública bien informada y de una conducta de los individuos, de las empresas y de las colectividades, inspirada en el sentido de la responsabilidad en cuanto a la protección y mejoramiento del medio en toda su dimensión humana”. Enfoque que continúa en la conferencia de Belgrado (1975), al definirse sus metas y objetivos entre los que destaca la preocupación por “formar una población consciente y preocupada por el medio y por los problemas relativos a él”. En la década de los ochenta diversas conferencias y reuniones fueron consolidando la importancia y necesidad de una educación en valores ambientales, aspectos que fueron recogidos en la Cumbre de Río y más concretamente en la Agenda 21, en cuyo capítulo 36 se expresa la necesidad de “fomento de la educación, capacitación y toma de conciencia; estableciéndose tres áreas de programas: la reorientación de la educación hacia el desarrollo sostenible, el aumento de la conciencia del público, y el fomento a la capacitación. En la actualidad el programa de la UNESCO, Década por una educación para el desarrollo sostenible (2005-2014), impulsa este enfoque al tomar como objetivo principal la integración de los principios, valores y prácticas del desarrollo sostenible en todas las facetas de la educación y del aprendizaje, afín de cambiar las conductas necesarias para preservar el medio ambiente y la viabilidad económica.

## **5. Análisis espacial de políticas de desarrollo sostenible y cambio climático**

Los programas de acción política para frenar el cambio climático desde la perspectiva del desarrollo sostenible, presentan líneas de actuación (estrategias) bien marcadas y diferenciadas según la escala territorial de aplicación. Vamos a exponer de manera

sintética algunas de esas iniciativas:

A escala planetaria en mayo de 1992 un total de 154 países se adhirieron al tratado internacional –Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático- con la finalidad de fijar medidas para frenar el calentamiento del planeta y mitigar las consecuencias ambientales, promoviendo entre otras el desarrollo sostenible. En 1997 se incorporo una adición al Tratado –el Protocolo de Kyoto- que introduce de manera efectiva medidas a cumplir, al ser ya un documento vinculante, cuyo incumplimiento supone sanciones de carácter económico. Su entrada en vigor se hace cuando lo ratifiquen 55 países que representen el 55% de las emisiones del año 1990<sup>1</sup>. Los compromisos de los países<sup>2</sup> se deben alcanzar entre otras medidas con el apoyo a un desarrollo sostenible, al fomento de actividades que aumenten la absorción de carbono (sumideros) y al incentivo a otras fuentes de energía.

La UE ha puesto en marcha la Estrategia para un Desarrollo Sostenible como instrumento eficaz en la consecución de los objetivos del Protocolo de Kyoto. En este documento se plantea como grandes objetivos la elaboración de una política climática basada en el incentivo a las energías renovables, la innovación y adaptación tecnológica de sectores como la aviación o la automoción, y el impulso a la eficiencia energética (con un ahorro del 20%). De manera concreta la estrategia establece y fija una serie de indicadores de sostenibilidad capaces de analizar y seguir el grado de sostenibilidad en los países europeos y permite que se puedan realizar estimaciones objetivas sobre la situación en esos espacios.

Para el caso español muchos han sido los estudios, informes, documentos sobre sostenibilidad realizados en España, en los últimos años, entre ellos caben destacar aquellos realizados por asociaciones o fundaciones, de carácter independiente, con la finalidad de elaborar una serie de indicadores que presentasen de forma analítica y lógica el estado de sostenibilidad de un territorio. Es el caso del Segundo Informe de Sostenibilidad Andalucía 2005 realizado por la Fundación EOI y la Asociación Observatorio Ambiental de Andalucía. En él la evaluación se presenta en “términos de ecoeficiencia de los sectores económicos de mayor relevancia..., a través del estado y la tendencia de la relación sistema económico-medio ambiente”. En sus conclusiones se destaca la insuficiencia de los datos estadísticos para medir la sostenibilidad, y aun más la información relacionada con ciertos aspectos ambientales, toda vez que resalta el escaso conocimiento de variables como la capacidad de carga de la región, la emisión de gases de efecto invernadero, de sustancias acidificantes y superficie de suelo artificializado, volumen de ciertos tipos de residuos generados.

Otro hecho relevante es la creación del Observatorio de la Sostenibilidad<sup>3</sup>. En sus inicios se elaboró un Informe donde se recogía por primera vez en un trabajo de forma conjunta, una serie de indicadores que analizaban los distintos requisitos para

el desarrollo sostenible, valorando su situación en España. En el Segundo Informe se incorpora además un bloque destinado al Cambio Global, considerando sus tres componentes más significativos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la desertificación. En conclusión la visión Sintética del Informe ofrecida por el apartado Evaluación Integrada nos muestra una realidad desfavorable sobre el grado de sostenibilidad de los parámetros analizados (ecoeficiencia regional y sectorial, calidad ambiental, análisis de flujos y uso de recursos...).

En el ámbito local resalta una iniciativa europea de gran relevancia: la Carta de Aalborg (1994). firmada inicialmente por 80 autoridades locales y 253 representantes de otras instituciones para impulsar la sostenibilidad ambiental en las ciudades, a través de estrategias locales de sostenibilidad en los diferentes ámbitos propios de las ciudades (economía urbana, gestión municipal, transporte, ocupación del suelo, infraestructuras y equipamientos urbanos, consumo ... ). En España a fecha de junio de 2002 habían firmado un total de 409 municipios (Hernández Aja, A.) la mayoría de ellos grandes ciudades que suponían más de la mitad de la población española. Junto a esta iniciativa merece resaltar la implementación en un gran número de municipios españoles y andaluces la Agenda 21 Local, iniciativa que surge de la Conferencia de Río (1992) y que representa un programa hacia la gestión municipal coincidente con el desarrollo sostenible y la protección ambiental. Su implementación se lleva a cabo en diferentes fases<sup>4</sup> y en la mayoría de casos nos encontramos aún por finalizar por completo. Por último indicar que en Andalucía se creó la Red de ciudades sostenibles de Andalucía con un total de 332 municipios adheridos y cuya primera acción ha sido la puesta en marcha del programa de sostenibilidad ambiental “ciudad 21” con el objetivo de promover diagnósticos rigurosos de la calidad ambiental urbana que permitan la planificación estratégica e integral de actuaciones a nivel local, y la definición de una serie de indicadores de sostenibilidad (en este caso se han sumado 111 ciudades andaluzas).

## 6. ¿Soluciones?

Parece claro que seguir por la senda de un modelo de desarrollo que consume tal cantidad de recursos naturales nos llevaría a una degradación ambiental irreversible, que pondría en peligro la propia supervivencia de los seres vivos del planeta. Es necesario un cambio de las políticas gubernamentales, de las empresas, un cambio de las mentalidades y conductas de los estudiantes y sociedad en general. Establecer medidas de ahorro energético y de eficiencia en su uso (transporte público, electrodomésticos eficientes, aislamiento térmico del hogar...). Fomento del uso racional de los recursos naturales (energía, agua, suelo...) por las empresas e instituciones públicas. Para el conjunto de la sociedad impulsar campañas de información, sensibilización y concienciación del coste ambiental en la actualidad. Proponer conductas proambientales con el fomento del reciclaje, uso compartido del

transporte privado e incentivo del público, ahorro de agua y energía, en definitiva adoptar un nuevo modelo de comportamiento más responsable y racional en el uso de los recursos naturales, que nos permita a nosotros y a nuestro hijos seguir disfrutando de nuestro maravilloso planeta azul.

## Notas

1 Ésta se hace efectiva el 16 de febrero de 2005 tras la ratificación de Rusia.

2 La UE en conjunto acordó reducir un 8% las emisiones, que para el caso de España es el de incrementar en un 15% sobre el nivel de 1990. Estos objetivos se contabilizan para el período 2008-2012.

3 El observatorio de la Sostenibilidad (OSE) es “una institución independiente que recopila, elabora y evalúa la información básica sobre sostenibilidad del país, teniendo siempre presente sus distintas dimensiones (social, económica y ambiental). Investigamos sobre nuevos indicadores y modelos. Y establecemos escenarios y tendencias, prestando especial atención a los estudios de prospectivas” (Luis Jiménez Herrero, Director del OSE, en VIII Congreso Nacional de Medio Ambiente, pág. 189.).

4 Tomando como ejemplo el municipio de Mairena del Aljarafe (Sevilla) éstas fases son: Análisis del estado actual (factores sociales y económicos; factores ambientales; factores organizativos) Diagnóstico ambiental > Foro de participación pública > Plan de Acción Ambiental > Plan de Difusión y Plan de Seguimiento y Control.

## Bibliografía

1. Estrategia para un Desarrollo Sostenible . COM (2005) 658 final/2 (Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento relativa a la revisión de la estrategia).
2. INFORME CONAMA 2006 Los retos del desarrollo sostenible en España, en [www.conama8.org](http://www.conama8.org).
3. INFORME STERN: La economía del cambio climático (documento en pdf) en [www.hm.treasury.gov.uk/Independent\\_Reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm.treasury.gov.uk/Independent_Reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm).
4. VV.AA. (2005): “El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI”, en Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente.
5. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
6. [www.mma.es](http://www.mma.es) Portal del ministerio de medio ambiente con amplia información sobre documentos, informes y estudios sobre el cambio climático y la sostenibilidad.
7. [unfccc.int/porta1\\_espagnol/items/3093.php](http://unfccc.int/porta1_espagnol/items/3093.php) Versión española del sitio web de la secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático.
8. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org) Observatorio de la sostenibilidad en España.





# Sobre los autores.

## **Leoncio García Barrón.**

Dr. en Física. Profesor del Departamento de Física Aplicada II de la Universidad de Sevilla. Investigador sobre variabilidad climática. Autor de artículos en revistas y ponente en congresos nacionales e internacionales. Coordinador del proyecto “Evolución climática y sus posibles impactos ambientales en áreas sensibles de Andalucía” subvencionado por la Consejería de Medio Ambiente.

## **Pablo García Murillo.**

Profesor del Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Especialista en flora y vegetación acuática. Autor de varios géneros de plantas acuáticas en la “Flora Vascular de Andalucía Occidental”, participante en el macroproyecto “Flora Ibérica”. Investigador sobre los macrófitos acuáticos en Doñana y sobre los cambios históricos en la vegetación de la marisma y el paisaje del sector de El Abalarío.

## **Vicente Jurado Doña.**

Biólogo. Dr. en Geografía. Profesor del Área de Ecología de la Universidad Pablo de Olavide. Investigador y divulgador acerca del bosque mediterráneo.

## **Julia Morales González.**

Dra. en Farmacia. Profesora del Departamento Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla. Investigadora en Aerobiología. Autora de artículos publicados en revistas internacionales y libros y capítulos de libros, Ponente en congresos nacionales e internacionales. Participante en varios proyectos de investigación I+D de ámbito nacional sobre aerobiología; investigadora acerca de los efectos climáticos y ambientales sobre la salud.

## **Javier Navarro Luna.**

Dr. en Geografía. Profesor Titular de Análisis Geográfico Regional en la Universidad de Sevilla. Coordinador del Proyecto “Aula de Sostenibilidad” de la Universidad de Sevilla. Miembro del Grupo de investigación “Estudios Territoriales y Desarrollo”. Participa en los proyectos de investigación sobre: educación ambiental y sostenibilidad; desarrollo y recuperación de áreas rurales en declive; problemática de los incendios forestales en Andalucía. Autor de ponencias en revistas y capítulos de libros.

## **Arturo Sousa Martín.**

Dr. en Biología. Profesor del Departamento Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Sevilla. Especializado en el estudio de las consecuencias del cambio climático sobre los humedales. Autor de varios libros, y numerosos artículos de revistas nacionales e internacionales. Es investigador principal de un proyecto nacional sobre el riesgo de re-emergencia de malaria en Andalucía asociado al calentamiento global.



[www.unia.es](http://www.unia.es)

**un**  
**i** Universidad  
Internacional  
de Andalucía  
**A**