

Los retos medioambientales del siglo XXI

La problemática de la conservación
de la biodiversidad en España

Montserrat Gomendio Kindelán (ed.)

Fundación **BBVA**

Í N D I C E

Presentación	
1. La acción humana y la crisis de biodiversidad	
<i>Miguel Delibes</i>	
1.1. Introducción	
1.2. Mucha gente y muy gastosa	
1.3. La especie humana se adueña de la biosfera	
1.4. Cambios en los ciclos biogeoquímicos	
1.5. Modificando el elenco de actores	
1.6. Las consecuencias: el cambio global	
1.7. La Sexta Extinción	
1.8. Los mecanismos de extinción	
1.9. Biodiversidad y servicios ecosistémicos	
1.10. Referencias	
2. El incierto futuro del Águila Imperial ibérica	
<i>Miguel Ferrer</i>	
2.1. Introducción	
2.2. El origen de la especie	
2.3. Estatus de la población	
2.4. Análisis metapoblacional y expectativas de persistencia de la especie	
2.5. Reintroducciones con «hacking»	
2.6. Bibliografía	
3. ¿Cuál es la situación real de las poblaciones de lince?	
<i>F. Palomares y A. Rodríguez</i>	
3.1. Introducción	
3.2. Distribución pasada del lince ibérico	
3.3. Distribución reciente y tamaño de población del lince ibérico ..	

3.4. Área de distribución y estado de conservación en el género <i>Lynx</i>	
3.5. Causas biológicas que han llevado al lince ibérico a su estado de conservación.....	
3.6. Literatura citada.....	
4. Situación actual y problemas de conservación de la Avutarda	
<i>Juan Carlos Alonso</i>	
4.1. La Avutarda, ejemplo extremo de selección sexual.....	
4.2. La caza y sus efectos en el pasado.....	
4.3. Amenazas actuales: los tendidos eléctricos.....	
4.4. Las transformaciones agrícolas.....	
4.5. Presente y futuro de la Avutarda.....	
4.6. Agradecimientos.....	
4.7. Bibliografía.....	
5. Quebrantahuesos. El retorno de la extinción	
<i>Gerardo Báguena, J. A. Gil, O. Díez, L. Lorente y R. Antor</i>	
5.1. Distribución y estatus actual de la población europea.....	
5.2. Principales amenazas.....	
5.3. Protección legal.....	
5.4. Bibliografía.....	
6. Biodiversidad marina	
<i>José Templado</i>	
6.1. Introducción.....	
6.2. Características de la biodiversidad marina.....	
6.3. Las cifras de la biodiversidad.....	
6.4. La biodiversidad hipotética.....	
6.5. Conclusión.....	
6.6. La biodiversidad marina en España.....	
6.7. Amenazas.....	
6.8. Conservación.....	
6.9. Bibliografía.....	

7. Las extinciones del pasado (claves paleontológicas para la conservación de la biodiversidad)	
<i>Luis Alcalá Martínez</i>	
7.1. Casi todas las especies que han existido están extinguidas (y las que ahora existen lo estarán)	
7.2. Estoy extinto, luego existí	
7.3. Tragedia cretácica (para algunos) ¿... en un acto?	
7.4. Las cinco grandes	
7.5. Lecciones del pasado	
7.6. No queremos ser los próximos	
7.7. Referencias	
8. Consecuencias ecológicas del cambio climático	
<i>Juan José Sanz</i>	
8.1. Introducción	
8.2. Cambio climático	
8.3. Cambio climático y viabilidad de poblaciones	
8.4. Cambio climático y distribución de las especies	
8.5. Cambio climático y consecuencias fenológicas	
8.6. Recapitulación: respuestas ecológicas ante el reciente cambio climático	
8.7. Agradecimientos	
8.8. Lecturas recomendadas	
8.9. Bibliografía	
9. El componente histórico en la estimación de la Biodiversidad y en otras facetas de la Biología	
<i>Gonzalo Nieto Feliner</i>	
9.1. Introducción	
9.2. Importancia del componente histórico en la Biología	
9.3. Reconstrucción filogenética	
9.4. Bibliografía	
10. La desaparición de los anfibios, algo más que una pérdida de diversidad taxonómica	
<i>Mario García París</i>	
10.1. Los anfibios y la crisis de la biodiversidad	
10.2. El problema particular de los anfibios	

10.3. ¿Qué perdemos al perder a los anfibios?	
10.4. Diversidad que se pierde incluso antes de ser descubierta	
10.5. Bibliografía	
11. La problemática de las especies cinegéticas en la conservación de la biodiversidad	
<i>Juan Carranza Almansa</i>	
11.1. Resumen	
11.2. Manejo del hábitat mediterráneo: producción y conservación	
11.3. La cuestión de las densidades adecuadas en las poblaciones de caza mayor: el ciervo en ecosistemas mediterráneos	
11.4. Conservación de las características genéticas de las especies de caza: el ejemplo del ciervo ibérico	
11.5. Referencias	
12. Beneficios y riesgos de los avances en la biotecnología	
<i>Miguel Vicente</i>	
12.1. Los fundamentos de la ingeniería genética	
12.2. Células madre	
12.3. Manipulación genética y terapia génica	
12.4. Animales transgénicos	
12.5. Cultivos transgénicos	
12.6. Terrorismo biológico	
12.7. El camino hacia la medicina del futuro	
12.8. Referencias	
13. Animales transgénicos	
<i>B. Pintado, A. Gutiérrez-Adán, A. Jiménez, R. Fernández y P. Moreira</i>	
13.1. Tipos de transgénesis	
13.2. Sistemas de obtención de animales transgénicos	
13.3. Aplicaciones de los animales transgénicos	
13.4. Animales transgénicos y salud	
13.5. Animales transgénicos y Medio Ambiente	
13.6. Bibliografía	

14. Biotecnología de la reproducción y conservación de especies en peligro de extinción	
<i>Eduardo R. S. Roldán y J. Julián Garde</i>	
14.1. Introducción.....	
14.2. Biotecnologías reproductivas.....	
14.3. ¿Cuáles son las biotecnologías reproductivas que pueden utilizarse para conservar la biodiversidad?.....	
14.4. Conclusiones.....	
14.5. Agradecimientos.....	
14.6. Bibliografía.....	
15. Eliminación biológica de contaminantes	
<i>Juan Luis Ramos y Estrella Duque</i>	
15.1. El flujo continuo de la vida.....	
15.2. Algunos conceptos en biodegradación.....	
15.3. Rutas catabólicas.....	
15.4. Manipulación de una ruta modelo de degradación de 3-clorobenzoato.....	
15.5. Rutas híbridas para la degradación de nitroaromáticos....	
15.6. Referencia.....	
Glosario.....	

8. Consecuencias ecológicas del cambio climático

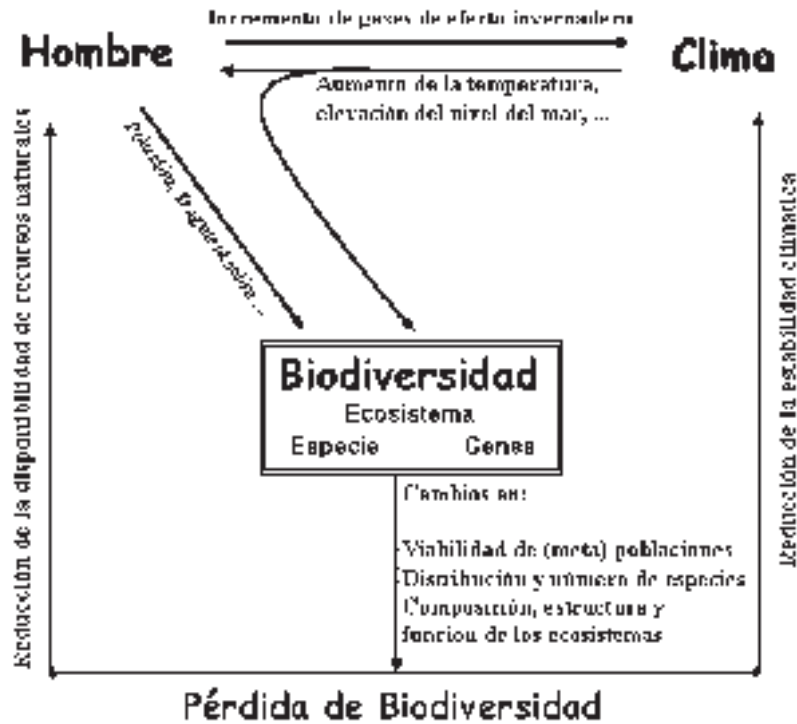
Juan José Sanz

Departamento de Ecología Evolutiva,
Museo Nacional de Ciencias Naturales
(Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

8.1. Introducción

El reciente cambio climático, definido como cualquier cambio temporal del clima debido a causas naturales o como resultado de las actividades humanas, ha sido sugerido como una potencial amenaza para la biodiversidad a escala global. En comparación a otras amenazas, como pueden ser los cambios en el uso de la tierra, los efectos directos del cambio climático sobre la biodiversidad parecen ser más difíciles de detectar. Por otro lado, este efecto del cambio climático puede incrementar el efecto de otras amenazas para la biodiversidad, como pueden ser la contaminación, fragmentación o pérdida del hábitat. La acción conjunta de todas estas amenazas producidas por el hombre actúan sobre la biodiversidad a tres niveles: individual o genético, de especie y de ecosistema. Los resultados son una pérdida de biodiversidad por cambios en la viabilidad de meta-poblaciones, cambios en la distribución y número de especies, o en la estructura, composición y función de los ecosistemas (figura 8.1).

FIGURA 8.1: Esquema de las consecuencias del cambio climático sobre la biodiversidad



8.2. Cambio climático

Hoy día, el cambio climático global es uno de las temáticas más utilizadas por los políticos, periodistas y por la comunidad científica. Cambio climático ha sido definido como cualquier cambio temporal del clima sobre la tierra, debido a causas naturales o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2001).

Una de las variables meteorológicas que se pueden analizar con relación al cambio climático es la temperatura, debido a que está bastante extendido el protocolo de toma de datos y porque existe un registro temporal directo o indirecto bastante amplio. Durante el siglo xx, la temperatura media global ha aumentado unos 0,6 °C (Huang *et al.*, 2000), y la comunidad científica asegura que las actividades humanas están contribuyendo significativamente a este calentamiento global (Stott *et al.*, 2000). A es-

cala global es muy probable que la década de los años 90 haya sido la más cálida desde se inicia el registro instrumental en 1861 (Huang *et al.*, 2000). El mayor calentamiento ha sido localizado en los continentes situados entre los 40° y 70° de latitud norte (Wallace *et al.*, 1996). Este incremento de la temperatura en los continentes del hemisferio norte es inusual en el contexto de la reconstrucción de los últimos 1.000 años, en base a datos paleoclimáticos (Crowley, 2000). Por otro lado, la precipitación media se ha incrementado entre un 0,5 a 1% por década durante el siglo XX sobre las latitudes medias y altas de los continentes del hemisferio norte (IPCC, 2001). En estas latitudes, se ha detectado no sólo un aumento de la temperatura y de las precipitaciones, sino un incremento en la frecuencia de eventos extremos (IPCC, 2001).

Los informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2001) se refieren a los últimos 100.000 años, en los que efectivamente estamos viviendo en la época más cálida de este periodo (figura 8.2). Estos datos se han obtenido en base al análisis del aire acumulado en pequeñas burbujas en el hielo antártico, en concreto bajo la base Vostok (Petit *et al.*, 1999). Debido a las oscilaciones térmicas, hay variaciones en las características isotópicas del agua, que se enriquecerá o empobrecerá en el isótopo más ligero o pesado del oxígeno (^{16}O , ^{18}O), y esto queda reflejado en el aire capturado dentro del hielo durante su formación. Estos datos obtenidos por sondeo han permitido reconstruir la temperatura de la tierra durante los últimos 420.000 años (Petit *et al.*, 1999; Petit *et al.*, 2001). Si echamos la vista atrás, veremos que la tierra ha pasado por periodos incluso más cálidos que el actual y entremedias se ha soportado temperaturas medias bastante bajas durante las glaciaciones (figura 8.3). Una de las características de los periodos interglaciares es su relativa corta duración (figura 8.3).

Actualmente, estamos en un periodo interglaciar que se está prolongando más de lo habitual (IPCC, 2001), con respecto a los periodos registrados durante los últimos 420.000 años (figura 8.3). Incluso se está incrementando la temperatura media de la tierra de forma muy marcada desde 1980 (figura 8.4). ¿Pero cuales son los orígenes de estos cambios en la temperatura global terrestre?

FIGURA 8.2: La evolución de los cambios de temperatura mundial en relación a la temperatura media actual durante los últimos 100.000 años. Los datos se han obtenido al analizar el aire acumulado en pequeñas burbujas en el hielo antártico bajo la base Vostok (Petit *et al.*, 2001)

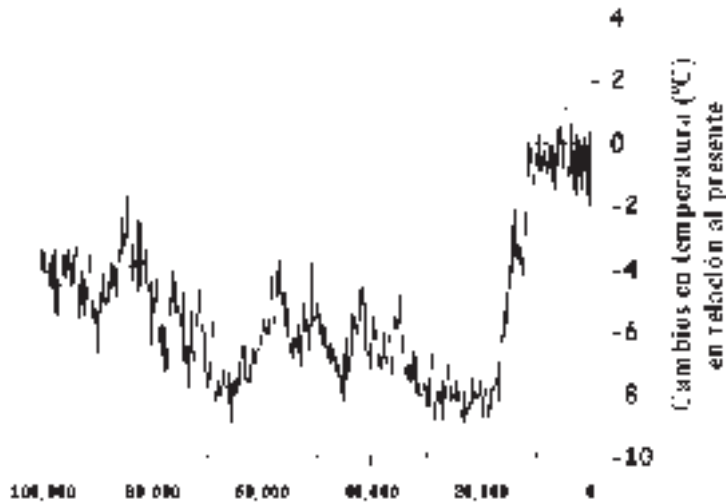


FIGURA 8.3: La evolución de los cambios de temperatura mundial en relación a la temperatura media actual durante los últimos 420.000 años. Los datos se han obtenido al analizar el aire acumulado en pequeñas burbujas en el hielo antártico bajo la base Vostok (Petit *et al.*, 2001)

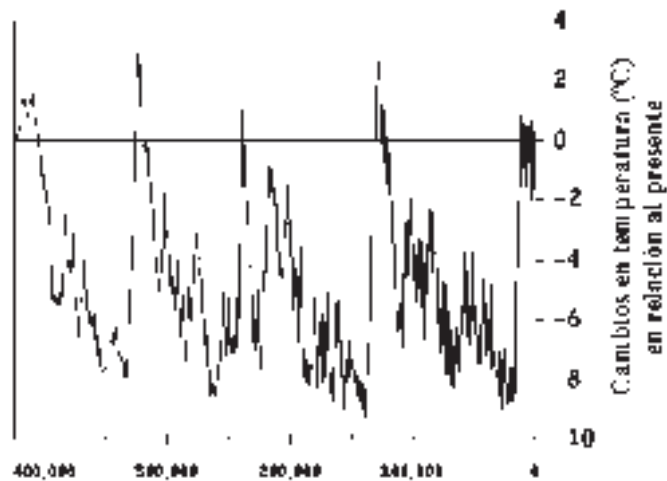
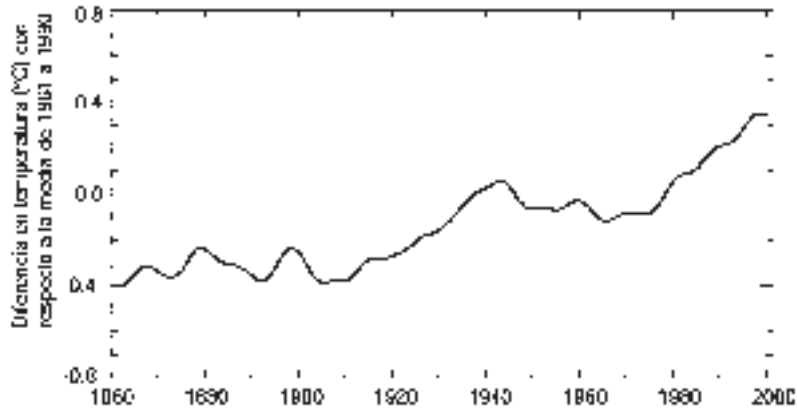


FIGURA 8.4: Cambios en la temperatura media global en relación a la temperatura media durante el periodo de 1961 a 1990 desde que se inicia el registro instrumental en 1861 (IPCC, 2001)



En principio, los cambios climáticos observados en el pasado son consecuencia de las perturbaciones del balance entre la radiación recibida del sol y la radiación emitida por nuestro planeta (ver una revisión en Balairón, 2000). El sistema tierra-atmósfera se comporta como un emisor perfecto al igualar la radiación solar neta absorbida (unos 340 W/m^2) con la radiación saliente emitida en infrarrojo. El resultado es que la temperatura media de la superficie terrestre es de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ y no de $-18 \text{ }^\circ\text{C}$, que es la temperatura media de la superficie de un planeta sin atmósfera. Este hecho ha sido uno de los factores decisivos que ha permitido el desarrollo de las distintas formas de vida, y se debe principalmente a la existencia en la atmósfera de los gases con efecto invernadero. Estos gases (vapor de agua, CO_2 , etc.) absorben parte de la radiación emitida desde la tierra y la reenvían a la superficie terrestre, dando como resultado el calentamiento de las capas bajas de la atmósfera. Las alteraciones del equilibrio son potenciales causas de cambio climático (Balairón, 2000). Estas alteraciones pueden ser clasificadas según su origen natural o como resultado de las actividades humanas. Los principales factores naturales que han producido cambios en el clima de la tierra son:

- a) La aparición de la vida en la tierra, al modificarse la composición de la atmósfera por la aparición de los organismos anaerobios y aerobios.
- b) Movimientos históricos de las placas litosféricas que provocan cambios en la circulación oceánica.
- c) Las variaciones naturales de la «constante solar» (ciclo de unos 11 años).
- d) Las variaciones en los parámetros orbitales de la tierra (ciclo de Milankovitch), como son la precesión (rotación del eje de giro de la tierra alrededor de la normal; ciclo de unos 25.000 años), oblicuidad del eje terrestre (varía entre $24,60^\circ$ y $21,98^\circ$; ciclo de unos 40.000 años) y excentricidad de la órbita terrestre (paso de elipse a casi una circunferencia; ciclo de unos 92.000 años). Las variaciones en estos parámetros explican la existencia de los ciclos glaciares.
- e) Los impactos de meteoritos que incrementan los aerosoles presentes en la atmósfera, con una consiguiente dispersión de la radiación recibida. Estos aerosoles además facilitan la formación de las nubes.
- f) Cambios producidos por la actividad volcánica, principalmente el incremento de aerosoles en la atmósfera.

Como causas resultado de las actividades humanas que han producido alteraciones en el sistema tierra-atmósfera tenemos:

- a) Variaciones en la superficie terrestre debido a la deforestación o desertización, que provocan un cambio en el albedo (reflexión) de la superficie.
- b) Variaciones en la concentración de aerosoles en la atmósfera procedentes de la actividad humana.
- c) Variaciones en la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera debido principalmente a la quema de combustible fósiles y la deforestación.

Recientemente, Stott y colaboradores (2000) han mostrado que los factores de origen natural que producen cambio climático pueden explicar las variaciones de la temperatura global

desde el inicio del registro instrumental (1861) hasta la década de los años 80. Sin embargo, el incremento de la temperatura de la superficie terrestre desde 1980 se explica mejor por los factores que son resultado de la actividad humana, primordialmente el incremento en las concentraciones de gases con efecto invernadero.

Los principales gases con efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4), que se caracterizan por tener una vida media larga, que fluctúa desde los 12 años para el metano hasta miles de años para algunos compuestos perfluorados. Es decir, su periodo de actividad como agentes del efecto invernadero puede ser muy largo y variable. Por los registros conocidos, a partir de los datos suministrados del aire en el hielo antártico, sabemos que existe una relación casi perfecta entre la cantidad de CO_2 en la atmósfera y la temperatura media de la misma durante los últimos 150.000 años (IPCC, 2001). Esto no quiere decir que esta sea una relación causa-efecto, pero si nos indica que al incrementarse la temperatura de la tierra, se incrementa la concentración de CO_2 o viceversa. La concentración atmosférica de CO_2 , el más abundante de los gases de efecto invernadero, ha aumentado desde las 220 ppmv en la era pre-industrial hasta más de las 380 ppmv que se registran en la actualidad. Su concentración actual ha alcanzado los mayores valores de los últimos 420.000 años, el periodo del cual tenemos información contrastable obtenida del análisis de muestras de hielo.

Desde mediados del siglo XVIII, las actividades humanas asociadas con el desarrollo industrial y económico, la utilización de los combustibles fósiles y el crecimiento demográfico mundial, han modificado la composición natural de la atmósfera, principalmente, al aumentar las concentraciones de gases de efecto invernadero de forma acelerada (IPCC, 2001). De hecho, las mayores cantidades de emisiones gaseosas de origen industrial se producen entre los 40 y 70 °N de latitud, lo que supone que el 66% de la población humana mundial no tiene impacto alguno en el clima de la tierra. El problema se plantea cuando el incremento de la población humana está, desde el inicio de la era industrial, en una fase de crecimiento acelerada, sobre todo en las

regiones menos desfavorecidas. Se ha pasado de los 900 millones de personas en el año 1800 a los actuales 6.200 millones y se prevé que para el año 2075 alcancemos los 10.000 millones de humanos. Este incremento de la población humana representa un aumento exponencial en la demanda energética y si se siguen utilizando las mismas fuentes de energía, representará un aumento acelerado de las emisiones de gases con efecto invernadero, con el consiguiente efecto sobre el clima de la tierra.

El mantenimiento de las emisiones por parte de la humanidad en los niveles actuales conducirá a una tasa casi constante de aumento de las concentraciones, y se prevé que llegará a duplicarse el CO₂ atmosférico para finales del siglo XXI. Como ya hemos visto, esto se verá reflejado en un incremento de la temperatura que, estimado bajo distintos escenarios, podría llegar a ser de hasta unos 6 °C para el presente siglo XXI. Incluso si los países desarrollados siguieran las propuestas más restrictivas que las aprobadas en las reuniones internacionales (Protocolo de Kioto), las emisiones globales para finales de este siglo podrían duplicarse, sobre todo si los países en vías de desarrollo y con una población que aumenta exponencialmente, no adoptan medidas correctoras.

Toda esta problemática, y ante los escenarios de un incremento de la temperatura global terrestre propuestos por el IPCC (2001), han motivado a los biólogos y ecólogos a profundizar en el conocimiento de cómo ha afectado el reciente cambio climático a la biodiversidad, para poder predecir los cambios que se van a vivir en un futuro cercano. De hecho, en la actualidad el cambio climático es considerado como una amenaza más para la biodiversidad y su estudio se enmarca por lo tanto dentro de la biología de la conservación.

8.3. Cambio climático y viabilidad de poblaciones

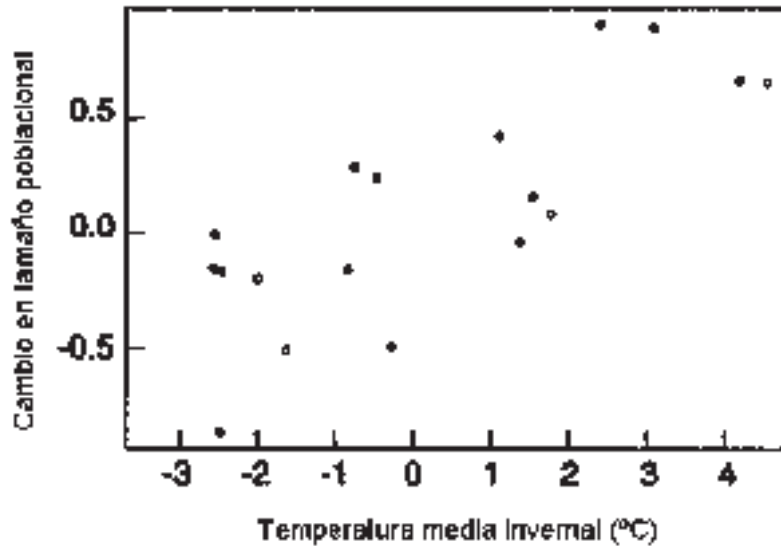
La dinámica de población de los animales está bastante determinada por las fluctuaciones meteorológicas que experimentan. Como ejemplo, mostraré los principales resultados de un estudio realizado con el Mirlo Acuático (*Cinclus cinclus*) en Noruega

(Sæther *et al.*, 2000). Este ave, de unos 50 a 60 gr. de peso, vive muy ligada a los cursos de los ríos, en donde obtiene sus presas, pequeños invertebrados e insectos acuáticos. Desde 1978, un grupo de investigadores han censado el número de parejas reproductoras en ríos de Noruega en un área de 60 Km. El principal resultado de este trabajo metodológico y concienzudo es que la población presenta una fuerte fluctuación entre años consecutivos y un incremento considerable durante los últimos 20 años (Sæther *et al.*, 2000). Una de la preguntas a resolver era qué factores podían determinar estas fluctuaciones en la población reproductora. La mayor fluctuación en años consecutivos fue el paso en 1993 a 1994, ya que se pasó de tener 120 parejas reproductoras a apenas 45 parejas.

Como muchos estudios en este campo, partimos de observaciones en un pasado reciente y no podemos realizar un diseño experimental para obtener resultados claros sobre la relación causa-efecto. Es decir, sólo podemos hacer una serie de correlaciones, bajo predicciones claras y observar si nuestras predicciones se cumplen. Esto quiere decir, que podemos proponer las causas que producen los efectos observados, pero que si queremos saber si esto es así, deberíamos diseñar y realizar algún tipo de experimento. En el estudio que nos ocupa, un factor importante para la mortalidad de estas aves, son las condiciones invernales. En inviernos muy fríos se produce una gran mortandad de individuos, sobre todo jóvenes de la primavera anterior, al helarse los cursos de agua e impedir esto el acceso al alimento por parte de las aves. Los investigadores observaron que existe una correlación positiva entre el incremento de población observado y la temperatura media durante el invierno precedente (figura 8.5).

Ante un efecto del cambio climático, incremento de la temperatura media invernal, es posible predecir un incremento de la población de mirlos acuáticos en estos ríos de Noruega. Esto parece un efecto positivo para la especie, pero acarrea respuestas negativas a nivel ecológico. El incremento de la densidad de Mirlos Acuáticos en estos ríos conlleva un incremento de la presión de depredación sobre los invertebrados acuáticos. Esto puede provocar un descenso en los tamaños poblacionales de

FIGURA 8.5: Cambio anual de la población reproductora de Mirlo Acuático en Noruega en relación a la temperatura media invernal (Sæther *et al.*, 2000)

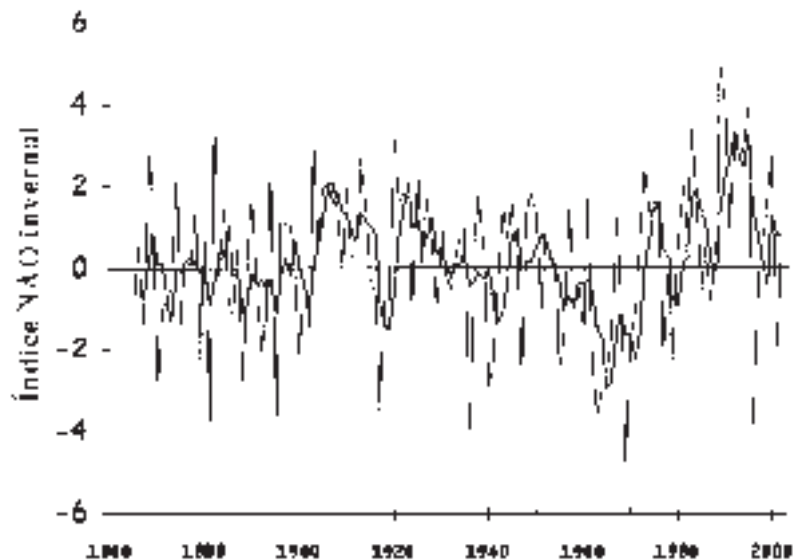


otras especies, efectos denso-dependientes para la propia especie y un incremento de la competencia con otras especies dependientes de los mismos recursos tróficos. Los investigadores noruegos predicen que para el caso de las poblaciones bajo estudio se prevé que ante un aumento a largo plazo de 2,5 °C se podría incrementar la población de Mirlos Acuáticos en un 58% en el sur de Noruega.

Las condiciones invernales en Europa son determinantes sobre la estación reproductora posterior. Así se sabe que la posición e intensidad de la baja presión situada en Islandia y el anticiclón de las Azores determinan las condiciones invernales en el Paleártico occidental. Esto se ha simplificado en el índice NAO invernal (figura 8.6; NAO: Oscilación del Atlántico Norte; Hurrell, 1995).

Este índice se mide como la diferencia entre ambas presiones durante el invierno. Se habla de un invierno con un valor medio de NAO positivo (valor medio mensual desde diciembre a marzo) cuando las altas presiones de los trópicos y las bajas presiones subárticas se intensifican. Esto conlleva un invierno seco y cálido

FIGURA 8.6: Variación temporal del índice NAO invernal desde 1864 hasta la actualidad (datos obtenidos de <http://www.cgd.ucar.edu/~jhurrell/nao.stat.winter.html>). La línea más gruesa es la unión de la media de 4 años



en el área del Mediterráneo, y un invierno húmedo con muchas tormentas y cálido en el norte de Europa. Por otro lado, un invierno con un valor de NAO negativo, se debe a que las bajas presiones son menos intensas y se mueven hacia el sur. Esto conlleva un invierno húmedo y frío en el área del Mediterráneo, y seco y frío en el norte de Europa. Este índice NAO invernal tiene efectos sobre la costa del Atlántico norte del continente americano, sobre la circulación oceánica del océano Atlántico e incluso, en la temperatura del océano Ártico (Hurrell, 1995). El índice NAO invernal se sabe que explica un buen porcentaje de las fluctuaciones de temperatura durante la primavera observadas en Europa desde el inicio del registro instrumental (Hurrell, 1995). En general, podemos afirmar que un índice NAO invernal positivo se relaciona con un periodo de incremento de temperaturas en Europa (Hurrell, 1995). Desde la década de los 80 estamos en un periodo en que generalmente este índice alcanza valores positivos (figura 8.6).

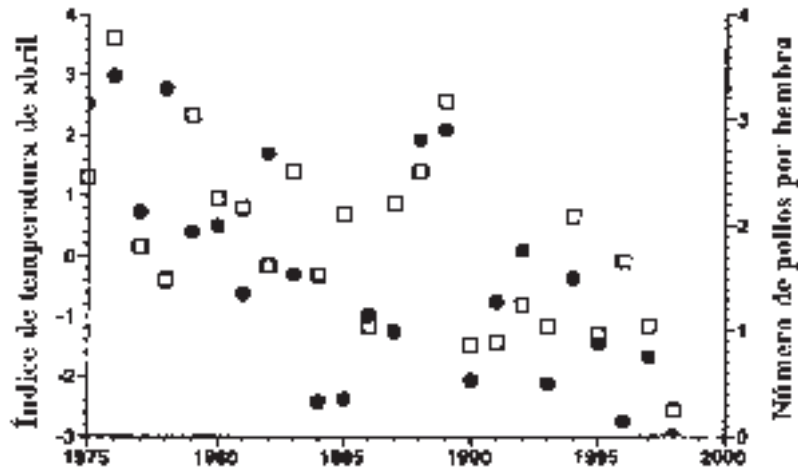
El índice NAO invernal ha sido utilizado para estudiar el efecto de las condiciones climáticas a gran escala sobre la dinámica de población de diversos ungulados en el hemisferio norte (Post y Stenseth, 1999). Así se ha observado que varias especies de ungulados (Ciervo Común *Cervus epaphus*, Oveja de Soay *Ovis aries*, Cabra *Capra sp.*, Buey Almizclero *Ovibos moschatus*, Caribú *Rangifer tarandus* y Ciervo de Cola blanca de Minneosta *Odocoileus virginianus*) en varias poblaciones en los países escandinavos, Groenlandia, y este de Norteamérica, presentan una reducción en sus efectivos poblacionales tras un invierno con un índice NAO positivo (Post y Stenseth, 1999). Es decir, cuando los inviernos son cálidos pero muy húmedos, con gran frecuencia de tormentas y nevadas, se produce una reducción de las poblaciones en estas regiones. En algunas poblaciones, este efecto se detecta después de dos o tres años. Esta reducción de la población se puede producir por la dificultad en la obtención de alimento durante el invierno, debido a la mayor frecuencia de nevadas.

En el hemisferio norte se predice un aumento de la frecuencia de inviernos con valores del índice NAO invernal positivos. Esto acarreará un aumento de la mortalidad de adultos en muchas poblaciones de ungulados del norte de su distribución. Por otro lado, se ha detectado que los individuos jóvenes de estas especies y poblaciones incrementan su fecundidad tras un invierno con índice NAO positivo. Esto se puede deber a dos razones, la primera por una reducción de la población que facilita que las hembras jóvenes puedan acceder más fácilmente a machos de mejor calidad y por otro lado por la mejora de las condiciones de alimento durante la primavera y verano posterior al invierno. Un invierno cálido, pero muy húmedo, produce una posterior explosión vegetal que permite a estas hembras obtener buenas reservas para iniciar la reproducción. Por lo tanto, el escenario de cambio climático para estas poblaciones también afecta a los individuos que son capaces de reproducirse, produciéndose un mayor número de descendientes por parte de los individuos jóvenes y un menor aporte de los individuos más viejos que presentan una tasa de mortalidad mayor.

Otro ejemplo del efecto del cambio climático sobre la dinámica poblacional ha sido estudiado en Escocia con el Urogallo

(*Tetrao urogallus*, Moss *et al.*, 2001). Este estudio, además es un excelente ejemplo de como la variación temporal de las temperaturas dentro de una misma estación, en este caso la primavera, tiene un efecto sobre la dinámica poblacional. En Escocia, se lleva observando un descenso muy marcado de esta especie forestal y varias han sido las hipótesis propuestas para explicarlo. Sin embargo, se ha sugerido que la causa principal de esta reducción es el cambio climático (Moss *et al.*, 2001). Desde 1975, se viene observando que existe una disminución muy marcada de la densidad poblacional y del número medio anual de pollos que las hembras son capaces de sacar adelante con éxito (figura 8.7). Por ejemplo, en 1998 ningún pollo nacido consiguió sobrevivir al año siguiente (figura 8.7). Después de descartar otros factores, como puede ser la pérdida de hábitat o competencia con otras especies, se ha concluido que los cambios meteorológicos durante el mes de abril pueden ser la causa del descenso poblacional.

FIGURA 8.7: Relación temporal del índice de temperatura de abril (cuadrado; valor negativo = temperatura más baja a mediados de abril) y del número medio de pollos (círculo negro) que se emancipan por hembra de Urogallo en Escocia (Moss *et al.*, 2001)



El inicio de la primavera se está adelantando en la zona de estudio y los urogallos adelantan el inicio de su reproducción. Sin embargo, en el periodo en el cual las hembras tienen que buscar

alimento para sus pollos (mediados de abril) se ha observado que la temperatura media tiende a ser más fría en la zona de estudio con el paso de los años (valor negativo del índice de temperatura de abril en la figura 8.7). Este hecho, parece haber determinado el menor éxito reproductor de las aves al dificultar la búsqueda de alimento para sus pollos. Este descenso de la temperatura a mediados de abril determina su menor éxito reproductor, que se ha visto reflejado en un descenso de la población (Moss *et al.*, 2001).

Como vemos existen factores climáticos que afectan a la dinámica poblacional. Estos factores climáticos presentan variabilidad geográfica y también variabilidad temporal dentro de localidades que pueden ser muy importantes para las especies (ejemplo, el caso del Urogallo en Escocia).

8.4. Cambio climático y distribución de las especies

Otro efecto del cambio climático, del cual existe una amplia bibliografía, es aquel que se produce sobre la distribución geográfica de las especies. La distribución de plantas y animales se ha visto alterada en muchos casos por las actividades humanas, ya que muchos cambios se han debido a la destrucción o alteración del hábitat. Sin embargo, en unos pocos casos, los cambios en la distribución de las especies se pueden explicar más parsimoniosamente por una correlación con recientes cambios en el clima.

Tanto en plantas, como en animales, su distribución está muy marcada por las condiciones climáticas óptimas para su supervivencia. Los efectos del cambio climático sobre la distribución de estos organismos siempre se han producido de forma asimétrica, es decir, se presentan en la misma dirección. Por un lado, se produce un movimiento en altitud por el cual las especies tienden a colonizar nuevas áreas de mayor elevación. Por otro lado, las especies tienden a ocupar áreas más septentrionales en su distribución y retraer o no la parte más meridional de su distribución geográfica.

Un ejemplo de cambios altitudinales se ha observado en las plantas que viven en los Alpes (Grabherr *et al.*, 1994). Al comparar los datos obtenidos con registros históricos de especies de plantas en 26 montañas de los Alpes suizos, se observó que la riqueza de especies en relación con la altitud se ha incrementado en los últimos 40 a 90 años, y que este cambio era consistente con el calentamiento de las zonas de estudio (Grabherr *et al.*, 1994). En concreto, para 9 especies con un registro histórico más detallado, se pudo estimar un avance en elevación de 1 a 4 m por década durante el pasado siglo (Grabherr *et al.*, 1994). Estos avances eran menores que los 8 a 10 m por década que se calcularon en base a los cambios en temperatura, demostrando que las plantas no respondían rápidamente a los cambios en el clima (Grabherr *et al.*, 1994). En las montañas, los cambios de la temperatura en altitud son comparativamente mayores que los producidos en latitud, por lo que cambios más rápidos en las comunidades de organismos son esperados bajo un escenario de cambio climático.

Existe más información sobre los efectos del cambio climático sobre los cambios latitudinales en la distribución geográfica de las especies. En el caso de especies marinas que presentan una gran movilidad el efecto ha sido detectado en distintas regiones. El efecto del cambio climático se traduce en un aumento de la temperatura del agua que facilita la colonización por parte de especies de aguas más cálidas o la desaparición de especies que requieren aguas más frías. Diversos estudios con distintos grupos taxonómicos (invertebrados, peces) han demostrado la existencia de estos cambios en la distribución de organismos marinos. Así se han detectado efectos en el Golfo de León y mar de Liguria dentro del mar Mediterráneo, y en las costas de California. En un estudio realizado en las costas de California se estudió la comunidad de especies de invertebrados intersticiales en el periodo 1931-33 y 1993-94 (Barry *et al.*, 1995). Se observó que la abundancia de 8 de 9 especies meridionales había aumentado, que para 5 de 8 especies septentrionales había disminuido, y que para las especies cosmopolitas no existía una tendencia detectable (Barry *et al.*, 1995). El cambio en la distribución de las especies se asociaba a un incremento en 0,7 °C de la temperatura del agua, que era aún más marcada durante el verano (2,2 °C; Barry *et al.*, 1995).

En el caso de especies terrestres, el efecto del cambio climático sobre la distribución geográfica depende mucho de la capacidad de movilidad de las especies. En el caso de insectos, los efectos más marcados han sido detectados en los Lepidópteros (mariposas) debido a su relativa fácil detectabilidad en el campo y por la existencia de series temporales fiables en diversas localidades norteamericanas y europeas. Por otro lado, los insectos son unos buenos modelos de estudio al ser animales poiquiloterms, es decir, dependientes de la temperatura para su actividad. Así se ha estimado que en 35 especies no migratorias de mariposas europeas, el 63% (22) de ellas han ampliado el borde septentrional de su distribución en unos 35 a 240 Km. durante el pasado siglo, mientras que sólo el 3% (2) de las especies han aumentado su borde meridional de la distribución (Parmesan *et al.*, 1999).

En el caso de la aves existe un estudio realizado en el sur del Reino Unido (Thomas y Lennon, 1999) que muestra que la parte septentrional de la distribución de 59 especies de aves se ha adelantado en cerca de 19 Km. en un periodo de 20 años en la segunda parte del siglo pasado. Resultados similares se han obtenido por diversos autores en Norteamérica. Por otro lado, pueden existir cambios más sutiles en la selección de las especies de aves de determinados hábitats a la hora de, por ejemplo, la construcción del nido. Un estudio realizado en un gradiente altitudinal, que se corresponde con uno de vegetación, realizado en Arizona (Martin, 2001) demuestra que determinadas especies de pequeñas aves paseriformes presentan una gran plasticidad para cambiar de zona para reproducirse (valle-alta montaña) y mantener un adecuado éxito reproductor, mientras que otras especies siempre realizan el nido en los valles o en la alta montaña y su éxito reproductor varía según las condiciones meteorológicas de esa primavera (Martin, 2001). Por ello, ante escenario de incremento de la temperatura en la zona de estudio, habrá especies que podrán mantener los efectivos poblacionales, gracias a su capacidad de poder seleccionar el hábitat de nidificación más adecuado a las condiciones meteorológicas. Sin embargo, habrá otras especies que verán reducido su efecto poblacional por no responder con cambios en su comportamiento y esto podría llevar a la extinción a estas poblaciones de aves. Martin (2001) su-

giere que esta respuesta ante el cambio climático será diferente y tendrá distintas consecuencias según el tipo de especie.

Como hemos visto, se han detectado cambios en la distribución de las especies ante el reciente cambio climático. Estas respuestas se han producido de una forma bastante rápida en las últimas décadas. Recientemente, se ha publicado un artículo que reúne en un mismo análisis todos los datos disponibles para todas las especies, tanto de plantas, como de animales (Parmesan y Yohe, 2003). Estos investigadores utilizando datos disponibles de 893 especies, concluyen que en promedio las especies han cambiado su distribución unos 6,1 Km por década hacia el polo (Parmesan y Yohe, 2003).

8.5. Cambio climático y consecuencias fenológicas

Las respuestas de los organismos ante el reciente cambio climático han sido abundantemente documentadas en términos de cambios en su fenología durante su ciclo vital. Fenología es el estudio de la secuencia temporal de fenómenos naturales recurrentes en plantas y animales con relación a la meteorología. Muchos procesos fenológicos, como la floración, la aparición de los insectos o el inicio de la reproducción de las aves, están claramente ligados a la meteorología. Estos procesos fenológicos difieren entre individuos y/o especies, y esta variabilidad es parte de la biodiversidad. El registro histórico de esta información se debe en gran medida a la labor callada, paciente y constante de muchos naturalistas no profesionales (Whitfield, 2001). Los efectos del cambio climático sobre los procesos fenológicos presentan variaciones entre especies y una amplia variabilidad geográfica. Sin embargo, de la información obtenida hasta la fecha es posible alcanzar patrones generalizables (Peñuelas y Filella, 2001; Parmesan y Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003).

En la tabla 1 se muestran los principales procesos fenológicos estudiados y, a grosso modo, las principales respuestas ante el reciente cambio climático. Como podemos ver, en las plantas existe una respuesta de adelanto de la salida de las hojas en árboles caducifolios y un retraso del inicio de la caída de las mismas, gene-

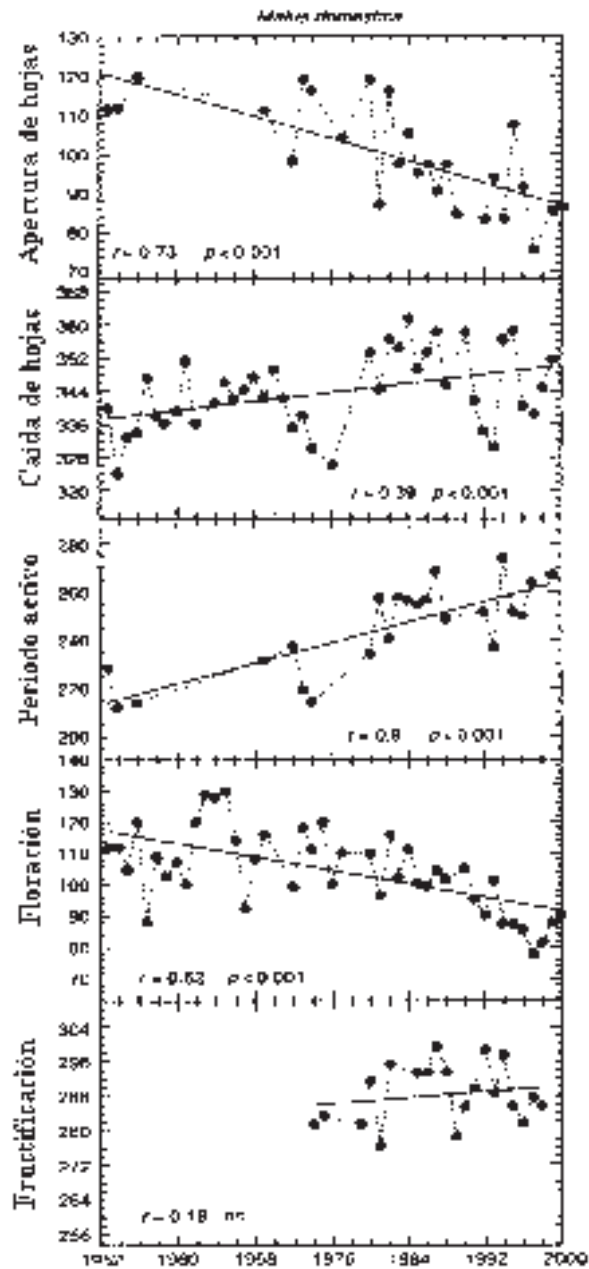
ralmente medido como cambio de su color en el otoño. La respuesta del retraso de la caída de las hojas es un poco menos clara, pues en parte depende de la capacidad de detección del cambio de color por parte del observador. El resultado final, es que ante un escenario de cambio climático se ha observado que las plantas expanden su periodo de actividad en más de medio mes (Menzel y Fabian, 1999). Esta respuesta está probablemente contribuyendo al aumento de la formación de biomasa y el resultado ha sido una aceleración del crecimiento de los árboles detectable al menos en Europa (Menzel y Fabian, 1999).

TABLA 8.1: Principales procesos fenológicos estudiados y respuestas detectadas al reciente cambio climático

Organismo	Proceso fenológico	Respuesta al cambio climático
Plantas	Apertura de las hojas	Adelanto de entre 1 a 4 semanas
	Caída de la hoja	Retraso de entre 1 a 2 semanas
	Floración	Adelanto de una semana
Insectos	Aparición e inicio de la actividad primaveral	Adelanto de entre 1 a 2 semanas
	Crecimiento	Acortamiento de las fases de su desarrollo
Anfibios	Inicio de la reproducción	Adelanto en algunas especies
Aves	Inicio de la reproducción	Adelanto generalizado de la fecha de puesta
	Migración	Adelanto y retraso dependiendo de la especie y población

Cabría preguntarse si estas respuestas fenológicas ya han sido detectadas en la península ibérica. Hasta la fecha, existe solamente un trabajo que demuestra que este es el caso (Peñuelas, Filella y Comas, 2002). En este trabajo se incluyen datos fenológicos para unas 25 a 57 especies de plantas en los alrededores de Cardedeu (Barcelona) desde 1952 a 2000 (Peñuelas, Filella y Comas, 2002). Así, la apertura de las hojas se ha adelantado en promedio unos 16 días, la caída de las hojas en otoño se ha retraso en promedio unos 13 días y la floración se ha adelantado 6 días con respecto a 1952 (figura 8.8).

FIGURA 8.8: Cambios fenológicos detectados en el Manzano (*Malus domestica*) en Cardedeu (Barcelona) desde 1952 a 2000. La línea continua representa la regresión lineal ajustada para los datos (Peñuelas, Filella y Comas, 2002)



En el caso de los insectos, existe buen número de estudios que demuestran que el inicio de la actividad de la mayoría de los insectos se ha adelantado en la primavera. Un grupo taxonómico bien estudiado ha sido el de los Lepidópteros en el Reino Unido (35 especies) entre los años 1976 a 1998 (Roy y Sparks, 2000). En este estudio se ha observado un adelanto en la aparición de los adultos, aunque solamente estadísticamente detectable en 13 de las 35 especies, quizás por el corto periodo de estudio (figura 8.9). Además, se ha observado un incremento del periodo de actividad o de vuelo de los adultos, aunque solamente estadísticamente detectable en 12 de las 35 especies estudiadas (figura 8.10). Este estudio, predice que en el Reino Unido, en ausencia de otros factores como la interacción con otros organismos o el cambio en el uso del suelo, un incremento de 1 °C podría adelantar la actividad de las mariposas entre 2 a 10 días (Roy y Sparks, 2000).

FIGURA 8.9: Variación temporal en la primera aparición de *Vanessa atalanta* y *Pieris napi* en el Reino Unido.
1 = primera semana de abril (Roy y Sparks, 2000)

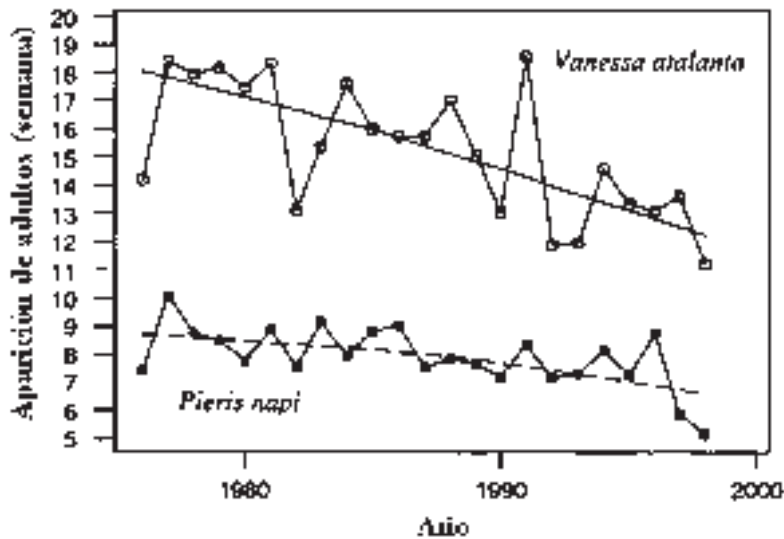
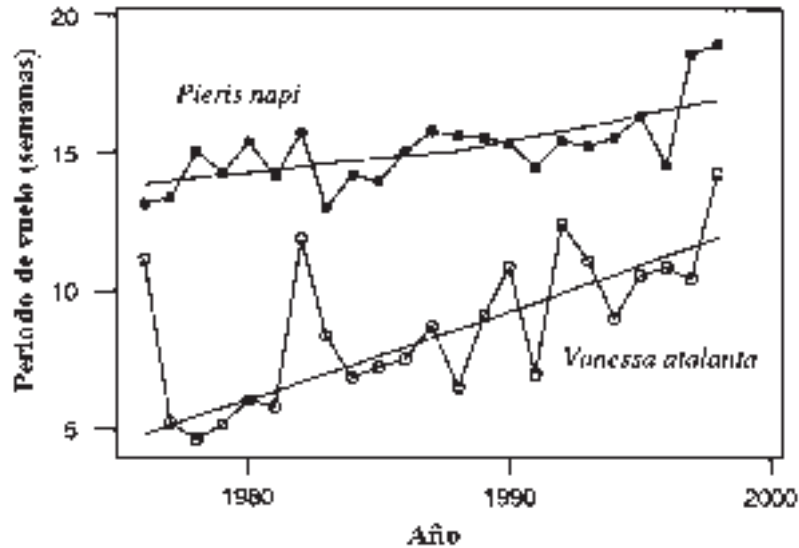


FIGURA 8.10: Variación temporal en la duración del periodo de vuelo de Vanesa atalanta y Pieris napi en el Reino Unido. 1 = primera semana de abril (Roy y Sparks, 2000)



Por otro lado, la aparición de las plagas también se ha visto modificada debido al reciente cambio climático. Así, durante los últimos 25 años, el periodo de vuelo de cinco especies de áfidos se ha adelantado en unos 3 a 6 días (Fleming & Tatchell, 1995). En España, el estudio anteriormente citado (Peñuelas, Filella y Comas, 2002), nos muestra que la fecha de aparición de la mariposa Blanca de la Col (*Pieris rapae*) se ha adelantado 11 días entre los años 1952 a 2000. Merece la pena recordar que esta especie es una plaga para los cultivos de las distintas especies de coles. En todos estos trabajos, se muestra que estos adelantos se correlación también con la temperatura, es decir, a mayor temperatura mayor adelanto en el proceso fenológico.

En el caso de los anfibios, existe una cierta controversia en las conclusiones obtenidas en los diferentes estudios. El primer estudio realizado en el Reino Unido (Beebee, 1995) mostró que la fecha de inicio de la reproducción se ha adelantado en 2 de 3 especies de anuros (*Rana kl. esculenta*, *Bufo calamita*) y en 3 especies de urodelos (*Triturus vulgaris*, *T. helveticus*, *T. cristatus*). El ade-

lanto se estimó en un promedio de 9 a 10 días por grado centígrado de incremento de la temperatura ambiente (Beebee, 1995). Posteriormente, en el caso de *Bufo bufo* no se detectó un adelanto del inicio de la reproducción en poblaciones del Reino Unido (Reading, 1998). En los Estados Unidos, un reciente estudio relevó que para 4 de 6 especies de anuros estudiadas en Nueva York existía un adelantado del inicio de la reproducción desde principios a finales del siglo xx (Gibbs y Breisch, 2001). Sin embargo, en otro estudio realizado en diversos lagos de los Estados Unidos (Blaustein *et al.*, 2001), no se ha detectado un adelanto del inicio de la reproducción en 4 especies de anuros (*Bufo boreas*, *B. flowleri*, *Rana cascadae*, *Pseudacris crucifer*) entre los años 1980 a 2000. En conclusión, parece que el reciente calentamiento ha afectado a la fenología de la reproducción de varias especies (un 50%), pero no de todas las especies estudiadas. Esto enfatiza la falta de series más largas o la gran variabilidad geográfica del cambio climático. Por otro lado, esto también nos remarca la importancia que tiene la publicación de estudios locales en este campo de investigación.

Por último, tenemos los estudios desarrollados con dos procesos fenológicos importantes en el grupo de las aves: la reproducción y la migración. El inicio de la reproducción en las aves repercute en la eficacia biológica de los individuos, de aquí la importancia de su estudio. El inicio de la reproducción, es decir la fecha de puesta, se puede afirmar que se ha adelantado en un buen número de especies estudiadas durante el siglo xx (Sanz, 2002). Estos estudios se han realizado con un buen número de especies, la mayoría paseriformes de pequeño tamaño, y principalmente en el continente europeo, aunque hay algún estudio realizado en el continente norteamericano. El estudio que agrupa mayor número de especies fue realizado en el Reino Unido (Crick y Sparks, 1999). En esta investigación se muestra que entre los años 1939-95, en 19 de 36 especies estudiadas, se ha observado un adelanto de la fecha media de puesta poblacional (Crick y Sparks, 1999). Este adelanto de la reproducción en las aves, principalmente insectívoras, se ha pretendido explicar por una sincronización con los cambios en la fenología de plantas e insectos. Sin embargo, parece haber una cierta desincroni-

zación en la fenología de los distintos niveles tróficos que está provocando una reducción del éxito reproductor de varias especies de aves estudiadas (Visser *et al.*, 1998; Merilä, Kruuk y Sheldon, 2001; Sanz *et al.*, 2003). Así, se ha detectado que, en general, tanto las plantas como los insectos que se alimentan de ellas han adelantado su fenología de forma sincrónica. Sin embargo, en el caso de las aves insectívoras se ha detectado que el adelantamiento de su reproducción no se ajusta al que realizan los insectos de los cuales se alimentan. El resultado de esta desincronización entre las respuestas ante el cambio climático por parte de las aves y sus principales presas, los insectos, ha acarreado una disminución de su éxito reproductor.

Con respecto a la migración, los resultados son dispares dependiendo de la especie estudiada y sobre todo de la localidad de estudio (Sanz, 2002). En general, existe un adelanto en la fecha de llegada a las áreas de reproducción para 10 de 18 especies de aves (Sanz, 2002). Las aves migratorias europeas se basan en señales que detectan en el continente africano para iniciar la migración. Esto les puede influir negativamente al poder llegar al continente europeo en un momento desfavorable para realizar su reproducción. Se ha estimado que el efecto del cambio climático será más dramático para aquellas especies migratorias de larga distancia (Sanz, 2002), ya que estas tendrán problemas en predecir las condiciones óptimas para llegar al continente europeo e iniciar la reproducción. En el caso de la península ibérica, Peñuelas y sus colaboradores (2002) documentan un retraso en la fecha de llegada primaveral para 5 especies de aves en el periodo 1952-2000: Abubilla (*Upupa epops*), Golondrina Común (*Hirundo rustica*), Cuco (*Cuculus canorus*), Ruiseñor Común (*Luscinia megarhynchos*) y Codorniz (*Coturnix coturnix*). Para una especie, el Vencejo Común (*Apus apus*), no se observó ninguna tendencia en el periodo 1952-2000 (Peñuelas, Filella y Comas, 2002). Es de destacar, que el número de observaciones de individuos de especies migratorias sub-saharianas se está incrementando notablemente en los últimos años en la península ibérica (ver noticiario ornitológico de la revista Ardeola, SEO/Birdlife).

8.6. Recapitulación: respuestas ecológicas ante el reciente cambio climático

Como hemos visto el impacto del reciente cambio climático se ha detectado a tres niveles: dinámica de poblaciones, distribución geográfica y fenología de las especies. Hasta hace poco se pensaba que tendrían que pasar décadas para que el efecto del cambio climático sobre la biodiversidad se pudiera detectar. Sin embargo, en los últimos diez años el número de publicaciones científicas en este campo de investigación se ha incrementado notablemente. Uno de los aspectos a resolver es si estas respuestas detectadas por la biodiversidad tendrán unos efectos directos sobre la viabilidad de las especies. En este contexto, es muy interesante el estudio de estas respuestas en un amplio espectro geográfico, pues la respuesta de las especies ha mostrado presentar gran variabilidad. Además, una pregunta por resolver es cómo estos cambios a nivel del individuo o la especie están afectando a la sincronización de distintos niveles tróficos de los ecosistemas o las interacciones entre especies del mismo ecosistema.

Teniendo en cuenta que las predicciones del cambio climático para el presente siglo son mucho mayores que las observadas recientemente, es esperable que las especies respondan de forma más apremiante que lo que se ha podido observar hasta hoy día. Por lo tanto, los cercanos cambios en el clima podrán llegar a ser una de las fuerzas más importantes en la evolución de las estrategias vitales de plantas y animales. Es por ello, que este factor se debe considerar junto a otros aspectos (deforestación, desertización, etc.) a la hora de desarrollar las futuras políticas de conservación de la naturaleza.

8.7. Agradecimientos

Desde estas líneas quisiera agradecer a M. Gomendio su invitación para compartir con vosotros algo de este tema que me parece de particular interés. Al Ministerio de Ciencia y Tecnología quisiera agradecer su apoyo y financiación (Programa Ramón y Cajal; Proyecto de Investigación REN2001-0611/GLO).

8.8. Lecturas recomendadas

Para un lector más ávido de información más detallada, me permito recomendar estas revisiones sobre el tema recientemente publicadas:

- HARRINGTON, R., I. WOJWORD y T. SPARKS (1999): «Climate change and trophic interactions», *Trends in Ecology and Evolution*, 14, págs. 146-150.
- HUGHES, L. (2000): «Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?», *Trends in Ecology and Evolution*, 15, págs. 56-61.
- MCCARTY, J. P. (2001): «Ecological consequences of recent climate change», *Conservation Biology*, 15, págs. 320-331.
- WALTHER, G. R. *et al.* (2002): «Ecological responses to recent climate change», *Nature*, 416, págs. 389-395.
- SANZ, J. J. (2002): «Climate change and birds: have their ecological consequences already been detected in the Mediterranean region?», *Ardeola*, 49, págs. 109-120.

8.9. Bibliografía

- BALAIRÓN, L. (2000): «Las causas del cambio climático», *El cambio climático* (coord. Balairón, L.), págs. 89-110, Madrid, Fundación BBVA.
- BARRY, J. P. *et al.* (1995): «Climate-related long-term faunal changes in a California rocky intertidal community», *Science*, 267, págs. 672-675.
- BEEBEE, T. J. C. (1995): «Amphibian breeding and climate», *Nature*, 374, págs. 219-220.
- BLAUSTEIN, A. R. *et al.* (2001): «Amphibian breeding and climate change», *Conservation Biology*, 15, págs. 1804-1809.
- CRICK, H. Q. P. y T. SPARKS (1999): «Climate change related to egg-laying trenes», *Nature*, 399, 423-424.
- CROWLEY, T. J. (2000): «Causes of climate change over the past 1000 years», *Science*, 289, págs. 270-277.
- FLEMING, R. A. y G. M. TATCHELL (1995): «Shifts in flight period of British Aphids: a response to climate warming?», *Insect in a changing environment* (ed. Harrington, R. y N. E. Stork), págs. 505-508, Nueva York, Academic Press.
- GRABHERR, G., M. GOTTFRIED y H. PAULI (1994): «Climate effect on mountain plants», *Nature*, 369, págs. 448.
- GIBBS, J. P. y A. R. BREISCH (2001): «Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1900-1999». *Conservation Biology*, 15, págs. 1175-1178.
- HUANG S., H. N. POLLACK y P. Y. SHEN (2000): «Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures», *Nature*, 403, págs. 756-758.
- HURRELL, J. W. (1995): «Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation», *Science*, 269, págs. 676-679.

- IPCC (2001): *Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. (ed. McCarthy, J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken y K. S. White) Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- MARTIN, T. E. (2001): «Abiotic vs. biotic influences on habitat selection of coexisting species: climate change impacts?», *Ecology*, 82, págs. 175-188.
- MENZEL, A. y P. FABIAN (1999): «Growing season extended in Europe», *Nature*, 397, págs. 659.
- MERILÄ, J., L. E. N. KRUK y B. C. SHELDON (2001): «Cryptic evolution in a wild bird population», *Nature*, 412, págs. 76-79.
- MOSS, R., J. Y. OSWALD y D. BAINES (2001): «Climate change and breeding success: decline of the caterpillar in Scotland», *Journal of Animal Ecology*, 70, págs. 47-61.
- PARMESAN, C. *et al.* (1999): «Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming», *Nature*, 399, págs. 579-583.
- PARMESAN, C. y G. YOHE (2003): «A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems», *Nature*, 421, págs. 37-42.
- PENUELAS, J. y I. FILELLA (2001): «Responses to a warming world», *Science*, 294, págs. 793-794.
- y P. COMAS (2002): «Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region», *Global Change Biology*, 8, 531-544.
- PETIT, J. R. *et al.* (1999): «Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica», *Nature*, 399, págs. 429-436.
- (2001): *Vostok Ice Core data for 420,000 years*, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2001-076. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- POST, E. y STENSETH, N. C. (1999): «Climatic variability, plant phenology, and northern ungulates», *Ecology*, 80, págs. 1322-1339.
- READING, C. J. (1998): «The effect of winter temperature on the timing of breeding activity in the common toad *Bufo bufo*», *Oecologia*, 117, págs. 469-475.
- ROOT, T. L. *et al.* (2003): «Fingerprints of global warming on wild animals and plants», *Nature*, 421, págs. 57-60.
- ROY, D. B. y T. H. SPARKS (2000): «Phenology of British butterflies and climate change», *Global Change Biology*, 6, págs. 407-416.
- SÆTHER, D. E. *et al.* (2000): «Population dynamical consequences of climate change for a small temperate songbird», *Science*, 287, págs. 854-856.
- SANZ, J. J. *et al.* (2003): «Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region», *Global Change Biology*, 9, en prensa.
- STOTT, P. A. *et al.* (2000): «External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings», *Nature*, 290, págs. 2133-2137.
- THOMAS, C. D. y J. J. LENNON (1999): «Birds extend their ranges northwards», *Nature*, 399, págs. 213.
- VISSER, M. E. *et al.* (1998): «Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*)», *Proceedings of the Royal Society of London, serie B*, 265, págs. 1867-1870.
- WALLACE, J. M., Y. ZHANG y L. BAJUK (1996): «Interpretation of interdecadal trends in Northern Hemisphere surface air temperature», *Journal of Climate*, 9, págs. 249-259.
- WHITFIELD, J. (2001): «The budding amateurs», *Nature*, 414, págs. 578-579.