

Revisión, Análisis y Propuesta de Trabajo  
sobre la información disponible de elementos  
de la Biodiversidad Aragonesa  
más vulnerables ante los efectos del  
Cambio Climático



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional



Departamento de Medio Ambiente

**Título:** Revisión, análisis y propuesta de trabajo sobre la información disponible de elementos de la biodiversidad aragonesa más vulnerables ante los efectos del cambio climático. Informe final. Diciembre 2009.

**Promueve:** Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón.

**Dirige:** Dirección General de Desarrollo Sostenible y Biodiversidad, y Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.

**Realiza:** Consultores en Biología de la Conservación, S.L.

Esta acción es una de las cofinanciadas por la operación 49 del Programa Operativo FEDER 2007-2013 para Aragón: “Construyendo Europa desde Aragón”.



Índice:

AGRADECIMIENTOS .....	4
1. <b>RESUMEN</b> .....	5
2. <b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
3. <b>OBJETIVOS</b> .....	10
4. <b>METODOLOGÍA</b> .....	11
4.1. Búsqueda y análisis de información .....	11
4.2. Propuesta de trabajo.....	12
5. <b>RESULTADOS</b> .....	13
5.1. Referentes Institucionales sobre Cambio Climático.....	13
5.2. Los seres vivos y el Cambio Climático .....	16
5.3. El uso de los seres vivos como Indicadores del Cambio Climático .....	17
5.3.1. INDICADORES SELECCIONADOS .....	18
5.3.1.1. Invertebrados .....	18
5.3.1.2. Anfibios .....	25
5.3.1.3. Flora.....	32
5.3.2. OTROS INDICADORES .....	41
5.3.2.1. Reptiles .....	41
5.3.2.2. Aves .....	44
5.3.2.3. Mamíferos.....	46
5.3.2.4. Peces .....	48
5.4. Propuesta de trabajo.....	49
5.4.1. INDICADORES SELECCIONADOS .....	50
5.4.1.1. Invertebrados: Lepidópteros.....	50
5.4.1.2. Anfibios .....	53
5.4.1.3. Flora.....	55
5.4.2. OTROS INDICADORES .....	58
5.4.2.1. Reptiles .....	58
5.4.2.2. Aves .....	59
5.4.2.3. Mamíferos.....	61
6. <b>CONCLUSIONES</b> .....	63
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	65

## **AGRADECIMIENTOS**

A David Vieites, David Sánchez Fernández, Francisco Cabrero y María Triviño, del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), por sus aportaciones y ayuda en la búsqueda de material bibliográfico.

A Ricardo Gómez Calmaestra, de la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural, y Marino.

A la Fundación para la Investigación del Clima, en particular a Jaime Ribalaygua y su equipo.

Un agradecimiento especial a Manuel Alcántara y Matilde Cabrera, del Gobierno de Aragón, por su apoyo y cercanía en todo momento.

## 1. RESUMEN

La Estrategia Aragonesa de Cambio Climático y Energías Limpias –uno de cuyos objetivos es analizar la situación en Aragón de los factores sociales y naturales respecto del cambio climático–, propone una serie de indicadores para valorar los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad aragonesa.

En los últimos años, numerosos estudios e investigaciones consideran que los organismos vivos están reaccionando ante el cambio climático y denuncian las potenciales amenazas de este proceso sobre la biodiversidad del planeta. Las reacciones observadas de algunas especies o comunidades al cambio climático se utilizan como bioindicadores y están sirviendo para establecer, entre otras cuestiones, el ritmo al que se está produciendo este cambio.

Para el desarrollo del presente proyecto, se ha realizado una revisión bibliográfica exhaustiva, se han mantenido contactos con investigadores españoles que desarrollan líneas de trabajo coincidentes con los objetivos de este estudio, se ha recabado información de las administraciones nacional y autonómica y, por último, se han revisado informes y documentos de organismos internacionales con intereses en esta temática.

El presente trabajo ofrece como resultado una propuesta de trabajo, que consiste en:

1.- Listado priorizado de grupos taxonómicos y/o especies que por sus características, resultados previos aportados y posibilidad de empleo en Aragón, se consideran indicadores apropiados del cambio climático.

2.- Detalle del tipo de información que debe tomarse durante el seguimiento de las mismas para poder ser considerados en estudios posteriores sobre cambio climático. La información se presenta organizada en función de la validez de los grupos y las especies para ejercer de indicadores válidos, teniendo en cuenta las referencias encontradas y su situación en Aragón.

Para cada uno de los grupos seleccionados se presenta un listado priorizado, organizado en dos niveles: grupo A, taxones donde parece más rentable aplicar el esfuerzo de seguimiento; y grupo B, resto de taxones de interés como indicadores.

## 2. INTRODUCCIÓN

### El cambio climático. Marco jurídico general

Frente a la evidencia del cambio climático y sus consecuencias negativas sobre los ecosistemas y sus procesos, la sociedad y las distintas administraciones se ven en la necesidad y la obligación de establecer medidas para afrontar esta situación.

Las primeras propuestas surgieron a principios de los años 90 en el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, tras la llamada Cumbre de la Tierra, y su desarrollo en el Protocolo de Kioto (1992), que sería ratificado diez años después por la Unión Europea. Este Protocolo entró en vigor en 2005 y está orientado básicamente a la reducción de los gases llamados de efecto invernadero (GEI).

A partir de este compromiso, la Unión Europea aprobó la Directiva 2003/87/CE, pilar básico del Programa Europeo de Cambio Climático (PECC). España traspuso esta norma en la Ley 1/2005, de 9 de marzo, que regula en nuestro país el régimen de comercio de derechos de GEI mediante un Plan Nacional de Asignación (PNA) para el periodo 2005-2007.

El Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, aprueba el Plan Nacional de Asignación 2008-2012 (PNA2) y es el segundo elaborado en el marco del régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de GEI y el primero que se aplica coincidiendo con el periodo de compromiso (2008-2012) establecido en el Protocolo de Kioto y la Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático.

Además del comercio de emisiones, el Gobierno de España ha puesto en marcha otras iniciativas, que implican una participación activa de las Comunidades Autónomas, ya que buena parte de las competencias en los sectores o actividades afectados están transferidas:

La Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (EECCCEL), horizonte 2007-2012-2020 es un instrumento de planificación con un marco de referencia común para todos.

En el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático se pretende, entre otros objetivos, abordar metodologías adecuadas para estudios dirigidos a distintos sectores, entre otros, el de biodiversidad.

### **Instrumentos de Planificación de la Comunidad Autónoma de Aragón frente al Cambio Climático**

La referencia básica es la Estrategia Aragonesa de Cambio Climático y Energías Limpias EACCEL, aprobada por acuerdo de Consejo de Gobierno de 23 de septiembre de 2009. Entre los objetivos del proceso de elaboración de la EACCEL se encuentra el “*analizar la situación en Aragón de los factores sociales y naturales respecto del cambio climático*”.

Por otra parte, es uno de los objetivos generales de la EACCEL “contribuir al desarrollo sostenible”.

Esta Estrategia contempla diez sectores de actuación, entre los que se incluye el de Recursos Naturales y Biodiversidad, uno de los sectores que se considera se verá más afectado por el cambio climático.

Se reproduce a continuación lo que la citada estrategia establece como objetivos concretos en el apartado Recursos Naturales y Biodiversidad:

*“El objetivo general de la EACCEL respecto a los recursos naturales y la biodiversidad es establecer mecanismos adaptativos frente a cambios futuros y ejecutar acciones que reduzcan y mitiguen las pérdidas en cantidad y calidad de recursos naturales y biodiversidad, ocasionadas directamente por actividades humanas e indirectamente por los impactos del cambio climático. Entre ellos:*

- *Frenar y revertir la erosión, la desertificación y la pérdida de suelo, manteniendo el funcionamiento de sus ecosistemas.*
- *Recuperar y mantener en su fase terrestre el ciclo hidrológico acorde con las condiciones climáticas.*
- *Garantizar la cantidad de agua de los sistemas acuáticos naturales en relación con su régimen hidrológico.*
- *Aumentar la cantidad de agua de calidad.*
- *Mejorar la eficiencia del uso del suelo y del agua, asegurando y maximizando a largo plazo el bienestar de las personas respecto al consumo de estos dos recursos.*
- *Mantener la ecodiversidad evitando la homogeneización artificial del paisaje, incluso en entornos artificializados. Ordenar los usos y desarrollos agrícolas, urbanos y de infraestructuras respetando la funcionalidad de los ecosistemas naturales.*
- *Mejorar el estado de conservación de los espacios naturales, declarados protegidos o no, que incluya los hábitats y la biodiversidad que alberga el territorio aragonés, con corredores ecológicos que los conecten entre si y con otros espacios dentro y fuera de la Comunidad Autónoma.*
- *Mejorar y restaurar los hábitat más singulares de la biodiversidad aragonesa, empleándolos como taxones “paraguas” sobre los que desarrollar otras acciones de conservación.*
- *Preservar y recuperar la integridad y los flujos de materia y energía que transcurren con más intensidad por las zonas del territorio con más dinámica, por ejemplo, ríos, acuíferos y zonas de más desnivel topográfico.*
- *Estimular el papel acumulador de GEI de los sistemas naturales y recuperar espacios degradados para reducir y revertir sus emisiones de GEI y para que tengan un papel positivo como reservorios de biodiversidad.”*

Por tanto, para alcanzar buena parte de estos objetivos orientados a proteger la biodiversidad aragonesa de los efectos negativos del cambio climático, tanto en su existencia como en su funcionalidad, es necesario conocer cuáles de sus elementos son los que pueden ayudar a reconocer con más facilidad esos efectos negativos, de manera que permita adoptar acciones concretas de mitigación y adaptación, lo que justifica la elaboración de este estudio.

Además el Plan de Acción del Gobierno de Aragón frente al cambio climático, aprobado por Acuerdo de Consejo de Gobierno de diciembre de 2009, contempla este trabajo como una de las 151 acciones del citado plan.

Por otra parte, cabe señalar, igualmente, la existencia de otros marcos estratégicos de alto interés, como el Plan Energético de Aragón (2005-2012), el Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón GIRA (2009-2015), el Programa de Desarrollo Rural (PDR) (2007-2013), el Plan de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales vigente desde 1997, o el Plan Especial de Depuración de Aguas Residuales.

### Cambio climático y biodiversidad

En los últimos años son numerosos los estudios e investigaciones que consideran que los organismos están reaccionando ante el cambio climático y denuncian las potenciales amenazas del cambio climático a la biodiversidad del planeta (ver por ej.: Peterson *et al.*, 2001; Bakkenes *et al.*, 2002; Parmesan & Yohe, 2003; Pearson & Dawson, 2003; Root *et al.*, 2003; Araújo *et al.*, 2005a; Araújo *et al.*, 2005b; Parmesan, 2005; Root *et al.*, 2005; Broennimann *et al.*, 2006; Thuiller *et al.*, 2006). Estos estudios coinciden en que el incremento en el calentamiento global y sus correspondientes anomalías climáticas afectan a la biodiversidad en diferentes escalas y de diversas formas, pudiéndose resumir en: a) variaciones en los rangos potenciales de especies, b) alteraciones en las comunidades de especies, c) desplazamiento altimétrico de los ecosistemas, d) interacciones entre los efectos del cambio climático y la fragmentación del hábitat y, e) cambios en el funcionamiento de los ecosistemas.

A nivel de especies, se citan, de forma general, tres procesos de respuestas al cambio climático: 1) desplazamiento; 2) adaptación (ya sea en términos de cambios evolutivos o adaptaciones fisiológicas) y 3) extinción local (ver por ej.: Holt, 1990; Peterson *et al.*, 2001). Es plausible que los efectos del cambio climático a escala local puedan reflejar las interacciones de estos tres mecanismos y derivar en cambios en las composiciones y funciones de las comunidades. Así, para el caso de vegetales, Parmesan & Yohe (2003), predicen desplazamientos abruptos en su distribución potencial, que podrá derivar en altas tasas de extinción así como importantes modificaciones en su fenología y fisiología.

La temperatura media en Europa ha aumentado unos 0,8 °C a lo largo del siglo XX, desplazando las isoterms hacia el norte una media de 120 km (Beniston & Tol, 1998; Watson *et al.*, 1998). Según otros autores, durante el siglo XX la temperatura media ha sufrido un incremento de unos 0,6 °C y se prevé que continúe aumentando rápidamente (IPCC, 2001). Los cambios en la distribución y abundancia de especies se han correlacionado en algunos estudios con evoluciones climáticas para un periodo de tiempo dado (Lovejoy & Hannah, 2005). Asumir que la causa de los cambios bióticos

observados es el cambio climático habitualmente responde a argumentos más profundos, como la existencia de relaciones entre las variables climáticas y la biología de las especies estudiadas (Parmesan *et al.*, 2000; Easterling *et al.*, 2000b; Inouye, 2000; Otterson *et al.*, 2001).

En España se está llevando a cabo el Proyecto Evaluación del Cambio Climático en España (ECCE). Dentro de este proyecto se ha desarrollado una Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático (Moreno *et al.*, 2005); entre sus conclusiones, y en referencia a la biodiversidad, se indica que:

*“el cambio climático afectará a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas terrestres, alterará la fenología y las interacciones entre especies, favorecerá la expansión de especies invasoras y plagas y aumentará el impacto de las perturbaciones tanto naturales como de origen humano. Las zonas y sistemas más vulnerables al cambio climático son las islas y los ecosistemas aislados, como son las islas edáficas y los sistemas de alta montaña, y los ecotonos o zonas de transición entre sistemas.”*

Y, en referencia a los ecosistemas acuáticos continentales, se dice que:

*“con un gran nivel de certeza se puede asegurar que el cambio climático hará que parte de los ecosistemas acuáticos continentales españoles pasen de ser permanentes a estacionales; algunos desaparecerán. La biodiversidad de muchos de ellos se reducirá y sus ciclos biogeoquímicos se verán alterados. La magnitud de estos cambios aún no puede precisarse. Los ecosistemas más afectados serán: ambientes endorreicos, lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña (1600-2500 metros), humedales costeros y ambientes dependientes de las aguas subterráneas”.*

Según la Estrategia Aragonesa de Cambio Climático y Energías Limpias (EACCEL, 2009), se consideran especialmente sensibles a los efectos de cambio climático las especies de origen biogeográfico boreoalpino que en la actualidad encuentran en las cadenas montañosas pirenaica y prepirenaica su límite meridional de distribución europea. De igual forma se apunta en este documento que las especies más afectadas son las estenoicas, especialmente en los medios fluviales, favoreciendo a especies más eurioicas, muchas de ellas alóctonas y potencialmente invasoras.

Por todo ello, parece lógico pensar que Aragón será una Comunidad seriamente afectada por este proceso, ya que: 1) se trata de una de las regiones con más biodiversidad de España y Europa y, 2) mantiene una alta diversidad de ecosistemas, incluyendo los ecosistemas extremos, tales como la alta montaña (Pirineos, Moncayo, etc.) o las zonas áridas (p. ej., Monegros).

### **3. OBJETIVOS**

Los objetivos del presente proyecto son:

- Revisar la información elaborada por los organismos y centros de investigación especialistas en materia de cambio climático, sobre taxones indicadores de los efectos relacionados con el cambio climático.
- Valorar la posibilidad de “trasladar” dichos indicadores a la flora y fauna presente en Aragón.
- Plantear una Propuesta de trabajo que, basada en aquellas especies identificadas como indicadores, permita a medio plazo valorar la magnitud del impacto del cambio climático sobre la biodiversidad en Aragón.

## 4. METODOLOGÍA

Este trabajo se ha basado en la búsqueda y análisis de información existente sobre indicadores biológicos del cambio climático.

Tras el análisis de esta información, se ha procedido al filtrado de las especies y los procesos adaptables al caso de Aragón, de cara a elaborar una propuesta de trabajo concreta que incluye los listados priorizados de especies sobre las que realizar un seguimiento y, en su caso, los procesos que, según la bibliografía consultada, actúan como mejores indicadores del cambio climático.

### 4.1. Búsqueda y análisis de información

Además de la revisión bibliográfica, se han realizado contactos con investigadores españoles que mantienen líneas de trabajo coincidentes con los objetivos de este estudio, con el fin de recabar información directa sobre sus investigaciones y solicitar ideas u opiniones aplicables al presente estudio; y por último, se ha recopilado información de las Administraciones regionales y nacionales y de los Organismos internacionales con intereses en esta temática.

El diseño de la búsqueda avanzada de artículos científicos se ha enfocado a la localización de forma preferente de los que plantearan aspectos prácticos y aplicables relacionados con los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad.

La búsqueda de bibliografía se ha realizado utilizando varios buscadores *on-line*, a través de páginas de búsqueda académica y científica. También se han revisado las referencias bibliográficas de los artículos encontrados, incrementando así la posibilidad de hallar más referencias útiles al respecto.

Se han hecho búsquedas mediante palabras clave relacionadas con cambio climático y bioindicadores en editoriales de revistas. Entre los principales buscadores utilizados que reúnen la mayoría de las publicaciones científicas especializadas se han utilizado los siguientes: Academic Search Premier, EBSCO Host: [www.ebscohost.com](http://www.ebscohost.com); Pro Quest: [www.proquest.com](http://www.proquest.com); Springer Link: [www.springerlink.com](http://www.springerlink.com); Science Direct: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

En estos buscadores se han revisado artículos que tuvieran que ver con aspectos relacionados con los objetivos del trabajo, hallándose la mayoría de ellos en revistas especializadas tales como: *Biological Conservation*, *Climatic Change*, *Ecology Letters*, *Global Change Biology*, *Global Ecology & Biogeography*, *Journal of Biogeography*, *Diversity & Distributions*, etc.

Además de los artículos científicos, también se han estudiado otro tipo de publicaciones o capítulos de libros relacionados con bioindicadores, si bien, en general, la bibliografía de estas publicaciones se suele referir a su vez a artículos concretos de los que han extraído los principales resultados y conclusiones.

## **4.2. Propuesta de trabajo**

Una vez finalizada la búsqueda, se organiza la información en función de la validez de los grupos y las especies para ejercer como indicadores válidos, teniendo en cuenta las referencias encontradas y su situación en Aragón.

Aunque en un primer momento se planteó la posibilidad de adaptar los resultados encontrados a nivel internacional a los géneros y/o las especies aragonesas, a medida que se han ido encontrando referencias bibliográficas que mencionaban especies concretas presentes en Aragón, se descartó dicha adaptación y se optó por seleccionar aquellas referencias que hacían mención específica a estas especies.

La propuesta de trabajo tiene en cuenta tanto las especies seleccionadas para Aragón, como los datos que deben tomarse durante el seguimiento de las mismas para poder ser considerados en estudios posteriores sobre cambio climático.

## 5. RESULTADOS

Se han consultado cerca de 300 artículos científicos que documentan cambios a lo largo del tiempo en especies o sistemas que podrían, total o parcialmente, ser atribuidos al cambio climático. Se han encontrado estudios sobre un amplio espectro de grupos taxonómicos, centrados en cambios producidos tanto sobre la distribución de las especies como sobre el estudio de las series fenológicas.

### *5.1.Referentes Institucionales sobre Cambio Climático*

En la actualidad son numerosos los organismos, tanto a nivel mundial como nacional e incluso local, que realizan seguimientos más o menos detallados de cuestiones relacionadas con el cambio climático y centran sus resultados en mayor o menor medida en su afección sobre la biodiversidad. La mayoría de estas instituciones, sin embargo, no realizan tareas de investigación, sino más bien de recopilación de la información disponible en el mundo científico-técnico. A continuación se hace una breve mención de los organismos europeos y nacionales más relevantes en la materia.

#### **Naciones Unidas – Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)**

Al detectar el problema del cambio climático mundial, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon, en 1988, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Se trata de un grupo abierto a todos los Miembros de las Naciones Unidas y de la OMM.

La función del IPCC consiste en analizar, de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica relevante para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo. El IPCC no realiza investigaciones ni controla datos relativos al clima u otros parámetros pertinentes, sino que basa su evaluación principalmente en la literatura científica y técnica publicada.

Una de las principales actividades del IPCC es llevar a cabo una evaluación periódica de los conocimientos sobre el cambio climático. El IPCC elabora, asimismo, Informes Especiales y Documentos Técnicos sobre temas en los que se consideran necesarios la información y el asesoramiento científico e independiente, y respalda la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) mediante su labor sobre las metodologías relativas a los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

El IPCC consta de tres Grupos de trabajo y un Equipo especial:

- El Grupo de trabajo I evalúa los aspectos científicos del sistema climático y el cambio climático.

- El Grupo de trabajo II evalúa la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales al cambio climático, las consecuencias negativas y positivas de dicho cambio y las posibilidades de adaptación al mismo.
- El Grupo de trabajo III evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y de atenuar los efectos del cambio climático.
- Existe, por último, un equipo especial encargado del Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

### **Red GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine environments)**

El proyecto de investigación GLORIA (Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los Ambientes Alpinos) tiene por objeto establecer una red para la observación a largo plazo y el estudio comparativo de los impactos del cambio climático en la biodiversidad de la alta montaña (Pauli *et al.*, 2004 [www.gloria.ac.at](http://www.gloria.ac.at)). Hasta la fecha GLORIA ha establecido 54 sitios piloto de observación en las principales cordilleras del planeta bajo un protocolo de establecimiento y seguimiento estándar a medio y largo plazo. Los sitios piloto GLORIA centran su atención en los ecosistemas de alta montaña, zona definida como el área situada por encima del nivel en que las bajas temperaturas determinan el límite superior de los árboles.

La Red GLORIA tiene una estación de seguimiento en Aragón: Pirineos Centrales (Ordesa). La entidad responsable de la estación es el Consejo Superior de Investigaciones Científicas a través del Instituto Pirenaico de Ecología (responsables: Luis Villar, José Luis Benito Alonso).

Esta Red organiza reuniones anuales donde se analizan los sistemas de seguimiento de los ecosistemas de montaña y se plantean nuevas necesidades de investigación.

### **Agencia Europea de Medio Ambiente**

La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) es un organismo de la Unión Europea cuya labor consiste en ofrecer información fiable e independiente sobre el medio ambiente. La institución ofrece una amplia gama de evaluaciones que analizan el estado, las tendencias y las presiones que actúan sobre el medio ambiente. Además, la Agencia coordina la Red europea de información y observación del medio ambiente (Eionet).

Existen Centros Temáticos que sirven de apoyo técnico a la Agencia y que llevan a cabo tareas específicas identificadas en su Estrategia. Uno de ellos es el Centro Temático de Aire y Cambio Climático, que fue creado en 2001 y está formado por un consorcio de 14 instituciones, liderado por el “National Institute of Public Health & the Environment”, de los Países Bajos. El Centro informa sobre el progreso de la legislación europea en materia de calidad del aire, emisiones y cambio climático, y está involucrado en la coordinación de la red de centros que lo forman.

## **Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino de España**

Desde 2007, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino viene desarrollando una línea de trabajo específica en materia de evaluación de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad, enmarcada dentro del actual Plan de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

Para ello, la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal y la Oficina Española sobre el Cambio Climático (OECC) han diseñado las directrices del proyecto denominado “Evaluación de los Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad en España (2007-2009)”.

En el desarrollo de este proyecto participan el Dr. Á. Felicísimo (Universidad de Extremadura) experto en modelización y desarrollo de sistemas de información geográfica aplicados a la problemática del cambio climático, que aborda la parte del proyecto correspondiente a flora, vegetación y tipos de hábitat. Y por otra, el Dr. M. B. Araújo (Museo Nacional de Ciencias Naturales; Consejo Superior de Investigaciones Científicas) uno de los autores del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), y especialista en modelización e investigación de la problemática del cambio climático sobre la fauna.

En el presente estudio se han tenido especialmente en cuenta los resultados de ambos proyectos, recientemente finalizados.

## **Gobierno de Aragón**

Desde el Gobierno de Aragón se trabaja en el desarrollo de acciones y programas que permitan avanzar en el conocimiento sobre las posibles consecuencias de este proceso, por ej., el Atlas Climático de Aragón o el Estudio sobre la funcionalidad de las formaciones vegetales como sumideros de CO<sub>2</sub>; o en la concienciación, capacitación y sensibilización sobre el problema. Además se han abordado proyectos concretos de reducción de GEI, y se han puesto en marcha iniciativas relacionadas con Agenda 21 con el objetivo de desarrollar el conocimiento, el diagnóstico y la reflexión sobre el conflicto del cambio climático a escala cercana.

## **Instituto Pirenaico de Ecología**

El Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC) se fundó en 1983 como resultado de la unión de dos centros de investigación: el Instituto de Estudios Pirenaicos (creado en 1942) y el Centro Pirenaico de Biología Experimental (fundado en 1963).

El principal objetivo del Instituto es el estudio de la estructura y la dinámica de los sistemas naturales, particularmente en áreas de montaña, en relación con el Cambio Global, a diferentes escalas temporales y espaciales. Sus publicaciones se centran en temas forestales, hidrológicos y de erosión, en algunos casos relacionados con el cambio climático.

## 5.2. *Los seres vivos y el Cambio Climático*

Es irrefutable el hecho de que los seres vivos están reaccionando ante el cambio climático. Así, el análisis de la distribución de más de 1.500 especies de aves, mariposas, flora alpina y arrecifes de coral en el hemisferio Norte ha revelado que los límites norte y la cota superior de dichas distribuciones se han desplazado, respectivamente, un promedio de 6,1 km por década hacia el norte, y 6,1 m por década en altitud ( $P < 0,02$ ) (Parmesan & Yohe, 2003). Por su parte, distintos análisis cuantitativos sobre las respuestas fenológicas estimaron un promedio de adelanto de 2,3 días por década para todas las especies (Parmesan & Yohe, 2003) y de 5,1 días por década para el grupo seleccionado de especies con cambios más significativos (Root *et al.*, 2003).

Las principales consecuencias del cambio climático sobre los seres vivos dependen de tres supuestos principales: el primero es que las especies consideradas tengan capacidad para *dispersarse* con facilidad, en cuyo caso la respuesta del ser vivo sería moverse. Cuando el movimiento libre no es una opción, la segunda posibilidad sería *adaptarse*. En último caso, ante la imposibilidad de movimiento o adaptación, la especie se encontraría fuera de las condiciones que forman su nicho, y tendría lugar la *extinción* (Peterson *et al.*, 2005).

Los actuales modelos de predicción de los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad se han desarrollado sobre cuatro bases principales: 1) modelos que consideran especies individualmente; 2) modelos que agrupan especies por su hábitat, o por condiciones ambientales adecuadas para la persistencia de estas especies; 3) modelos de circulación general, como las asociaciones océano-atmósfera-biosfera y, 4) modelos de especies-área que consideran todas las especies como grandes agregados (Botkin *et al.*, 2007). El uso, ventajas e inconvenientes de estos modelos ha sido discutido por diferentes autores, proponiendo, en su caso, sugerencias para mejorar su efectividad (ver por ej., Carey & Alexander, 2003; Botkin *et al.*, 2007).

En cuanto a los modelos de indicadores, los diferentes autores coinciden en un perfil idóneo: un buen indicador de cambio climático debe suministrar información desvinculada de los efectos de otros componentes del cambio global, para lo que es muy útil poder, 1) aportar a corto o medio plazo valores indicativos de la magnitud de los efectos del cambio climático, 2) presentar resultados fácilmente interpretables y que sean validables y comparables con un esfuerzo moderado. Por último, se aconseja que el indicador cuente con series de datos previas con las que establecer referencias y proyecciones (Erhard *et al.*, 2002).

España es uno de los países con mayor biodiversidad de la UE, y el que posee el mayor número de endemismos. Se espera que el cambio climático produzca: 1) cambios fenológicos en las poblaciones, con adelantos (o retrasos) en el inicio de actividad, llegada de migración o reproducción, 2) desajustes en las interacciones de los predadores y sus presas debidos a respuestas diferenciales al clima, 3) desplazamiento en la distribución de especies terrestres hacia el norte o hacia mayores altitudes, en algunos casos con una clara reducción de sus áreas de distribución; en ríos, desplazamiento de especies termófilas aguas arriba y disminución de la proporción de especies de aguas frías; en lagunas y lagos, la altitud, la latitud y la profundidad tienen efectos similares sobre las comunidades en relación con la temperatura, 4) mayor

virulencia de parásitos y, 5) aumento de poblaciones de especies invasoras (Moreno *et al.*, 2003).

Cada especie de fauna tiene un gasto de energía específico; por ello, parece lógico pensar que los cambios en la temperatura afectarán de manera distinta a especies dentro de una misma comunidad, pudiendo causar un desacoplamiento de las interacciones predator-presa y un reequilibrio de las interacciones competitivas (Graham & Grimm, 1990; Overpech *et al.*, 1992).

El calentamiento global permitirá a los insectos y otros animales ectotérmicos pasar por sus etapas juveniles más rápido, y por tanto llegar en un tiempo menor a la fase adulta, lo que podría resultar en tamaños corporales más pequeños y posiblemente permitiría a algunas especies reproducirse varias veces al año (Ayres & Lombardero, 2000; Peñuelas & Filella, 2001). El incremento de la temperatura corporal podría reducir el tiempo necesario para que los insectos alados, como las mariposas, alcancen el umbral de vuelo, posibilitando un incremento de las actividades dependientes del vuelo, como la localización de la pareja, dispersión, huída de predadores y puesta de huevos (Dennis, 1993). La diapausa (periodo de letargo) también podría verse afectada (Tauber *et al.*, 1986).

El adelantamiento de la brotación, la floración, la disponibilidad de frutos y la aparición de los insectos podría adelantar la disponibilidad de alimentos a muchas otras especies de fauna. Algunas especies migradoras podrían ser más vulnerables a discordancias entre la disponibilidad de recursos y su ciclo vital (Visser *et al.*, 1998).

Para la fauna endotérmica (aves y mamíferos), la temperatura ambiente influye en la energía invertida en mantener la homeostasis (temperatura constante del cuerpo). A medida que la temperatura asciende, la fauna probablemente modificará tanto sus límites de distribución como sus densidades. Las especies serán capaces de moverse hacia regiones en proceso de calentamiento y retirarse de zonas con temperaturas demasiado elevadas.

La fauna ectotérmica (por ejemplo, anfibios y reptiles) se ve sumamente influenciada por las condiciones ambientales. Así, se han observado efectos climáticos directos sobre su desarrollo, distribución e interacción entre especies, quedando en evidencia que tanto la temperatura como la humedad afectan su fisiología reproductiva y las dinámicas de su población. La ovogénesis y espermatogénesis de anfibios y reptiles de regiones templadas dependen de los regímenes estacionales de temperatura (Walther *et al.*, 2002).

### ***5.3. El uso de los seres vivos como Indicadores del Cambio Climático***

Las reacciones observadas de algunas especies o comunidades al cambio climático se utilizan como bioindicadores y están sirviendo para establecer, entre otras cuestiones, el ritmo al que se está produciendo este cambio (Parmesan & Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003, 2005).

A continuación se presenta el resultado del análisis sobre el uso de determinados grupos taxonómicos como indicadores del cambio climático. Se comienza por aquellos

que se han seleccionado positivamente por su aptitud para ser usados como indicadores. Además, dentro de cada grupo, se hace también una selección de los datos localizados para casos concretos sobre Aragón.

### 5.3.1. INDICADORES SELECCIONADOS

<p>Fauna</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Invertebrados <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Lepidópteros</b></li> </ul> </li> <li>Vertebrados <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Anfibios</b></li> </ul> </li> </ul> <p><b>Flora</b></p>
---

#### 5.3.1.1. Invertebrados

Dentro del grupo de los invertebrados, los insectos son organismos especialmente apropiados para hacer un seguimiento del cambio climático, debido a sus características biológicas: son poiquiloterms y de pequeño tamaño, por lo que su termorregulación y consecuente actividad está fuertemente afectada por la variabilidad meteorológica (Gordo & Sanz, 2006). Seguramente, debido a la vulnerabilidad ante el cambio climático de este grupo, existen numerosas publicaciones que demuestran su aptitud como bioindicadores útiles y precisos de cambio climático, pues su seguimiento puede llevarse a cabo fácilmente gracias a su sencilla identificación; incluso algunas especies podrían convertirse en bioindicadores internacionales.

Los restos de coleópteros del Cuaternario demuestran que los insectos normalmente cambian su distribución en respuesta al cambio climático, antes que adaptarse *in situ* o extinguirse (Coope, 1995). Pero para ello han de tener cierta movilidad y disponer de hábitat adecuados, por lo que generalmente son las especies más generalistas y menos exigentes las que suelen desplazar sus áreas de distribución en respuesta al calentamiento del clima, aunque muchas de ellas lo hagan con cierta demora (Warren *et al.*, 2001). Sin embargo, a las especies generalistas que pudieran ser capaces de desplazar o incluso expandir sus áreas de distribución para adaptarse al cambio climático se les suele atribuir, por sus características, un escaso valor de conservación en la actualidad (Warren *et al.*, 2001; Hill *et al.*, 2002). Por otra parte, las especies más especialistas tendrán más problemas para adaptarse al cambio climático, sobre todo rápidamente, y también debido en parte a la pérdida de hábitat (Warren *et al.*, 2001).

Teniendo en cuenta la fuerte influencia del clima sobre los insectos, su distribución puede ser fácilmente modelada con precisión utilizando variables climáticas. Las hipótesis predictivas apuntan a un desplazamiento en latitud y altitud y la colonización de territorios que son demasiado fríos en la actualidad. Este fenómeno ya se ha detectado para algunos taxones (Catling, 1996; Ellis *et al.*, 1999; Parmesan *et al.*, 1999; Warren *et al.*, 2001; Hill *et al.*, 2002; Crozier, 2003; Konvicka *et al.*, 2003;

Turchetto & Vanin, 2004; Hickling *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2005) y se ha predicho para algunos otros (Porter *et al.*, 1991; Williams & Liebhold, 1995; Kerr, 2001; Oberhauser & Townsed Peterson, 2004; Townsed Peterson *et al.*, 2004).

Algunos estudios parecen indicar que los cambios climáticos afectan menos a los márgenes de distribución meridional, más cálidos, que a los límites septentrionales (Parmesan *et al.*, 1999; Pounds *et al.*, 1999; Thomas & Lennon, 1999).

Sin embargo, muchas especies incluyen en su franja de distribución meridional, zonas montañosas del sur de Europa –como por ejemplo los Pirineos–. Es precisamente en estas zonas de elevada diversidad topográfica y microclimática donde el cambio climático ha provocado un desplazamiento en altitud –hacia lugares donde existen hábitat óptimos, siempre y cuando estuvieran disponibles– más que en latitud. Este hecho parece demostrar que la estabilidad meridional es sólo aparente, y que estos límites son tan sensibles al cambio climático como los límites septentrionales (Hill *et al.*, 2002). En cuanto a las especies que en la actualidad tienen su límite de distribución meridional en zonas de alta montaña, puede ocurrir que no tengan posibilidad de desplazarse a mayor altitud, lo que reduciría sus posibilidades de adaptación.

No sólo su distribución y abundancia parece verse afectada por los parámetros climáticos, sino que la fenología de los insectos también se muestra como bioindicador claro y preciso del cambio climático (Gordo & Sanz, 2006). En este sentido, la importancia de la temperatura en la fenología de los insectos ha sido extensamente demostrada en varios estudios (Zhou *et al.*, 1995; Sparks & Yates, 1997; Roy & Sparks, 2000; Forister & Shapiro, 2003; Stefanescu *et al.*, 2003; Dell *et al.*, 2005; Gordo & Sanz, 2005). Se ha comprobado que los adultos de las especies con estado larvario invernal emergen antes en años más cálidos (Gordo & Sanz, 2006).

Muchos insectos tienen varias generaciones en el mismo año, y como sus ciclos de vida son más cortos que los de la mayoría de los vertebrados y plantas, son capaces de ofrecer respuestas evolutivas que se pueden medir en un corto periodo de tiempo. Las múltiples generaciones anuales les permiten evolucionar rápidamente en respuesta al presente cambio climático (Rodríguez-Trelles & Rodríguez, 1998; Bradshaw & Holzapfel, 2001; Umina *et al.*, 2005).

Entre los insectos, los lepidópteros puede que sean el grupo más documentado. Así, existen multitud de estudios, tanto sobre la riqueza y composición de las comunidades (Wilson *et al.*, 2007, Stefanescu *et al.*, 2003), como sobre los cambios en su fenología (Stefanescu *et al.*, 2003; Roy & Sparks, 2000), así como trabajos generales de seguimiento en diversos países durante varias décadas (Stefanescu *et al.*, 2003; Gordo & Sanz, 2006; Pollard & Yates, 1993; Dennis, 1993; Turner *et al.*, 1987).

Son también numerosos los trabajos sobre orugas y plagas forestales (Montoya & Arias, 1997). A lo largo de los últimos 32 años, la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) se ha expandido 87 km en su límite norte en Francia, y 110-230 m en su límite altitudinal en Italia (Battisti *et al.*, 2005). Experimentos en el campo y en el laboratorio han ligado el comportamiento de alimentación de esta polilla a las temperaturas mínimas nocturnas, y su expansión ha sido asociada con los inviernos cálidos (Battisti *et al.*, 2005).

Por otra parte, también se han detectado cambios en la fenología de las abejas y los pulgones debidos al cambio climático (Gordo & Sanz, 2006; Hoover & Newman, 2004; Skirvin *et al.*, 1997; Zhou *et al.*, 1995).

Otro grupo considerado *a priori* como buen indicador, es el de los macroinvertebrados acuáticos. En el norte de Europa se analizaron series de comunidades de macrozoobentos en lagos y ríos, encontrándose, a través de un análisis multivariante, que las tendencias en la temperatura media ya tienen profundos impactos en la composición de especies de los lagos (Burgmer *et al.*, 2007). Sin embargo, a lo largo de la revisión bibliográfica no se han encontrado resultados más detallados, aunque podría resultar de interés el estudio de comunidades en los ibones pirenaicos para ver la influencia del incremento de temperatura en la composición de esas comunidades. Otra opción podría ser utilizar los datos que ya se estén recopilando en estudios existentes sobre los ibones y aplicar un análisis introduciendo la temperatura como variable para estudiar su influencia al menos en la composición de las comunidades.

En resumen, y teniendo en cuenta, por un lado que los insectos son extremadamente abundantes y fácilmente reconocibles, y por otro, los argumentos anteriormente expresados, puede concluirse que los invertebrados son un grupo excelente para establecer procedimientos y redes de seguimiento. Dentro de este grupo y en base a la bibliografía disponible, los lepidópteros parecen ser la opción más apropiada para su utilización como bioindicadores.

#### *Lepidópteros y cambio climático*

La bibliografía existente sobre lepidópteros y cambio climático es muy extensa. Este grupo, debido a sus características (al igual que otros insectos) es en general muy sensible a la temperatura. La información encontrada en estos artículos se puede dividir en dos grandes grupos: los que tratan sobre cambios en su distribución, y los que estudian los cambios en su fenología.

Respecto a su distribución, ya se ha comentado con anterioridad la influencia que el cambio climático está teniendo sobre la misma en los insectos en general, cuyos efectos son de aplicación también a los lepidópteros.

En cuanto a la fenología, en algunos estudios se han tomado parámetros fenológicos de las especies más comunes de lepidópteros para estudiar las tendencias a lo largo del tiempo y su relación con la temperatura y la precipitación. Se ha encontrado que la eclosión de las larvas es más temprana y existen alteraciones en las curvas de vuelo, relacionadas con los incrementos de temperatura en los meses entre febrero y junio. También se han encontrado correlaciones negativas entre la temperatura en primavera y los parámetros fenológicos (a mayor temperatura, más temprano eclosionan), y correlaciones positivas entre la precipitación en ciertos meses y la fenología (a mayor precipitación, más tarde eclosionan) (Stefanescu *et al.*, 2003; Roy & Sparks, 2000).

En otros estudios, se ha analizado la duración del periodo de vuelo, y la fecha de la primera aparición de la mariposa y del pico en la curva de vuelo (es decir, el máximo

de individuos adultos en vuelo). Mediante un cálculo con técnicas de regresión, se puede predecir que un calentamiento del orden de 1 °C podría adelantar la primera y la máxima aparición de la mayoría de las mariposas entre 2 y 10 días (Roy & Sparks, 2000).

### ➤ Invertebrados en Aragón

De entre todos los artículos revisados en este trabajo, se muestran a continuación aquellos que, en base a las especies tratadas, pudieran tener una aplicación directa en Aragón. De igual modo se ofrece un resumen de estos trabajos, destacando los parámetros estudiados que parecen estar correlacionados con el cambio climático.

En resumen, se han identificado en estos artículos 122 taxones de lepidópteros a los que parece afectar el cambio climático y que están citados en Aragón (García-Barros *et al.*, 2004). Se han buscado los parámetros estadísticos que pudieran ayudar a establecer una priorización de las especies más adecuadas para servir de indicadores, aunque no siempre se encontraron datos tan detallados en la información disponible.

El cambio climático parece incidir en tres factores biológicos principalmente: distribución, riqueza/composición y fenología.

En cuanto a los cambios en la distribución de los lepidópteros, se han encontrado artículos sobre investigaciones realizadas a distintas escalas, tanto europea como regional, con datos que pudieran ser de interés para el caso de Aragón.

A nivel europeo, Parmesan *et al.* (1999) analizaron la distribución de lepidópteros y encontraron desplazamientos latitudinales para un gran número de especies europeas no migradoras (presentes en el límite norte n=52 especies; presentes en el límite sur n=40 especies; de distribución general n=35 especies); 28 de las especies citadas están presentes en Aragón.

La mayoría de ellas se desplazaron hacia el norte entre 35 y 240 km, y sólo una pequeña parte se desplazó hacia el sur. Este hecho pudiera tener relación con que la temperatura media en Europa ha aumentado unos 0,8 °C a lo largo del siglo XX, desplazándose las isotermas hacia el norte una media de 120 km (Beniston & Tol, 1998 IPCC).

Según Parmesan *et al.* (1999), los desplazamientos hacia el norte son respuestas al incremento de las temperaturas. En su trabajo, estos autores ofrecen los resultados por especies y tipo de desplazamiento (norte, sur, estable), pero no están disponibles los parámetros estadísticos de correlación y confianza, por lo que no es posible establecer cuáles son las especies más sensibles a este cambio, aunque sí cuáles se encontraban en qué límite(s) y si se han desplazado o no.

Hill *et al.* (2002) estudiaron la distribución de 51 especies británicas para ver su respuesta altitudinal y latitudinal al calentamiento climático durante el siglo XX, encontrando que las especies con distribución septentrional y/o montana habían desaparecido de los lugares de menor altitud y colonizado sitios más elevados.

Para llegar a este resultado, se estudiaron 51 especies comparando datos de dos periodos: 1970-1982 y 1995-1999. Con ayuda de estos datos, además, se diseñó un

modelo para 35 de los taxones analizados de la distribución futura (2070-2099) con el fin de determinar la influencia climática sobre su distribución en el futuro. En esta selección, se excluyeron las especies más afectadas por alteración del hábitat, con lo que se pretendía interpretar los resultados obtenidos como una respuesta de los lepidópteros al cambio climático. De los 35 taxones seleccionados para el modelo, 25 se encuentran también en Aragón.

Entre los resultados ofrecidos en este trabajo, destacan los siguientes:

- La mayoría de las especies de distribución septentrional no podrán expandirse hacia el norte y desaparecerán en zonas del sur, reduciendo así su área de distribución potencial.
- Las especies de distribución meridional podrán potencialmente desplazarse hacia el norte, con lo que sus rangos de distribución quedarán igual o se incrementarán. Sin embargo, muchas de ellas no encontrarán un hábitat adecuado, por lo que se calcula que su distribución también se reducirá en un 24%.
- Se estima una reducción media de un 30,8% en el área de distribución para las 35 especies estudiadas.

En este artículo se muestran los niveles de confianza y los coeficientes de adecuación al modelo empleado, pudiendo priorizar la sensibilidad al cambio climático de las especies analizadas.

En base a los datos ofrecidos por Hill *et al.* (2002), se han seleccionado las especies para las que se prevé una reducción de presencia mayor al 25% en un muestreo de cuadrículas de 50x50 km, que sufrirán una pérdida de hábitat adecuado. En la Tabla 1, se muestran aquellas presentes en Aragón (García-Barros *et al.*, 2004):

<b>Taxon</b>	<b>Reducción estimada del hábitat 2070-2099</b>
<i>Limenitis camilla</i>	-70%
<i>Erebia epiphron</i>	-69%
<i>Apatura iris</i>	-58%
<i>Carterocephalus palaemon</i>	-51%
<i>Euphydryas aurinia</i>	-31%
<i>Thecla betulae</i>	-29%
<i>Hipparchia semele</i>	-26%

**Tabla 1.** Invertebrados presentes en Aragón cuyo área de distribución se reducirá más de un 25% según Hill *et al.* (2002).

Wilson *et al.* (2005), detectaron que los límites altitudinales inferiores de 16 especies de mariposas en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central), habían aumentado unos 212 m de media entre los años 1967-1973 y 2004, acompañados por un incremento de 1,3 °C en la temperatura media anual (que equivale a una elevación de las isothermas de unos 225 m).

Más adelante, los mismos autores Wilson *et al.* (2007) en la misma zona compararon datos de riqueza y composición de las comunidades de mariposas para los periodos de 1967-1973 y 2004-2005. Para el primer periodo se utilizaron datos recopilados en el campo (Montserrat, 1976) y para el segundo se aplicó una metodología basada en Pollard & Yates (1993) sobre procedimientos para el seguimiento de los lepidópteros, realizando transectos de unos 500 m en días apropiados para la actividad de las mariposas.

Se recogieron datos de unos 107 taxones, divididos en 3 grupos: especies comunes (n=50), especies que se distribuyen en altitudes elevadas (n=42) y especies de distribución a baja altitud (n=15). De estos 107 taxones, se considera que 94 están presentes en Aragón (García-Barros *et al.*, 2004).

De entre las conclusiones de este estudio, cabría destacar que:

- Se produjo un cambio generalizado en la riqueza de las comunidades.
- En zonas de baja altitud se extinguieron los especialistas.
- En zonas de elevada altitud aumentó el número de especies generalistas.
- En zonas de montaña parece que la respuesta al cambio climático es más rápida que en zonas llanas, puesto que las montañas suelen conservar hábitat relativamente intactos y porque los gradientes altitudinales permiten a las especies encontrar climas correspondientes a mayor altitud sin tener que desplazarse largas distancias.
- Composición: las comunidades se desplazaron en altitud.
- La riqueza local de especies disminuyó entre un estudio y otro, sobre todo en las zonas de menor altitud.
- La región con la riqueza más elevada se desplazó desde los 800-1.600 m para el periodo 1967-1973 hasta los 1.000≥1.600 m. Esto no se puede achacar a la pérdida de hábitat, puesto que se trata de zonas generalmente naturales. Además, las plantas nutricias tampoco se vieron afectadas.
- La composición local está íntimamente ligada a la altitud, pero ésta también se desplazó unos 293 m para el mismo periodo.

En cuanto al análisis de los parámetros fenológicos, y aunque los autores aplican diferentes análisis estadísticos, normalmente los cambios hallados para la mayoría de las especies estudiadas suelen coincidir y, en mayor o menor medida, suelen consistir en:

- 1) adelantos en la fecha de la primera aparición, a mayor temperatura media entre los meses de febrero y abril,
- 2) adelantos en la fecha del pico máximo en la curva de vuelo y

3) alargamiento del periodo de vuelo.

Si bien en los artículos sobre distribución no hay muchos parámetros estadísticos para poder seleccionar las especies más vulnerables o más adecuadas para hacer un seguimiento del cambio climático sobre ellas, en los de fenología sí se suelen incluir, lo que permite priorizar aquellas especies más sensibles a los cambios en su fenología, en relación generalmente con la temperatura en primavera.

Para obtener estos datos, normalmente se recurre a colecciones de datos existentes, muestreos en campo realizando transectos, o ambos métodos, para comparar datos de distintos periodos.

En general, en todos los estudios se ha considerado que la temperatura en primavera es la variable que explica los cambios en la fenología de los insectos, como respuesta al calentamiento global (Gordo & Sanz, 2006).

Algunos artículos trabajan con conjuntos de especies utilizando también la metodología de Pollard & Yates (1993) en los muestreos, y otros se limitan a comparar estudios de una o pocas especies seleccionadas para ver cómo les afecta el cambio climático.

A partir de la información analizada se ha tratado de establecer cuáles son las especies que muestran mayor sensibilidad al cambio climático, aunque no ha sido una tarea fácil, pues los estudios aplican análisis diferentes, con lo cual no siempre se han encontrado concordancias en los resultados. No obstante, a continuación se muestra una primera aproximación de cuáles pudieran ser estas especies.

Roy & Sparks (2000) estudiaron para el periodo de 1976 a 1998 el efecto de la temperatura sobre la fenología de 35 especies de mariposas en Gran Bretaña, que agruparon en tres tipos:

- a) las especies con un periodo de vuelo anual (univoltinas),
- b) las especies con dos periodos de vuelo, pero una sola generación (bivoltinas) y,
- c) las especies con dos o más periodos de vuelo y varias generaciones (multivoltinas).

Se estudiaron las tendencias sobre las tres variables fenológicas a lo largo del tiempo para periodos de 10 años, encontrando cambios en general, aunque no siempre estadísticamente significativos. Apareció una clara correlación negativa entre la temperatura en primavera y las fechas del primer vuelo y del pico en la curva de vuelo, es decir, que en los años en los que la temperatura fue mayor, se adelantaron tanto la fecha del primer vuelo como la del máximo de individuos en vuelo, mientras que la duración de periodo de vuelo aumentaba, en general, con la temperatura en primavera y especialmente para las especies multivoltinas.

La mayoría de las especies estudiadas en el trabajo de Roy & Sparks (2000) se pueden hallar en Aragón (n=28); aquellas cuyos parámetros fenológicos se han visto

más alterados y más influidos por la temperatura según este estudio y que además están presentes en Aragón son: *Anthocharis cardamines*, *Aphantopus hyperantus*, *Erynnis tages*, *Inachis io*, *Lasiommata megera*, *Melanargia galathea*, *Ochlodes venata*, *Pararge aegeria*, *Pieris brassicae*, *Pieris napi*, *Polygonia c-album*, *Pyronia tithonus*, y *Vanessa atalanta*.

Stefanescu *et al.* (2003) estudiaron la influencia de los parámetros climáticos de temperatura y precipitación en primavera sobre las tres variables fenológicas mencionadas durante el periodo 1988-2002 y para 19 especies muy comunes en España, 17 de las cuales están presentes en Aragón.

De los tres parámetros observados, se encontró una tendencia a adelantar tanto las fechas de primera aparición para 17 de ellas (5 de forma significativa), como la fecha media de vuelo para todas ellas (8 de forma significativa). Durante el mismo periodo, la temperatura media de los meses de febrero, marzo y junio aumentó entre 1 y 1,5 °C. De las especies estudiadas, las más afectadas, y que están presentes en Aragón, fueron: *Celastrina argiolus*, *Coenonympha pamphilus*, *Lasiommata megera*, *Melanargia lachesis*, *Ochlodes venata*, *Pieris napi*, *Plebejus argus*, y *Pyronia cecilia*.

Gordo & Sanz (2006) estudiaron el efecto del calentamiento global sobre la fenología de *Apis mellifera* y *Pieris rapae* en 798 localidades de la Península Ibérica entre 1952 y 2004, encontrando una clara relación entre la fenología de estas especies y la temperatura media en primavera. Aunque la abeja de miel no es un lepidóptero, se ha incluido en este estudio por su interés y posible utilidad en Aragón. Los resultados muestran que existe una correlación negativa entre la temperatura media de los meses de febrero a abril y la fecha de primera aparición de estas especies. La ventaja de utilizar estas dos especies tan frecuentes es que podrían servir como bioindicadores comparables incluso a nivel internacional.

Estos mismos autores obtuvieron algunas diferencias con otros estudios hechos en el Reino Unido, en los que no se encontraron cambios significativos en la desviación típica, mientras que por el contrario, en la Península Ibérica sí que se encontró un avance significativo de la fecha de primera aparición de hasta 6 días. Esto puede ser debido seguramente a que la Península Ibérica tiene una mayor heterogeneidad, en comparación con Gran Bretaña (Roy & Sparks, 2000). En esta misma línea, y para dar mayor peso a los resultados hallados en España, también se indican algunas similitudes con artículos parecidos que tratan sobre sistemas mediterráneos durante los mismos periodos, confirmando en todos ellos la tendencia a adelantar la fecha de aparición (Peñuelas *et al.*, 2002; Forister & Shapiro, 2003; Stefanescu *et al.*, 2003).

#### **5.3.1.2. Anfibios**

Se han analizado numerosos artículos que tratan de relacionar los anfibios con el actual proceso de cambio climático, pero también con cambios climáticos ocurridos en épocas anteriores, ya que durante los 350 millones de años de evolución de este grupo

faunístico (Duellman & Trueb, 1985), los episodios de cambio climático han sido la norma más que la excepción.

Los anfibios son extremadamente sensibles a pequeños cambios en la temperatura y la humedad, debido principalmente a su piel permeable, ciclo de vida bifásico y huevos sin cubierta (Carey & Alexander, 2003), por lo que su fenología reproductiva, su éxito reproductivo, la disminución de sus funciones inmunes y el aumento de la sensibilidad a contaminantes químicos pueden estar afectadas directamente por el calentamiento global (Young *et al.*, 2001). La mayoría de las tasas de los procesos fisiológicos y bioquímicos aumentan dos o tres veces por cada 10°C de incremento en su temperatura corporal (Rome *et al.*, 1992).

Los anfibios de regiones templadas pueden incluso ser más susceptibles al aumento de temperaturas, ya que en estas zonas las especies pasan gran parte del año inactivas, evitando los inviernos muy fríos y los veranos muy cálidos. Los eventuales aumentos de la temperatura o de la humedad pueden forzarles a despertar de su letargo y migrar a las zonas húmedas para reproducirse, por lo que estas fechas pueden verse adelantadas debido al cambio climático. Esto podría significar que pudieran volverse más vulnerables a inundaciones debidas a la fusión de la nieve, o a heladas que serán más probables en fechas más tempranas del invierno. Para probar esta hipótesis, investigadores de Europa y Norteamérica han analizado datos a largo plazo buscando tendencias de reproducción temprana, encontrando qué especies parecen mostrar esta tendencia y cuáles no (Beebee, 1995; Blaustein *et al.*, 2001; Gibbs & Breisch, 2001). Para una misma especie, esta tendencia puede variar regionalmente (Gibbs & Breisch, 2001).

Además de los cambios en la fenología, numerosos estudios, principalmente de los trópicos, han analizado los datos existentes y han encontrado relaciones entre la disminución de algunas poblaciones y la incidencia de las condiciones climáticas irregulares. En Costa Rica, las primeras extinciones atribuidas al cambio climático se han dado en especies restringidas a zonas de montaña (Pounds *et al.*, 1999, 2005). Entre 1979 y 1982, Heyer *et al.* (1988) comprobaron en Brasil la correspondencia de diversos episodios de heladas severas con la extinción de cinco especies de ranas. También en Brasil, Weygoldt (1989) encontró otras evidencias de declive de especies asociadas con inviernos secos. En el este de Australia, Ingram (1990) y Laurance (1996) encontraron correlaciones entre periodos de sequía y declives masivos de anfibios ligados a arroyos de bosques tropicales. En América del Norte, Corn & Fogleman (1984) encontraron correlaciones positivas entre la extinción de las poblaciones de montaña de la rana leopardo (*Rana pipiens*) y la sequía. En Puerto Rico, Stewart (1995) comprobó que los espectaculares declives poblacionales de varias especies en 1983 se correspondieron con un incremento en el número de periodos secos que se prolongaron durante muchos días consecutivos (con menos de 3 mm de lluvia), en lugar de con un descenso generalizado de las precipitaciones anuales. Finalmente, en los bosques de Monteverde, Costa Rica, Pounds *et al.* (1999, 1994) encontraron una relación entre la frecuencia de neblinas y el declive y posible extinción de numerosas especies de anfibios. Más recientemente, Pounds *et al.* (2006) han comprobado la relación entre los declives de especies de anfibios tras periodos regionales de calentamiento.

Los fenómenos locales de extinción también se relacionan en ocasiones con lugares donde el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* encuentra sus condiciones termales óptimas (Pounds *et al.*, 2006).

Se ha demostrado (Araújo *et al.*, 2008) que la riqueza de especies de anfibios y reptiles existentes en Europa puede explicarse por los cambios climáticos que se dieron en el Cuaternario más que por el clima contemporáneo, es decir, la distribución de estas especies estaría aún afectada por el clima de la última glaciación. Este estudio indica que en el sur de Europa las especies endémicas continúan estando limitadas por las áreas que no superaban los cero grados centígrados de media anual en el último periodo de glaciación hace 21.000 años. Por el contrario, las áreas que en la actualidad presentan temperaturas medias inferiores a cero grados centígrados son las que limitan la distribución de las especies más comunes. Así, los actuales cambios climáticos se verían más fácilmente reflejados en las especies comunes que en las endémicas, muy especializadas.

Este estudio plantea una visión innovadora en su campo, proponiendo que las especies resultan excluidas de las áreas que sufren cambios climáticos más drásticos, mientras que la estabilidad del clima mantenida a lo largo del tiempo favorece su persistencia y especiación. La teoría que defiende una respuesta lenta al cambio climático entraría en conflicto con los modelos actuales de impacto del cambio de clima en las especies, porque se asume que la adaptación de las especies a estos cambios actuales y futuros será rápida. Esto puede ser cierto para especies de aves y lepidópteros, con elevada capacidad de dispersión, pero no es el caso de reptiles y anfibios, que se prevé resulten más expuestos al cambio climático en el futuro.

En cuanto a los cambios en la distribución, a la vista de las modelizaciones sobre distribución de los anfibios y reptiles en Europa llevadas a cabo por Araújo *et al.* (2006), utilizando cuatro técnicas distintas y según cinco escenarios de cambio climático para 2050, se estima que las mayores pérdidas de hábitat potencial ocurrirán en el sudoeste de Europa, incluyendo la Península Ibérica; las mayores pérdidas de anfibios en Aragón se darán en el Prepirineo. Teniendo en cuenta la escasa capacidad de dispersión tanto de anfibios como de reptiles, así como su carácter filopátrico (Sinsch, 1991; Blaustein *et al.*, 1994), la Figura 1 muestra los resultados del estudio para el caso de nula dispersión, más realista que la otra hipótesis analizada, de dispersión ilimitada (Araújo *et al.*, 2006).



**Figura 1.** Pérdida proyectada de especies de anfibios en 2050 considerando nula dispersión. (Fuente: Araújo *et al.*, 2006).

La dificultad de determinar relaciones causales entre eventos, como declives poblacionales en anfibios y cambios ambientales como temperatura y precipitación, hace que los estudios basados únicamente en correlaciones, y no en experimentos que determinen las causas, tengan lagunas y deban considerar, según Carey & Alexander (2003), los siguientes factores:

- Basar los estudios en observaciones en distintas zonas, ya que las correlaciones entre declives y cambios climáticos en varios sitios son más sólidas. Otra alternativa sería analizar estos factores en un mismo sitio, pero para varios episodios.
- Llevar a cabo los estudios con una duración suficientemente larga para asegurar que los resultados obtenidos implican causalidad. Una mortalidad masiva en un año húmedo y frío y otra en un año seco y cálido implican que el fenómeno no causó la mortalidad.
- Documentar la asociación en el tiempo de las condiciones climáticas y del declive poblacional. Para ser una causa potencial de la mortalidad, las condiciones climáticas concretas deben ocurrir invariablemente antes o en el mismo momento de la extinción, no después.
- Buscar evidencias de una respuesta a la intensidad del factor. Cuando los factores climáticos más extremos se corresponden con mortalidades más altas, la posibilidad de una relación causal merece mayor investigación. Por supuesto, la relación puede no ser lineal, y puede darse el caso de que una especie de anfibio no se vea afectada por la temperatura hasta alcanzar un valor umbral.
- Evaluar la plausibilidad de la asociación entre factores climáticos y un declive puntual de una población, teniendo en cuenta el comportamiento y la biología de la especie en concreto.
- Valorar la adecuación de los datos climáticos utilizados para el análisis. A pesar de que los tipos de datos más usados para analizar la relación entre el clima y los declives de anfibios suelen ser las temperaturas y/o precipitaciones anuales o mensuales máximas, teniendo en cuenta el calentamiento global, las temperaturas mínimas diarias parecen haber cambiado más drásticamente en numerosas localidades que las máximas (Easterling *et al.*, 2000a), además de que para anfibios con actividad nocturna, las temperaturas máximas pueden ser menos limitantes que las mínimas. La elección de las variables climáticas es crucial para obtener unos resultados válidos.
- Para especies con amplias áreas de distribución, evaluar el número y la localización de las estaciones meteorológicas a utilizar para los datos climáticos.

### **Anfibios en Aragón**

De entre los numerosos artículos científicos revisados, se han encontrado referencias a 8 de las especies de este grupo presentes en Aragón. Los resultados encontrados, así como algunas características relevantes sobre las especies, se describen a continuación.

#### **Bufo calamita – Sapo corredor**

Su área de distribución actual abarca gran parte del occidente continental europeo. En España, se distribuye de forma continua por todo el interior peninsular, faltando sólo en las islas.

Numerosos estudios (Beebee, 1995; Blaustein *et al.*, 2001; Blaustein *et al.*, 2003; Gibbs & Breisch, 2001) realizados principalmente en Reino Unido, coinciden en señalar que existe una tendencia significativa hacia un adelanto del inicio de su reproducción. Su fenología reproductiva está muy relacionada con el régimen local de precipitaciones (Requés & Tejedo, 2002).

#### Bufo bufo – Sapo común

Su distribución actual incluye toda la región paleártica, estando presente casi en la totalidad de la Península Ibérica y de manera continua por todo el territorio de Aragón.

Se encuentra incluido en la categoría “De Interés Especial” en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón (Decreto 49/1995, de 28 de marzo).

A pesar de no ser Aragón su límite de distribución, se ha modelizado una disminución en su área de distribución a nivel nacional de más del 30% para el año 2041 según el escenario A2 con distintos modelos climáticos (Araújo *et al.*, 2010). Además, se estima que el solapamiento entre su distribución real actual y la potencial futura oscilará entre el 26 y el 38%, muy por debajo del 70% que se considera límite para indicar que la especie, con limitada capacidad de dispersión, necesita medidas de adaptación específicas para hacer posible su dispersión por el territorio (Araújo *et al.*, 2010).

En cuanto a los aspectos fenológicos, el análisis de la fecha de llegada a las charcas usadas para la reproducción de esta especie en Reino Unido, a pesar de no demostrar una tendencia significativa al adelanto generalizado del inicio de la reproducción (también según Beebee, 1995; Blaustein *et al.*, 2001; Blaustein *et al.*, 2003; Gibbs & Breisch, 2001), demuestra que dicha fecha está relacionada con la temperatura media y con la duración de los días (Reading, 1998).

#### Pelophylax (Rana) perezi – Rana común

Su distribución mundial comprende toda la Península Ibérica y el sur de Francia, estando ampliamente distribuida por la práctica totalidad de este área, faltando únicamente en las cotas de mayor nivel altitudinal.

Según Araújo *et al.* (2010), se prevé un cambio en su distribución potencial hasta 2041 superior al 30%, tanto para el escenario A2 como para B2, con distintos modelos climáticos. Además, según esos mismos modelos se estima que el solapamiento entre la distribución real actual y la potencial futura será de entre el 16 y el 56%, por debajo del 70% que se considera límite para indicar que la especie necesita medidas de adaptación específicas para auxiliar su dispersión por el territorio.

#### Salamandra salamandra – Salamandra común

La especie ocupa en la actualidad la mayor parte de la región paleártica occidental, y en España está presente en Galicia, la cornisa cantábrica, los Pirineos y también se

extiende siguiendo el contorno de las sierras del Sistema Central, Montes de Toledo, Sierra Morena y las Sierras Béticas. En Aragón se distribuye mayoritariamente por el Pirineo.

Se encuentra incluida en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón en la categoría De Interés Especial (Decreto 49/1995, de 28 de marzo).

Estudios llevados a cabo por Araújo *et al.* (2010) prevén un cambio en su distribución potencial hasta 2041 superior al 30%, tanto para el escenario A2 como para B2, con distintos modelos climáticos. Además, según esos mismos modelos se estima que el solapamiento entre la distribución real actual y la potencial futura será de entre el 26 y el 40%, muy por debajo del 70% que se considera límite para indicar que la especie necesita medidas de adaptación específicas para auxiliar su dispersión por el territorio.

#### *Triturus marmoratus* – Tritón jaspeado

Su distribución mundial ocupa el norte, centro y oeste de la Península Ibérica, y también el centro y el oeste de Francia. Dentro de la Península Ibérica ocupa únicamente la mitad septentrional, siendo más dispersa su localización en el centro y este de su distribución. Así, se extiende desde las costas occidentales de Galicia y Portugal hasta el Pirineo Oriental y la costa del norte de Cataluña. Falta en el Pirineo Central y en gran parte del valle del Ebro. Hacia el sureste, su distribución se detiene en los contrafuertes meridionales del Sistema Ibérico septentrional, con poblaciones aisladas en áreas próximas a la desembocadura del Ebro.

Los estudios de Araújo *et al.* (2010) prevén un cambio en su distribución potencial hasta 2041 superior al 30% para el escenario A2, con distintos modelos climáticos. Además, el mismo autor estima que el solapamiento entre la distribución real actual y la potencial futura será de entre el 8 y el 32%, muy por debajo del 70% que se considera límite para indicar que la especie necesita medidas de adaptación específicas para auxiliar su dispersión por el territorio.

#### *Alytes obstetricans* – Sapo partero común

Se trata de una especie fundamentalmente europea, estando bien distribuida por la Península Ibérica, y considerada abundante en el tercio norte, desde Galicia a Cataluña, siendo más escasa en Zaragoza y sur de Huesca, límite meridional de su distribución mundial.

Las poblaciones aragonesas situadas a más de 2.000 m de altitud se encuentran en clara regresión en los últimos años.

Las modelizaciones realizadas por Araújo *et al.* (2010) prevén un cambio en su distribución potencial hasta 2041 superior al 30% para el escenario A2, con distintos modelos climáticos. Además, el mismo autor estima que el solapamiento entre la distribución real actual y la potencial futura será de entre el 46 y el 51%, por debajo del 70% que se considera límite para indicar que la especie necesita medidas de adaptación específicas para auxiliar su dispersión por el territorio (Araújo *et al.*, 2010).

### *Pelobates cultripipes* – Sapo de espuelas

Su distribución mundial se limita exclusivamente a la Península Ibérica y a las costas mediterránea y occidental de Francia. Dentro de la Península Ibérica tiene una distribución prácticamente continua, haciéndose sus poblaciones más escasas o incluso desapareciendo en el Norte. En Aragón no penetra en Pirineos.

A pesar de una tendencia general de incremento de las condiciones climáticas favorables para la especie, su limitada capacidad de dispersión hace que las predicciones para la especie en Aragón sean de disminución drástica de su área de distribución actual (Araújo *et al.*, 2006). Dado que el desarrollo larvario tiene lugar en espacios acuáticos estacionales pero que mantienen agua varios meses al año (Pleguezuelos *et al.*, 2002), la disponibilidad de agua puede ser un factor limitante.

En cuanto a su fenología, las heladas condicionan el inicio de la reproducción, que suele ser entre final de febrero y principios de mayo (Pleguezuelos *et al.*, 2002).

### *Lissotriton helveticus* – Tritón palmeado

Su área de distribución actual abarca Europa Occidental, incluyendo el norte de la Península Ibérica. Su límite meridional en el nordeste de la Península viene determinado por el valle del Ebro.

Numerosos estudios (Beebee, 1995; Blaustein *et al.*, 2001; Blaustein *et al.*, 2003; Gibbs & Breisch 2001) realizados principalmente en Reino Unido, coinciden en señalar que existe una tendencia significativa hacia un adelanto del inicio de su reproducción.

## **5.3.1.3. Flora**

El cambio climático ya ha provocado cambios en la distribución de especies de flora en muchas partes del mundo. En Europa, se han proyectado las distribuciones de 1.350 especies hasta finales del siglo XXI según siete escenarios de cambio climático, mostrando que muchas de ellas podrían llegar a estar muy amenazadas (Thuiller *et al.*, 2005).

La señal del cambio climático confirmada hasta ahora es todavía moderada y sus efectos se empiezan a detectar de modo parcial. Las evidencias más palpables y generalizadas por lo que concierne a la flora en nuestras latitudes se refieren a las modificaciones de la fenología de ciertas especies y a los patrones de crecimiento detectados en los anillos anuales de los árboles (Hughes, 2000; Walther *et al.*, 2002; Gitay *et al.*, 2002). También se han constatado cambios en la composición de ciertas comunidades, movimientos de flora, tanto autóctona como invasora, e incluso virulencia de ciertas plagas, que se han interpretado como consecuencias del cambio climático. Estas evidencias son a menudo difíciles de separar de otros impactos del cambio global y, en cualquier caso, no reúnen todavía el cuerpo de datos necesario para conformar un indicador. Hay estudios que muestran cómo pueden producirse los impactos del cambio climático en las plantas, así como evidencias de los efectos de otros componentes del

cambio global (composición química de la atmósfera, cambios de uso del territorio) en la diversidad vegetal. La magnitud y complejidad de los impactos previsibles requieren por ello el desarrollo de seguimientos más detallados que permitan confirmar las respuestas esperadas o prever a tiempo las inesperadas.

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (2004), el cambio climático es responsable de variaciones en la distribución de bastantes especies de plantas en Europa, existiendo una tendencia a desplazarse hacia el norte y a mayores altitudes. Los ecosistemas de montaña en grandes áreas de Europa parecen estar cambiando a medida que las especies pioneras se expanden por zonas de mayor altitud y las especies adaptadas a condiciones de frío desaparecen de sus rangos de distribución.

Las predicciones de esta Agencia sugieren que a finales del siglo XXI la distribución de las especies de flora europea se habrán desplazado cientos de kilómetros hacia el norte, los bosques habrán visto reducida su extensión en el sur, expandiéndose hacia el norte, y el 60% de las especies de flora de montaña podría enfrentarse a la extinción. La tasa de cambio excederá la capacidad de adaptación de muchas especies, especialmente si se tiene en cuenta que la fragmentación del hábitat reduce la posibilidad de movimiento.

Los factores ambientales que más afectan al ciclo de vida de las plantas son el periodo de luz y la temperatura, y de forma menos habitual, la humedad disponible (Gordo & Sanz, 2009). En general, se estima que el incremento de la temperatura hará que se adelanten la mayoría de los eventos estacionales del ciclo de las plantas. Por ejemplo, la relación positiva existente entre la fecha de floración y la temperatura en primavera sugiere que en Gran Bretaña muchas plantas podrían florecer hasta 25 días antes con un incremento de 2,5° C (Fitter *et al.*, 1995; Sparks *et al.*, 2000). No ocurre lo mismo con el inicio de la brotación, que podría mantenerse igual o retrasarse en algunas especies de árboles (Murray *et al.*, 1989), debido a que los brotes de la mayoría de las especies de bosques templados requieren un período frío seguido por un incremento de las temperaturas para despertar del invierno. Si el cambio climático suprime el necesario efecto del frío sobre los brotes, éstos permanecerán parcialmente aletargados en primavera y requerirán un periodo cálido más intenso antes de percibir adecuadamente la señal del aumento en la temperatura.

Son también esperables, y ya se han observado, cambios en la fenología durante el otoño, produciendo retrasos tanto en el cambio de color de las hojas como en su caída. La combinación de primaveras tempranas y otoños tardíos supone unos ciclos más largos, como se ha observado en numerosos estudios a gran escala (Schwartz, 1998). De igual forma, este aspecto puede verse afectado por incrementos en la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico, aunque es difícil generalizar los efectos, que parecen ser altamente específicos para las especies, y que varían entre aceleración, retraso, o ningún efecto observado, a juzgar por varios estudios experimentales (Murray & Ceulemans, 1998; Ward & Strain, 1999).

La “mediterraneización” del norte peninsular y la “aridización” del sur son las tendencias más significativas durante el próximo siglo. En el escenario más adverso se detecta un desplazamiento de casi un piso bioclimático completo en la mayor parte del territorio, que se reduce casi a la mitad en el escenario más benigno y favorable. Los desplazamientos de los límites climáticos actuales excederán la capacidad de migración de muchas especies vegetales (Moreno *et al.*, 2003).

En zonas de alta montaña, donde la productividad primaria está muy limitada por la estación libre de innivación, y donde la fusión de la nieve supone un momento clave para el inicio del crecimiento y la floración, se esperan cambios notables debidos al incremento de temperatura (Price & Waser, 1998; Inouye *et al.*, 2002).

La mayor vulnerabilidad se prevé para la vegetación de alta montaña, para los bosques y arbustos caducifolios sensibles a la agudización de la sequía estival y para los bosques esclerófilos y lauroides. Las tendencias previsibles en la mayor parte del territorio confluyen en torno a la simplificación estructural de la vegetación y el predominio de las extinciones locales sobre las recolonizaciones, que correrán a cargo de especies tolerantes y de distribución relativamente amplia (Moreno *et al.*, 2003).

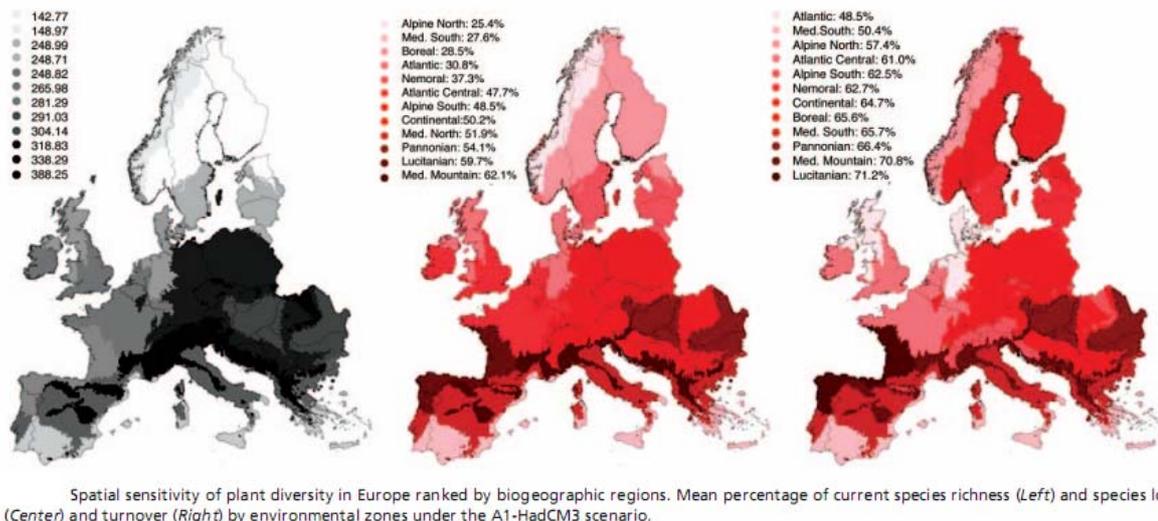
Un estudio llevado a cabo en los Alpes (Erschbamer *et al.*, 2009), muestra cambios a corto plazo (5 años) en el número, la frecuencia y la composición de varias especies de flora de alta montaña. El estudio se llevó a cabo a gran escala (4 cimas montañosas) y a pequeña escala (16 pequeños cercados de 1 m<sup>2</sup> por cada cima), y podría servir de ejemplo para replicarlo en zonas montañosas aragonesas.

En el sector forestal, las plagas y enfermedades pueden jugar un papel fundamental en la fragmentación de las áreas forestales. Algunas especies perforadoras o defoliadoras pueden llegar a completar dos ciclos biológicos en un año o aumentar su área de colonización como consecuencia de los inviernos más benignos. La fisiología de la mayor parte de especies forestales se puede ver profundamente afectada. Las cumbres de las montañas, los ambientes más xéricos, y los bosques de ribera son algunas de las zonas que pueden resultar más vulnerables al cambio climático (Moreno *et al.*, 2005). Existe una red de parcelas para el seguimiento de daños forestales (Montoya & López Arias, 1997), cuyos resultados son imprescindibles para evaluar los efectos de sequías y plagas.

Los briofitos pueden resultar útiles como indicadores del cambio climático gracias a su sistema único de regulación fisiológica del agua, que les permite sobrevivir en una gran variedad de climas. De este modo, pueden crecer durante periodos en los que el agua está disponible y/o suspender su metabolismo cuando no la hay. Los efectos del cambio climático en los briofitos pueden verse en su crecimiento y en la distribución de las especies individuales, del conjunto de la comunidad, y de los ecosistemas que representan.

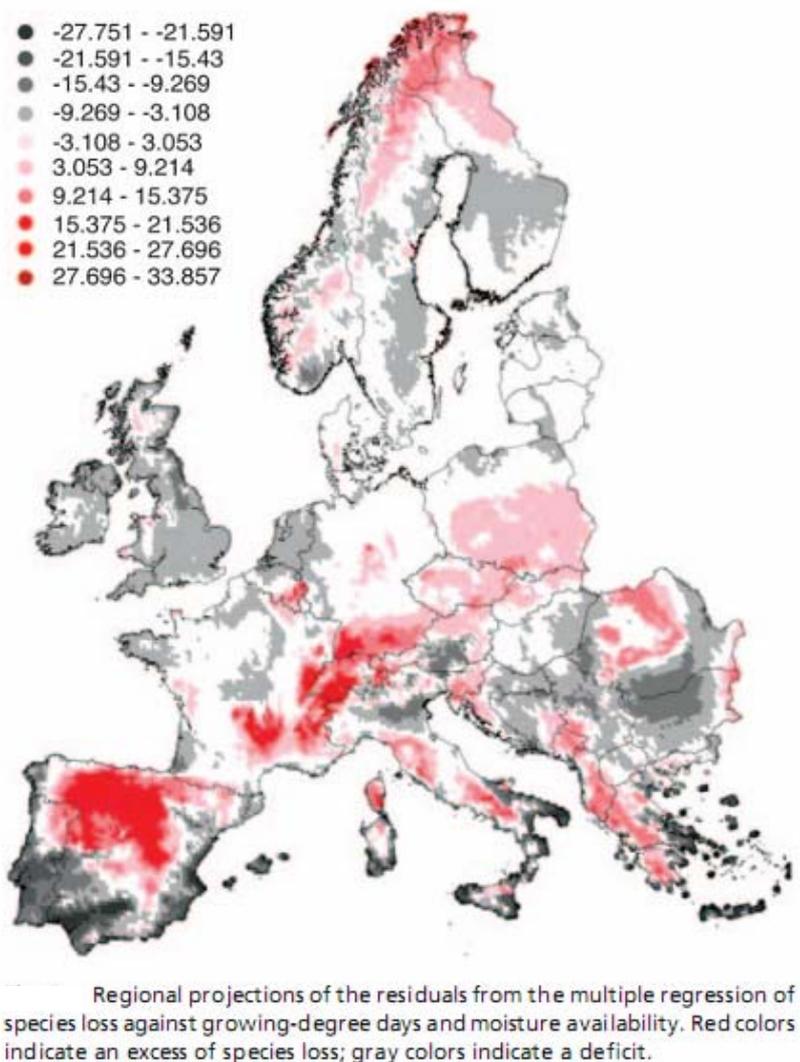
Los cambios a corto plazo de las condiciones ambientales también se manifiestan en cambios en la vegetación de los prados de montaña. A largo plazo, los cambios en la temperatura o la humedad conducen a cambios en la composición de las especies y en su diversidad (Harte & Shaw, 1995).

Tras proyectar las distribuciones de 1.350 especies de flora europea hasta finales del siglo XXI, Thuiller *et al.*, (2005) identificaron las regiones más sensibles a la pérdida de especies (Figura 2): región norte Mediterráneo (52%), región Lusitánica (60%) y región de montaña Mediterránea (62%). El patrón seguido por los movimientos de especies es distinto, mostrando picos en la transición entre las regiones Mediterránea y continental, con desaparición de especies Euro-Siberianas y expansión de las Mediterráneas o Atlánticas.



**Figura 2.** Porcentaje medio de riqueza actual, pérdida de especies y movimiento de especies según zonas ambientales según el escenario A1-HadCM3, de máximo cambio.  
(Fuente: Thuiller *et al.*, 2005.)

A pesar de la gran escala del análisis, se observó que las especies de flora de montaña, con un 60% de pérdida de especies, serán mucho más sensibles al cambio climático que el resto de las especies. En la Figura 3 pueden observarse las zonas con mayores pérdidas de especies proyectadas: Alpes de altitud media, Pirineos de altitud media, España central, Cevennes franceses, Balcanes y Cárpatos. A través de los periodos evolutivos, han ocurrido condiciones climáticas severas que han promovido la alta especialización a las condiciones limitantes de crecimiento y supervivencia (Thuiller *et al.*, 2005).



**Figura 3.** Pérdida de especies de flora prevista en Europa. Colores rojos: exceso de pérdida de especies. Colores grises: déficit.  
 (Fuente: Thuiller *et al.*, 2005)

### **Flora en Aragón**

Los cambios en la distribución de las especies de flora pueden reflejarse como desplazamientos verticales (en altitud) u horizontales (en latitud). La evolución del área de distribución con el tiempo varía bastante de unas especies a otras. Algunas muestran migraciones verticales, otras horizontales, mientras que otras especies no encuentran lugares climáticamente adaptados a sus necesidades en el futuro, según las modelizaciones consultadas (Benito, 2006; Felicísimo, 2010). De acuerdo con estos autores se sugiere la utilización, para el caso concreto de Aragón, de indicadores relacionados con la distribución de la flora más que con su fenología.

A continuación, y en base a los datos analizados, se propone trabajar en tres líneas de seguimiento diferentes dentro de este grupo:

- Seguimiento directo con especies de flora vascular.
- Seguimiento directo con masas forestales.
- Establecimiento de parcelas de seguimiento.

#### ❖ **Flora vascular**

Felicísimo (2010) no encuentra evidencias claras de que el clima sea un factor limitante en la distribución futura de la flora vascular analizada, estimándose un riesgo moderado, ya que el área potencial futura solapa en gran medida con el área de distribución actual. Este autor incluye en su estudio numerosas especies presentes en Aragón: *Allium pardoii*, *Buglossoides gastonii*, *Cypripedium calceolus*, *Halopeplis amplexicaulis*, *Limonium catalaunicum*, *Oxytropis jabalambrensis*, *Pilosella gudarica*, *Taraxacum iberanthum*, *Taraxacum ptilotoides* y *Vella pseudocytisus* subsp. *pau*.

Únicamente *Epipogium aphyllum*, especie de distribución restringida (presente únicamente en una superficie de 1 m<sup>2</sup> en el valle de Linza), podría aportar información útil para la evaluación del cambio climático en Aragón.

#### ❖ **Masas forestales y arbustivas**

Los trabajos de Benito (2006) cuantifican los cambios en la distribución de algunas especies forestales utilizando los mapas generados con el modelo CSIRO para el escenario más agresivo, el A2, en el 2080. En general, los bosques muestran una disminución acusada en sus áreas de distribución, sin que se produzca en contrapartida aumento o mantenimiento de las áreas.

Las modelizaciones realizadas por el equipo de Felicísimo (2010) utilizan los modelos CGCM2 y ECHAM4 para los escenarios A2 y B2, aplicados a los datos recogidos por el Mapa Forestal de España. Las diferentes modelizaciones consultadas (Benito, 2006 y Felicísimo, 2010) coinciden en señalar que las siguientes masas forestales pueden sufrir más notablemente los efectos del cambio climático. Se han descartado las masas forestales de *Pinus sylvestris*, debido a que al haber sido plantadas en numerosas localidades, los modelos de distribución no son capaces de calcular correctamente las áreas potenciales actuales (Felicísimo, 2010).

#### *Pinus uncinata*

El pino negro se distribuye en los Pirineos y en un par de localizaciones en el sistema Ibérico. Es una especie propia de alta montaña, apareciendo por encima de los 1.000 m y superando ocasionalmente los 2.500 m en todo tipo de pendientes y con insolaciones moderadas a bajas, especialmente en invierno. Forma tanto manchas puras como mixtas con hayas, abetos y pino silvestre, especialmente en las zonas de menor altitud.

Su evolución prevista según los modelos de Felicísimo (2010) indica una reducción de su área potencial importante en el escenario A2 a partir de mediados de

siglo. Lo es menos en el B2, donde podrían mantenerse superficies importantes, ya que las áreas futuras se superponen con la distribución actual en gran medida. Según Benito (2006), el área de ocupación de la especie en el escenario A2 está por debajo del 10% respecto a la distribución potencial del presente, y la especie experimentará una migración altitudinal hacia partes más altas.

### *Abies alba*

En España el abeto común es de distribución exclusivamente pirenaica, lo que representa el límite meridional de su distribución europea. Forma manchas puras o en mezcla con el haya y aparece predominantemente entre los 900 y 2.100 m en laderas con pendientes máximas de hasta 40°. No muestra orientación preferente, aunque prefiere la umbría y evita las zonas de mayor insolación. Se asocia a precipitaciones estivales moderadas o altas y temperaturas mínimas invernales bajas.

Según los modelos de Felicísimo (2010), tanto el escenario A2 como el B2 son críticos y llevan a una reducción muy significativa de la especie a final de siglo. La capacidad de mantenimiento y recuperación es escasa, ya que el área potencial futura no se superpone con la distribución actual, dificultando la posible expansión de la especie a nuevas áreas. Por estos motivos, se propone la necesidad de medidas *in situ* y *ex situ*. Según Benito (2006), la especie apenas logra mantener su área de distribución actual (1,24%), y experimentará una migración altitudinal hacia partes más altas.

### *Fagus sylvatica*

El haya aparece en laderas y fondos de valle entre el nivel del mar y los 1.800 m con pendientes máximas de unos 40°; no muestra orientación preferente, aunque evita las zonas de mayor insolación. Le favorecen las precipitaciones estivales moderadas o altas y las temperaturas máximas estivales moderadas. Los bosques son monoespecíficos y con un sotobosque pobre, ausente de estrato arbustivo. Es indiferente al sustrato y en España es de distribución preferentemente septentrional con los hayedos de Ayllón (Madrid, Guadalajara, Segovia) y Beceite (Castellón, Tarragona) como límite meridional.

Se prevé una reducción progresiva significativa del área potencial actual (Felicísimo, 2010). La capacidad de mantenimiento y recuperación es adecuada ya que el área potencial futura se superpone significativamente con la distribución actual. Esta circunstancia hace que Felicísimo (2010) recomiende una gestión cuidadosa y de preparación para el posible endurecimiento de las condiciones a fin de siglo especialmente en el extremo oriental de su área actual. Para Benito (2006), esta es la especie de entre los bosques europeos caducifolios, junto con *Quercus petraea*, que se verá más afectada por la reducción de su área de distribución.

### *Quercus petraea*

El roble albar aparece raramente en manchas puras y mucho más frecuentemente en bosques mixtos. Su presencia es dispersa, lo que genera áreas potenciales muy amplias en un rango preferente de 600 a 1.600 m y pendientes moderadas o bajas. Evita las zonas de mayor insolación y, aunque con variabilidad, se asocia a aquellas que en

invierno son umbrías. Se considera de transición entre los ambientes atlánticos y mediterráneos aunque evita claramente las temperaturas estivales altas.

Según los trabajos de Felicísimo (2010), aunque la reducción de su área potencial es importante, su escasa presencia actual hace que existan opciones de mantener e incluso aumentar la superficie ocupada si se protege lo existente y potencia su expansión. Salvo en la combinación ECHAM4-A2, el resto no es muy limitante ya que el área potencial prevista se superpone significativamente con la distribución actual, facilitando en su caso la expansión de la especie a nuevas áreas. Para Benito (2006), esta es la especie de entre los bosques europeos caducifolios, junto con *Fagus sylvatica*, que se verá más afectada por la reducción de su área de distribución.

#### *Fraxinus excelsior*

El fresno europeo es de distribución exclusivamente septentrional en la Península ya que en la España Mediterránea se ve sustituido por *Fraxinus angustifolia*. Crece en bosques mixtos, orillas de ríos y ha sido frecuentemente plantado como árbol aislado. Prefiere insolaciones moderadas y es menos frecuente en las umbrías más intensas. Se asocia con precipitaciones estivales moderadas a altas y temperaturas máximas estivales frescas.

Según los estudios del equipo de Felicísimo (2010) se prevé una reducción significativa del área potencial según avance el siglo, aunque siempre manteniendo zonas relativamente importantes. Dada la asociación de esta especie a los flujos de agua y suelos frescos, estos expertos recomiendan hacer un seguimiento de su evolución para prevenir problemas no contemplados en los modelos y potenciar la recuperación de los bosques riparios.

#### *Juniperus alpina* (*J. communis* subsp. *alpina*)

Este enebro es propio del piso subalpino y aparece desde Sierra Nevada hasta la Cordillera Cantábrica y Pirineos. Sólo se muestra con cierta frecuencia por encima de los 1.200 m llegando a superar los 2.500 en pendientes bajas o moderadas. Se asocia con temperaturas máximas otoñales y mínimas invernales bajas.

Se prevé una reducción muy significativa del área potencial con un solapamiento parcial con el área ocupada en la actualidad. Es una de las especies que probablemente vea su hábitat cada vez más reducido por el incremento de las temperaturas generales, dado que es propio del piso subalpino (Felicísimo, 2010).

#### *Prunus mahaleb*

Este arbusto, llamado a veces cerecino, es una especie submediterránea que crece en barrancos, cantiles y roquedos calizos. Forma parte de espinares, setos, orlas de bosque y claros de carrascales y robledales. Las presencias recogidas en el Mapa Forestal de España son escasas y se distribuyen entre el nivel del mar y los 1.500 m. Se asocia con temperaturas invernales altas.

Hay un alto riesgo de desaparición de esta especie (Felicísimo, 2010) no sólo por su localización dispersa, sino porque las áreas potenciales coinciden en un porcentaje muy bajo con las ocupadas actualmente.

### *Salix caprea*

Este sauce de porte arbustivo aparece a veces en claros de bosques, bordes de riberas y zonas húmedas. En España es de distribución norteña, desde Asturias hasta Cataluña, llegando hasta los 2.000 m de altura. Se asocia con temperaturas máximas y mínimas estivales frescas.

La reducción de hábitat es importante según los modelos, especialmente a final de siglo, donde afectará más a los extremos de su distribución (Felicísimo, 2010). Esta especie puede ser protegida dentro de un plan general de bosques riparios o con los planes específicos de los bosques donde aparece como pre-bosque u orla.

### *Vaccinium uliginosum*

El arándano negro aparece poco representado en el Mapa Forestal limitándose a enclaves pirenaicos y cantábricos, donde forma parte de brezales, matorrales o formaciones subalpinas en áreas frías y venteadas. Aparece entre los 1.500 y 2.700 m en zonas con temperaturas estivales tanto mínimas como máximas frías y precipitaciones altas.

Los modelos prevén su desaparición sin que se abran nuevas zonas de distribución potencial.

## ❖ Parcelas de seguimiento

Son numerosos los estudios llevados a cabo en grandes sistemas montañosos (Alpes) que han observado cambios en la distribución altitudinal de la flora alpina de varios metros por década (Grabherr *et al.*, 1994; Pauli *et al.*, 2007; Erschbamer *et al.*, 2009).

La aplicación de las metodologías de estos estudios (ver iniciativa GLORIA, de la que Aragón forma parte) en distintas zonas montañosas de Aragón resultaría de gran interés. Para replicarlo, sería necesario estudiar cambios a corto plazo en el número, la frecuencia y la composición de la flora a lo largo de un gradiente altitudinal, teniendo en cuenta los pisos bioclimáticos. Aragón representa un caso especialmente apropiado, ya que de los 9 pisos bioclimáticos descritos para la España peninsular, 6 se encuentran presentes en Aragón: alpino, subalpino, montano, supramediterráneo, mesomediterráneo, y supramediterráneo.

En algunos estudios desarrollados en los Alpes italianos, se encontraron por un lado cambios en la riqueza de especies en un periodo de 5 años, con inmigración de nuevas especies en cada una de las 4 cimas analizadas (entre 2 y 8 especies por cima) (Erschbamer *et al.*, 2009). Estos datos superan en contundencia a los obtenidos en los Alpes suizos (3,7 especies, Walther *et al.*, 2005; 3 especies, Holzinger *et al.*, 2008).

Por otro lado, se ha estudiado la dinámica a pequeña escala en parcelas permanentes de 1 m<sup>2</sup>, buscando cambios en la riqueza, frecuencia y composición de la flora, encontrando resultados contradictorios de una cima a otra, incrementándose la riqueza en altitudes elevadas, pero decreciendo en bajas altitudes. El incremento de la riqueza con la altura coincide también con otros estudios (Pauli *et al.*, 2007), que calcularon medias de 1,3 especies/m<sup>2</sup> en 10 años en los Alpes centrales austriacos. La reducción del número de especies en altitudes menores ha sido, hasta el momento, mucho menor (Hofer, 1992; Gottfried *et al.*, 1994; Grabherr *et al.*, 1994; Walther *et al.*, 2005), excepto en los estudios de Klanderud & Birks (2003) y Pauli *et al.* (2007).

Podría ser interesante, además, elegir estas zonas con un criterio integrador de otros datos analizados por la bibliografía, como por ejemplo las diferencias en la composición según el régimen de fusión de la nieve. Así, existen estudios que muestran que la composición de la flora a lo largo de un gradiente que refleja la fecha de fusión de la nieve empieza a cambiar a partir de incrementos de 2.5 °C. Los futuros incrementos en la temperatura podrían disminuir el tamaño de las manchas de nieve e incrementar la distancia entre ellas, cuyo resultado sería la fragmentación del hábitat para especies especializadas en zonas donde se acumula la nieve por un largo periodo de tiempo (Heegaard & Vandvik, 2004). Este hecho ha sido estudiado para dos especies incluidas en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón (Decreto 49/1995, de 28 de marzo), *Arctostaphylos alpinus* (Sensible a la Alteración de su Hábitat) y *Diphasiastrum alpinum* (En Peligro).

Por último, cabe indicar que, aunque en el plano conceptual, los experimentos en parcelas y en condiciones controladas son, sin duda, esenciales a la hora de evaluar hipótesis acerca del funcionamiento de la naturaleza, es importante poner estos estudios en el contexto de los principales problemas ambientales, con su naturaleza global y sus múltiples dimensiones, para lo que resulta fundamental hacer uso de las herramientas de teledetección cada vez más en uso en los estudios ecológicos (Cabello & Paruelo, 2008).

### 5.3.2. OTROS INDICADORES

<p>Fauna</p> <p>    Vertebrados</p> <p>        <b>Reptiles</b></p> <p>        <b>Aves</b></p> <p>        <b>Mamíferos</b></p>
---

#### 5.3.2.1. Reptiles

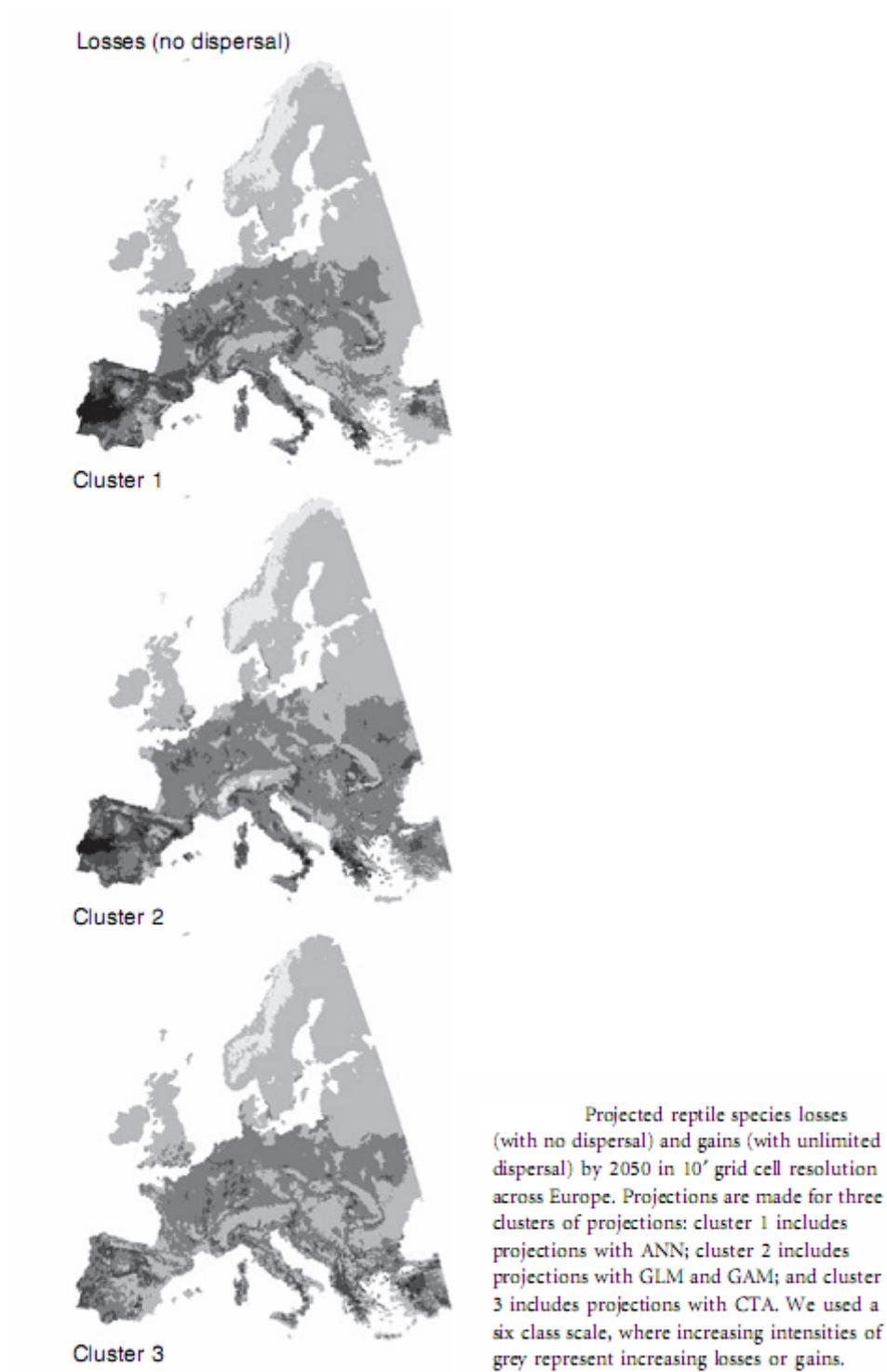
El grupo de los reptiles suele estudiarse en general de manera conjunta con el de anfibios, a pesar de no compartir el mismo hábitat; los análisis del cambio climático sobre este grupo también se encuentran muy ligados al del grupo de los anfibios.

Específicamente sobre reptiles, se han encontrado referencias sobre la determinación del sexo de algunas tortugas en función de la temperatura, y su correlación con la proporción de machos y hembras en un determinado año. Se ha observado que dicho factor se encuentra en estrecha correlación con la temperatura media del mes de julio, estando afectado por variaciones de menos de 2 grados centígrados (Janzen, 1994).

En España, sólo se han encontrado referencias al grupo en general, y siempre en relación con los anfibios. No se tiene constancia de ninguna referencia que cite especies concretas, salvo las modelizaciones de Araújo *et al.* (2010).

Son muchos los trabajos que afirman que los anfibios y reptiles son especialmente sensibles a los cambios de precipitación y temperatura, por lo que cabe esperar reacciones en cuanto a su desarrollo fenológico y a su distribución altitudinal (ver p. ej. Carey *et al.*, 2001; Marco *et al.*, 2002; Tejado, 2003 y Pounds 2006). Además, Araújo *et al.* (2008), como ya se ha comentado con anterioridad, demuestran que la riqueza de especies de anfibios y reptiles existentes en Europa se explica por los cambios climáticos que se dieron en el Cuaternario más que por el clima contemporáneo, indicando que en el sur de Europa las especies endémicas continúan estando limitadas por las áreas que no superaban los cero grados centígrados de media anual en el último periodo de glaciación, hace 21.000 años. Por el contrario, las áreas que en la actualidad presentan temperaturas medias inferiores a cero grados centígrados son las que limitan la distribución de las especies más comunes.

Según modelizaciones sobre la distribución de los anfibios y reptiles en Europa llevadas a cabo por Araújo *et al.* (2006), utilizando cuatro técnicas distintas y según cinco escenarios de cambio climático para el año 2050, las mayores pérdidas de hábitat potencial se estima que ocurrirán en el sudoeste de Europa, incluyendo la Península Ibérica; las mayores pérdidas de reptiles en Aragón se darán (al igual que para anfibios) en el Prepirineo. Teniendo en cuenta la escasa capacidad de dispersión tanto de anfibios como de reptiles, así como su carácter filopátrico (Sinsch, 1991; Blaustein *et al.*, 1994), la Figura 4 muestra los resultados del estudio para el caso de nula dispersión, más realista que la otra hipótesis analizada, de dispersión ilimitada (Araújo *et al.*, 2006).



**Figura 4.** Pérdida proyectada de especies de reptiles en 2050 considerando nula dispersión. (Fuente: Araújo *et al.*, 2006).

### **Reptiles en Aragón**

Debido a que las referencias a este grupo van siempre asociadas al de anfibios, y a la falta de bibliografía centrada sólo en este grupo, debe asumirse que no son un grupo que por sí solo pueda ejercer un buen papel como indicador del cambio climático.

Aun así, Araújo (2010) ha realizado modelizaciones de la distribución potencial futura de algunas especies de reptiles españoles, de los cuales se han seleccionado aquellos que, estando en Aragón, presentan mayores porcentajes de cambio en su área de distribución hasta 2041, según los escenarios A2 y B2.

#### **5.3.2.2. Aves**

Las aves son, sin duda, el grupo taxonómico al que mayor atención se ha dedicado tradicionalmente, tanto a nivel internacional como local. Este hecho ha generado un amplio conocimiento general de las especies y la acumulación de series de datos relativos a diferentes aspectos de su ecología. Esta importante base de conocimiento ha propiciado la utilización de sus datos para establecer conexiones con el clima. A nivel de toda la avifauna española, el clima explica un 7% de la diversidad de especies, aumentando la misma con las precipitaciones y disminuyendo con el grado de insolación (Carrascal & Lobo, 2003).

Numerosos aspectos de la reproducción de algunas aves parecen estar asociados con las temperaturas. Así, en el sur de Alemania, el número de carriceros comunes (*Acrocephalus scirpaceus*) que estaban emplumados tempranamente aumentó entre 1976 y 1997, probablemente debido a incrementos a largo plazo en las temperaturas en primavera (Bergmann, 1999). La llegada en primavera de esta especie se adelantó en años más cálidos. También en Alemania, Winkel & Hudde (1996), documentaron avances significativos en la fecha de eclosión del trepador azul (*Sitta europaea*) durante el periodo 1970-1995. Estos avances se correlacionaron con una tendencia general de calentamiento.

La abundante bibliografía disponible coincide en que el cambio climático afectará a las aves en cuatro aspectos claves: fechas de inicio de la reproducción y de la migración, tamaño de las poblaciones, composición de las comunidades y áreas de distribución (Visser *et al.*, 1998; Merilä *et al.*, 2001; Sanz, 2002; Sanz *et al.*, 2003; Chambers *et al.*, 2005; Gordo, 2007; Huntley *et al.*, 2007; entre otros).

A escala continental, son de destacar dos estudios sobre la fenología de las aves. Dunn & Wrinkler (1999) analizaron cambios en la cría de una especie de Golondrina de manglar (*Tachycineta bicolor*) desde 1959 hasta 1991 a lo largo de todo su territorio de cría (Estados Unidos y Canadá). La fecha de puesta estaba correlacionada significativamente con la temperatura media del mes de mayo y se había adelantado una media de 9 días a lo largo de esos 32 años. En un estudio complementario, Both *et al.* (2004) estudiaron el Papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*) en 23 enclaves por toda Europa y encontraron un adelanto significativo en la fecha de puesta para nueve de las poblaciones, coincidentes con los enclaves que mostraban una tendencia más clara en cuanto a calentamiento.

Existen indicios de adelanto en el inicio del proceso de reproducción, es decir la fecha de puesta, en un buen número de especies (Merilä *et al.*, 2001; Sanz *et al.*, 2003).

Con respecto a la migración, los resultados indican igualmente ciertos cambios: unos adelantan la fecha de llegada a las áreas de reproducción (Sanz, 2002) y otros, por el contrario, documentan, para el caso de la Península Ibérica, un retraso en la fecha de llegada primaveral para 5 especies de aves en los últimos 50 años (Peñuelas *et al.*, 2002).

Huntley *et al.* (2007) en su “Atlas climático de las aves nidificantes europeas” desarrollan un modelo a partir de un supuesto aumento medio de la temperatura de 3 °C. Los resultados obtenidos apuntan hacia un cambio de la distribución de especies de aves comunes en el continente de más de 500 kilómetros hacia el noreste hacia el año 2080. Además, predicen que el área de distribución se reducirá en una quinta parte de su tamaño, puesto que el calentamiento del planeta dejará a algunas aves pocas zonas con clima apropiado para ellas. Este atlas indica, también, que tres cuartas partes de las aves nidificantes de Europa tienen probabilidades de sufrir un declive en cuanto a su ámbito geográfico.

### **Aves en Aragón**

A pesar de la abundante bibliografía al respecto, no se ha seleccionado este grupo como un indicador adecuado, pues se considera que los factores analizados no se relacionan clara e inequívocamente con el cambio climático, especialmente para un nivel regional de análisis.

Se han encontrado muchas correlaciones entre diversos aspectos de las aves y los factores climáticos (temperatura y precipitación), pero estos análisis por sí solos no implican una causalidad directa ni exclusiva respecto al clima, dado el efecto que otros aspectos como alteraciones del hábitat o molestias pueden tener sobre distintos aspectos de la biología de las aves (Gordo *et al.*, 2005).

Además, las fechas de llegada a las zonas de cría (FAD: First Arrival Date) en el Mediterráneo occidental se ven más influidas por la temperatura en las zonas de invernada que por la temperatura en las propias zonas de reproducción, por lo que los modelos desarrollados indican un impacto claro del cambio climático, pero no servirían para “medir” este cambio en la región aragonesa, sino en las zonas de invernada, normalmente africanas, cuyos parámetros climáticos –temperatura y precipitación– son los que influyen más en la decisión sobre el momento de partida entre las especies afectadas. Además, los resultados encontrados son a veces contradictorios, pues para algunas especies se adelantan las fechas de llegada, pero para otras se retrasan. Además, para las especies migradoras transaharianas, los efectos del cambio climático son mucho más complejos de lo que se había pensado inicialmente, y se cree que estos efectos pudieran tener un impacto sinérgico en la ecología de las especies (Gordo *et al.*, 2005).

A pesar de estas cuestiones y teniendo en cuenta que en Aragón son las aves el grupo de fauna al que se le dedica un mayor esfuerzo de seguimiento, se ha considerado oportuno ofrecer un listado priorizado de especies reproductoras en esta Comunidad

Autónoma, que la bibliografía cita como “claramente” afectadas por el cambio climático (Araújo *et al.*, 2010).

### 5.3.2.3. Mamíferos

Al igual que los demás grupos, se espera que los mamíferos también se vean afectados por el cambio climático. Sin embargo, hay que tener en cuenta que existen multitud de factores que influyen en su ciclo de vida y su comportamiento, como molestias por otro tipo de impactos, alteración y pérdida de hábitat, etc. que hacen que resulte difícil aislar los motivos de estas alteraciones. Además, y a diferencia de otros grupos más vulnerables al cambio climático, y debido a sus características, los mamíferos suelen tener mucha más movilidad y por ello podrían ser capaces de adaptarse a ciertos cambios con menos dificultades.

Por estos motivos, se ha considerado que no son el grupo más adecuado para hacer un seguimiento del cambio climático a nivel regional en Aragón; a pesar de ello, dado que se supone que la disponibilidad de datos de seguimiento de mamíferos, especialmente de especies cinegéticas será elevada, se considera que podría ser interesante emplear esta información para relacionarla con los efectos del cambio climático.

Se muestran algunos ejemplos referentes al sur y centro de España (según Moreno Rodríguez *et al.*, 2005).

Las lluvias otoñales desencadenan la reproducción del conejo (*Oryctolagus cuniculus*), especie clave en los ecosistemas de monte ibérico (Villafuerte, 2002). Por otro lado, las lluvias torrenciales pueden ser catastróficas para las poblaciones de conejos (Palomares, 2003). Un régimen de precipitaciones marcado por una mayor frecuencia de fenómenos extremos podría condicionar la abundancia de conejos y de sus depredadores.

En poblaciones de cabra montés (*Capra pyrenaica*) del sur de España existe una fuerte correlación positiva entre el éxito reproductor y la precipitación en primavera, de modo que largas series de primaveras secas podrían afectar negativamente a la productividad de estas poblaciones (Escós & Alados, 1991).

En poblaciones andaluzas de jabalí (*Sus scrofa*), la reproducción en años de sequía es mínima con solo un 17% de hembras que crían y un tamaño medio de camada de solo tres crías (Fernández-Llario & Carranza, 2000).

En poblaciones de topillo campesino (*Microtus arvalis*) y topillo mediterráneo (*M. duodecimcostatus*) se han comprobado fuertes correlaciones positivas en abundancia con niveles de precipitación primaveral y otoñal en el centro de España (Veiga 1986).

Como se puede observar, estos cuatro ejemplos relacionan la precipitación con la disponibilidad de alimento en primavera, que para estos herbívoros condiciona claramente la reproducción y la supervivencia de sus poblaciones.

Por otra parte, también se han encontrado algunos estudios en la zona de Escandinavia, donde varios autores han publicado sus investigaciones sobre la influencia del cambio climático en especies y poblaciones de ungulados (Post *et al.*, 1997; Coulson *et al.*, 2000; Forchhammer *et al.*, 1998; Pettorelli *et al.*, 2005). En estos estudios se han desarrollado modelos relacionando la oscilación del Atlántico norte (OAN), la topografía y las interacciones clima-planta-herbívoro, obteniendo resultados, en algunos casos contradictorios, lo que muestra la dificultad de trabajar con este grupo.

Algunos autores relacionaron la variabilidad climática, medida a través del índice de oscilación del Atlántico Norte (OAN) con la disponibilidad de alimento para el Ciervo (*Cervus elaphus*) en Noruega, mostrando que al aumentar la OAN, se adelanta la fusión de la nieve en zonas de baja altitud, y los ciervos pueden acceder antes a zonas con mejores pastos, por lo que suele aumentar también su tamaño corporal (Pettorelli *et al.*, 2004).

Sin embargo, otros estudios que relacionaron la OAN con la biometría de los ciervos, también en Noruega, afirman justamente lo contrario: los ciervos nacidos tras inviernos cálidos fueron más pequeños que los nacidos tras inviernos fríos, y esta variabilidad inter-cohorte persistía hasta el estado adulto, pues tanto el tamaño como la condición influye en el éxito reproductor y en la supervivencia de las hembras y de los machos. En concreto, se apunta a que la tendencia actual a pasar inviernos más cálidos de lo habitual en Escandinavia podría reducir el tamaño corporal y con ello la fecundidad de los ciervos, y quizá de otros ungulados, en esas zonas (Post *et al.*, 1997).

También se estudiaron los parámetros poblacionales de ciervos en Noruega, encontrando que tras los inviernos cálidos y con abundante nieve (OAN elevada), la abundancia de ciervos disminuyó, mientras que al cabo de dos años, volvió a aumentar (Forchhammer *et al.*, 1997).

Otro tipo de estudios analizaron la influencia del clima sobre la variación en las ratios de fecundidad de ciervos en Noruega, y otros ungulados (Oveja doméstica, *Ovis aries*, Antílope saiga, *Saiga tatarica tatarica*) (Coulson *et al.*, 2000).

### **Mamíferos en Aragón**

En cuanto a la aplicación directa de los datos en Aragón, se ha podido contar con las modelizaciones que realizan Araújo *et al.* (2010) para toda la Península. Así, analizan la distribución potencial futura de algunas especies de mamíferos, entre los cuales se encuentran algunos presentes en Aragón.

Según estas predicciones, algunas especies van a ver reducida su área de distribución en más de un 30% hasta 2041 según los dos escenarios utilizados en el estudio (A2 y B2): *Apodemus sylvaticus*, *Arvicola sapidus*, *Capreolus capreolus*, *Cervus elaphus*, *Crocidura russula*, *Felis silvestris*, *Lutra lutra*, *Mus musculus*, *Myotis blythii*, *Myotis emarginatus*, *Rhinolophus hipposideros* y *Sus scrofa*.

Para otras especies, sólo uno de los escenarios (A2) arroja porcentajes mayores del 30%, por lo que los resultados no son concluyentes: *Eliomys quercinus*, *Hypsugo savii*, *Lepus europaeus*, *Martes foina*, *Meles meles*, *Mustela nivalis*, *Nyctalus noctula*, *Oryctolagus cuniculus*, *Sciurus vulgaris*, *Tadarida tenictis* y *Talpa occidentalis*.

#### **5.3.2.4. Peces**

Los peces, al igual que todos los organismos de agua dulce, pueden ser particularmente sensibles a cambios climáticos a largo plazo, dado que, al contrario que otros vertebrados terrestres, están confinados al ambiente acuático y no pueden dispersarse libremente cuando las condiciones climáticas no son óptimas (Lovejoy & Hannah, 2005). El hecho de que las características de su hábitat sean tan dependientes de numerosos factores tanto a pequeña escala (río) como a gran escala (cuenca), dificulta su estudio a partir de datos ambientales y climáticos, sin tener en cuenta los factores históricos. Así, Buckup & Melo (2005) sugieren que la información de la historia filogenética de los peces del género *Characidium* puede dar información fundamental para poder usar al grupo como herramienta predictiva, no siendo suficiente estudiar su distribución.

Otros estudios demuestran las relaciones entre el caudal en el mes de marzo (mes en el que emergen los alevines de trucha de los frezaderos) y el número de truchas jóvenes del año en el mes de julio. Un aumento de la proporción de años secos reduciría los tamaños poblacionales al reducirse el hábitat disponible para los alevines (Moore & Gregory, 1988).

#### **Peces en Aragón**

No se han encontrado estudios ni referencias sobre el uso de la ictiofauna como indicadora del cambio climático que puedan adaptarse a las especies presentes en Aragón.

## 5.4. Propuesta de trabajo

En primer lugar, se proponen los grupos taxonómicos y/o las especies que por sus características, resultados previos aportados y posibilidad de empleo en Aragón se consideran como bioindicadores apropiados.

En segundo lugar, y una vez seleccionados los bioindicadores, se proponen los parámetros y el método de seguimiento para poder evaluar a corto-medio plazo el cambio climático sobre la biodiversidad aragonesa.

Para cada uno de los grupos seleccionados, se presenta un listado priorizado, organizado en dos niveles: grupo A, taxones donde parece más rentable aplicar el esfuerzo de seguimiento; y grupo B, resto de taxones de interés como indicadores.

A la hora de planificar el seguimiento sobre los indicadores seleccionados deberán tenerse en cuenta, al menos, las siguientes recomendaciones generales (Carey & Alexander, 2003):

- Los estudios deben basarse en más de una zona para dar más solidez a los resultados, o deben realizarse en un mismo sitio durante un periodo largo de tiempo.
- Deben tenerse datos concretos de las variables climáticas en el área de estudio, para lo que resulta fundamental evaluar *a priori* el número y la localización de las estaciones meteorológicas a utilizar para los datos climáticos, y seleccionar aquellas que faciliten datos fiables y a una distancia cercana al área de estudio.
- Se debe tratar, en la medida de lo posible, de buscar evidencias de una respuesta a la intensidad de los factores.
- Teniendo en cuenta el comportamiento y la biología de la especie, debe evaluarse la plausibilidad de la asociación entre factores climáticos y efectos sobre la población o el individuo.
- Debe valorarse la adecuación de los datos climáticos utilizados para el análisis. Aunque suele darse preferencia a la utilización de temperaturas y/o precipitaciones anuales o mensuales máximas, otros datos como temperaturas mínimas diarias, mínimas nocturnas, humedad, etc. podrían estar ejerciendo un papel importante.

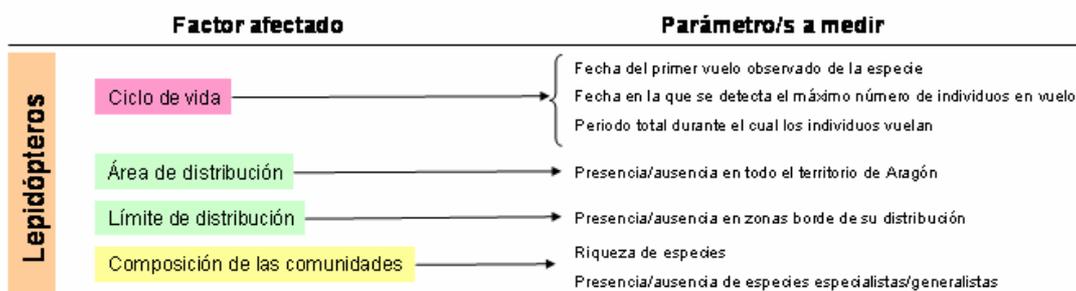
### 5.4.1. INDICADORES SELECCIONADOS

#### 5.4.1.1. Invertebrados: Lepidópteros

**Se propone (ver Gráfico 1):**

1.- Delimitar áreas de alto valor para los lepidópteros en Aragón. En estas áreas estudiar: la riqueza de especies, la proporción de especies generalistas y especialistas, fecha de la primera aparición, fecha del pico máximo en la curva de vuelo y duración del periodo de vuelo.

2.- De forma específica, y para las especies recogidas en la Tabla 2, se propone el seguimiento sistemático de los siguientes parámetros: fecha de la primera aparición, fecha del pico máximo en la curva de vuelo, duración del periodo de vuelo y evolución de su área de distribución en Aragón, con especial atención a la variación en sus límites.



**Gráfico 1.** Parámetros propuestos a estudiar en proyectos de seguimientos de Lepidópteros.

En la Tabla 2 se muestran las especies de este grupo propuestas para su seguimiento, así como los aspectos de su ecología más afectados por el cambio climático.

Los taxones se han agrupado en dos niveles:

Grupo A: Taxones con cambios significativos en su comportamiento debido al cambio climático (doble cruz), y que tienen el límite de su distribución en Aragón.

Grupo B: Resto de especies citadas en la bibliografía.

Taxón	Familia	Grupo	Catálogo Aragón	Distribución	Fenología	Fuente
<i>Aglais urticae</i>	Nymphalidae	B		X	X	2; 3; 4
<i>Anthocharis belia</i>	Pieridae	B		X		3
<i>Anthocharis cardamines</i>	Pieridae	A		X	XX	1; 2; 3; 4
<i>Apatura ilia</i>	Nymphalidae	A		X		1;
<i>Apatura iris</i>	Nymphalidae	A		XX	X	1; 2; 7
<i>Aphantopus hyperanthus</i>	Nymphalidae	A		X	XX	1; 2; 4
<i>Aporia crataegi</i>	Pieridae	B		X		3
<i>Arethusana arethusa</i>	Nymphalidae	A		X		3
<i>Argynnis aglaja</i>	Nymphalidae	B		X	X	2; 4
<i>Argynnis paphia</i>	Nymphalidae	B		X	X	1; 2; 3; 4
<i>Aricia cramera</i>	Lycaenidae			X		3
<i>Aricia montensis</i>	Lycaenidae			X		3
<i>Aricia morronensis</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Brenthis daphne</i>	Nymphalidae			X		1; 3
<i>Brenthis hecate</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Brenthis ino</i>	Nymphalidae			X		1
<i>Callophys rubi</i>	Lycaenidae			X	X	3; 4
<i>Carcharodus alceae</i>	Hesperiidae			X	X	3; 5
<i>Carcharodus boeticus</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Carcharodus flocciferus</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Carcharodus lavatherae</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Carterocephalus palaemon</i>	Hesperiidae	A		XX		2; 1
<i>Celastrina argiolus</i>	Lycaenidae			X	X	3; 4; 5
<i>Chazara briseis</i>	Nymphalidae	A		X		3
<i>Coenonympha arcania</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Coenonympha dorus</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Coenonympha pamphilus</i>	Nymphalidae			X	X	3; 4; 5
<i>Colias crocea</i>	Pieridae			X	X	3; 5
<i>Cupido minimus</i>	Lycaenidae			X		2; 3
<i>Cupido osiris</i>	Lycaenidae			X		3
<i>Erebia epiphron</i>	Nymphalidae	A		XX		2
<i>Erebia meolans</i>	Nymphalidae	A		X		3
<i>Erebia triara</i>	Nymphalidae	A		X		3
<i>Erynnis tages</i>	Hesperiidae	A		X	XX	1; 2; 4
<i>Euchloe belemia</i>	Pieridae			X		3
<i>Euchloe tagis</i>	Pieridae			X		3
<i>Euphydryas aurinia</i>	Nymphalidae	A		XX		2; 3
<i>Glaucopsyche alexis</i>	Lycaenidae			X		1; 3
<i>Gonepteryx rhamni</i>	Pieridae			X	X	3; 4
<i>Hesperia comma</i>	Hesperiidae			X		2; 3
<i>Hipparchia alcyone</i>	Nymphalidae			X		3

Taxón	Familia	Grupo	Catálogo Aragón	Distribución	Fenología	Fuente
<i>Hipparchia semele</i>	Nymphalidae	A		XX	X	1; 2; 3; 4
<i>Hyponephele lupina</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Hyponephele lycaon</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Inanchis io</i>	Nymphalidae	A		X	XX	1; 2; 3; 4
<i>Issoria lathonia</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Laesopis roboris</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Lampides boeticus</i>	Lycaenidae			X		3
<i>Lasiommata maera</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Lasiommata megera</i>	Nymphalidae	A		X	XX	1; 3; 4; 5
<i>Leptidea sinapis</i>	Pieridae			X		2; 3
<i>Libythea celtis</i>	Nymphalidae	A		X		3
<i>Limenitis camilla</i>	Nymphalidae	A		XX	X	1; 2; 4
<i>Limenitis reducta</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Lycaena alciphron</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Lycaena phlaeas</i>	Lycaenidae			X	X	3; 4; 5
<i>Lycaena tityrus</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Lycaena virgaureae</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Maniola jurtina</i>	Nymphalidae			X	X	1; 3; 4
<i>Melanargia galathea</i>	Nymphalidae	A		X	XX	1; 2; 4
<i>Melanargia ines</i>	Nymphalidae	A		X		3
<i>Melanargia lachesis</i>	Nymphalidae			X	X	3; 5
<i>Melanargia occitanica</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Melanargia russiae</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Melitaea cinxia</i>	Nymphalidae			X		2; 3
<i>Melitaea didyma</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Melitaea phoebe</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Melitaea trivia</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Nymphalis antiopa</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Nymphalis polychloros</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Ochlodes venata</i>	Hesperiidae	A		X	XX	1; 2; 3; 4; 5
<i>Papilio machaon</i>	Papilionidae			X		3
<i>Pararge aegeria</i>	Nymphalidae	A		X	XX	1; 3; 4
<i>Parnassius apollo</i>	Papilionidae			X		1; 3
<i>Parnassius mnemosyne</i>	Papilionidae			X		1
<i>Pieris brassicae</i>	Pieridae	A		X	XX	3; 4; 5
<i>Pieris napi</i>	Pieridae	A		X	XX	2; 3; 4; 5
<i>Pieris rapae</i>	Pieridae			X	X	3; 4; 5; 6
<i>Plebejus argus</i>	Lycaenidae			X	X	2; 3; 5
<i>Polygonia c-album</i>	Nymphalidae	A		X	XX	1; 3; 4; 5
<i>Polyommatus icarus</i>	Lycaenidae			X	X	3; 4; 5
<i>Pontia daplidice</i>	Pieridae			X		3
<i>Pseudophilotes panoptes</i>	Lycaenidae			X		3
<i>Pyrgus alveus</i>	Hesperiidae			X		3

Taxón	Familia	Grupo	Catálogo Aragón	Distribución	Fenología	Fuente
<i>Pyrgus armoricanus</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Pyrgus cirsii</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Pyrgus malvae</i>	Hesperiidae			X	X	2; 3; 4
<i>Pyrgus onopordi</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Pyrgus serratulae</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Pyronia bathseba</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Pyronia cecilia</i>	Nymphalidae			X	X	3; 5
<i>Pyronia tithonus</i>	Nymphalidae	A		X	XX	1; 2; 3; 4; 5
<i>Satyrium acaciae</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Satyrium ilicis</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Satyrium spini</i>	Lycaenidae			X		3
<i>Satyrium w-album</i>	Lycaenidae	A		X		2;
<i>Satyrus actaea</i>	Nymphalidae			X		3
<i>Spialia sertorius</i>	Hesperiidae			X		3
<i>Thecla betulae</i>	Lycaenidae	A		XX		2;
<i>Thymelicus acteon</i>	Hesperiidae			X	X	3; 5
<i>Thymelicus lineola</i>	Hesperiidae			X		1; 3
<i>Thymelicus sylvestris</i>	Hesperiidae			X	X	1; 3; 4
<i>Tomares ballus</i>	Lycaenidae	A		X		3
<i>Vanessa atalanta</i>	Nymphalidae	A		X	XX	3; 4
<i>Zegris eupheme</i>	Pieridae			X		3
<i>Zerynthia rumina</i>	Papilionidae			X		3
<i>Zizeeria knysna</i>	Lycaenidae	A		X		3

**Tabla 2.** Especies de Lepidópteros seleccionadas.

Fuentes: (1) Parmesan 1999; (2) Hill 2002; (3) Wilson 2007; (4) Roy 2000; (5) Parmesan 2003; (6) Gordo 2006; (7) Dell 2005.

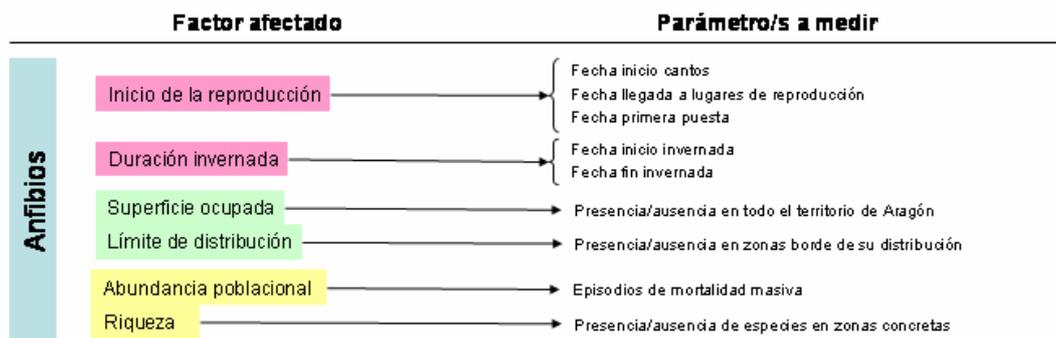
#### 5.4.1.2. Anfibios

**Se propone (ver Gráfico 2):**

**1.- Seleccionar áreas de alto valor para los anfibios (de menor tamaño que las cuadrículas de 10x10 km habituales) donde llevar a cabo un seguimiento de todas las especies presentes, y a partir del cual se puedan obtener conclusiones válidas en cuanto a la evaluación de las consecuencias climáticas.**

**Diseñar y mantener una base de datos sobre episodios de mortalidades masivas de especies en estas zonas concretas.**

**2.- De forma concreta sobre las especies citadas en la Tabla 3, se propone el seguimiento de parámetros fenológicos y de distribución (reflejados en el Gráfico 2).**



**Gráfico 2.** Parámetros propuestos a estudiar en proyectos de seguimientos de Anfibios.

Para aquellas especies que previsiblemente verán afectada su fenología por el cambio climático será fundamental realizar un seguimiento del momento en que se inicia la reproducción, tomándose los siguientes datos: fecha de inicio de los cantos, fecha de llegada a los lugares de reproducción y fecha de la primera puesta. Para el caso de los géneros *Alytes* y *Bufo*, es necesario realizar un seguimiento diario de las zonas húmedas a las que acuden en época reproductora.

Otro aspecto fenológico a tener en cuenta es la duración de la invernada, debiendo recogerse datos de su inicio y de su fin en distintas poblaciones.

En cuanto a aspectos relativos a los cambios en la distribución de anfibios, debería estudiarse el área de distribución ocupada por una especie, teniendo en cuenta principalmente los límites de su área de distribución, donde es esperable que se den los primeros cambios en cuanto a presencia/ausencia de especies.

En la Tabla 3 se muestran las especies propuestas para su seguimiento, así como los aspectos de su ecología más afectados por el cambio climático.

Los taxones seleccionados se han agrupado en dos niveles:

Grupo A: Incluye aquellos taxones que tienen en Aragón su límite de distribución mundial, o que están incluidos en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón, o para los que las afecciones previstas por el cambio climático son graves.

Grupo B: Resto de especies citadas en la bibliografía.

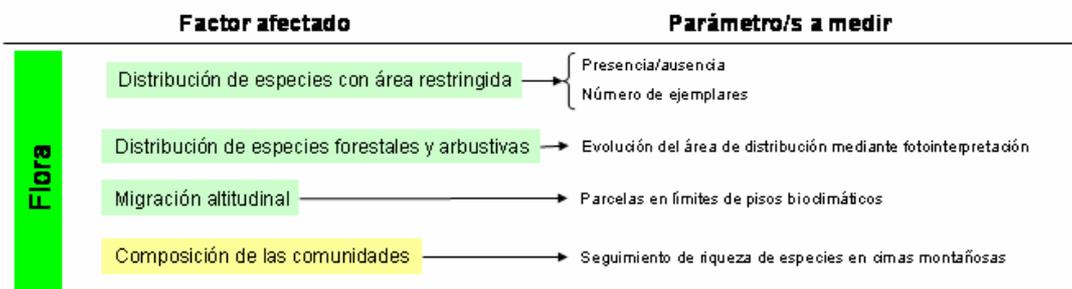
Taxón	Grupo	Catálogo Aragón	Distribución	Fenología	Fuente
<i>Alytes obstetricans</i>	B		X		4
<i>Bufo bufo</i>	A	DIE	X		
<i>Bufo calamita</i>	B			X	
<i>Lissotriton helveticus</i>	A			X	
<i>Pelobates cultripipes</i>	A		X	X	1; 2
<i>Rana perezi</i>	A		X		4
<i>Salamandra salamandra</i>	A	DIE	X		3; 4
<i>Triturus marmoratus</i>	A		X		3; 4

**Tabla 3.** Especies de Anfibios seleccionadas.

Fuentes: (1) Pleguezuelos *et al.*, 2002; (2) Araújo *et al.*, 2006; (3) Vieites *et al.*, 2009; (4) Araújo *et al.*, 2010.

### 5.4.1.3. Flora

Para el caso de la flora, se propone un procedimiento a pequeña escala, y dos de mayor entidad geográfica, para realizar el seguimiento sobre la variación en la distribución de algunas especies presentes en Aragón (ver Gráfico 3), que cumplen con las características para ser buenos indicadores del cambio climático:



**Gráfico 3.** Parámetros propuestos e estudiar en proyectos de seguimientos de Flora.

#### ❖ Seguimiento de flora vascular

**Se propone:**

- A pequeña escala, el seguimiento de una población de *Epipogium aphyllum*, especie con un área de distribución muy restringida tanto a nivel nacional como en Aragón (valle de Linza).

❖ **Distribución de masas forestales y arbustivas****Se propone:**

- Seguimiento mediante teledetección de la evolución del área ocupada por las masas forestales y arbustivas, de forma prioritaria las incluidas en la Tabla 4, reflejadas en las diversas actualizaciones del Mapa Forestal de España.

Los taxones se han agrupado en dos niveles:

Grupo A: Taxones con prioridad para realizar seguimiento, por alguno de los siguientes motivos: son límite de distribución mundial de la especie, destacan sobre las otras especies en la bibliografía consultada por el alto impacto previsto sobre ellas debido al cambio climático, y/o su distribución actual no depende de métodos artificiales (replantaciones, etc.)

Grupo B: Resto de taxones citados en la bibliografía.

<b>Taxón</b>	<b>Grupo</b>	<b>Fuente</b>
<i>Abies alba</i>	A	1; 2
<i>Fagus sylvatica</i>	A	1; 2
<i>Fraxinus excelsior</i>	B	2
<i>Juniperus alpina</i> ( <i>J. communis</i> subsp. <i>alpina</i> )	A	2
<i>Pinus uncinata</i>	B	1; 2
<i>Prunus mahaleb</i>	A	2
<i>Quercus petraea</i>	A	1; 2
<i>Salix caprea</i>	B	2
<i>Vaccinium uliginosum</i>	A	2

**Tabla 4.** Especies de Flora seleccionadas.  
Fuentes: (1) Benito, 2006; (2) Felicísimo, 2010.

❖ **Delimitación de cimas y parcelas de seguimiento**

**Se propone:**

1.- Establecer, dentro de la iniciativa GLORIA, varios puntos de seguimiento en cimas de los diferentes sistemas montañosos de Aragón, donde de forma periódica se mida la riqueza florística.

2.- Diseñar parcelas de seguimiento (1x1 m) en zonas límite de pisos bioclimáticos, tomándose datos relativos a riqueza, frecuencia y composición de la flora en cada una de ellas. A la hora de planificar la localización de estas parcelas, y en la medida de lo posible, se intentarán situar dentro del área de distribución de *Arctostaphylos alpinus* y/o *Diphasiastrum alpinum*, especies consideradas como buenas indicadoras (Heegaard & Vandvik, 2004) y además de alto interés para Aragón. En el caso de no ser posible, se planificarán parcelas específicas para el seguimiento de estas dos especies.

## 5.4.2. OTROS INDICADORES

### 5.4.2.1. Reptiles

**Aunque este grupo no se considera como un bioindicador de primer orden, se recomienda que, en los programas de seguimiento que el Gobierno de Aragón promueva sobre estas especies, se incluya de forma concreta la toma de datos relativa a su distribución, haciendo especial hincapié en tratar de documentar variaciones de este parámetro en las zonas límites de su área de distribución, donde es esperable que se den los primeros cambios en cuanto a presencia/ausencia de especies.**

En la Tabla 5 se muestran las especies propuestas para su seguimiento. Para este grupo, el factor a estudiar es la distribución.

Los taxones se han agrupado en dos niveles:

Grupo A: Taxones que tienen en Aragón su límite de distribución mundial, y/o destacan sobre las otras especies en la bibliografía consultada por el alto impacto previsto sobre ellas debido al cambio climático.

Grupo B: Resto de taxones citados en la bibliografía.

Taxón	Grupo	Catálogo Aragón	Distribución	Fenología	Fuente
<i>Chalcides bedriagai</i>	A		X		1
<i>Chalcides striatus</i>	A		X		1
<i>Coronella austriaca</i>	A		X		1
<i>Coronella girondica</i>	B		X		1
<i>Malpolon monspessulanus</i>	A		X		1
<i>Podarcis hispanica</i>	A		X		1
<i>Psammodromus hispanicus</i>	A		X		1
<i>Vipera latasti</i>	A		X		1

**Tabla 5.** Especies de Reptiles seleccionadas.

Fuente: (1) Araújo *et al.*, 2010

## 5.4.2.2. Aves

**Se propone:**

- Incluir en los programas o planes de seguimiento que el Gobierno de Aragón tenga previsto llevar a cabo en los próximos años, los siguientes parámetros de la ecología de las especies:

- Fecha de llegada de las especies migradoras (Sanz, 2002; Peñuelas *et al.*, 2002).
- Fecha de inicio de puesta (Humphrey *et al.*, 1997; Sanz *et al.*, 2003).
- Tamaño de población (Herrando, 2010).
- Área de distribución (Araujo, 2010).

En la Tabla 6 se muestran las especies propuestas para su seguimiento; en el caso de este grupo el factor básico a estudiar sería el fenológico.

Los taxones se han agrupado en dos niveles:

Grupo A: Taxones identificados en la bibliografía como afectados, según modelos climáticos en diferentes escenarios (A2 y B2), que además están incluidos en el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón. Se encuentran marcados en rojo en la tabla.

Grupo B: Taxones citados en la bibliografía que presumiblemente se verán afectados, según los modelos climáticos sugeridos en el escenario A2; además, pueden o no estar incluidos en el Catálogo de Especies Amenazadas de esta Comunidad Autónoma.

Taxón	Grupo	Catálogo Aragón
<i>Accipiter gentilis</i>	B	
<i>Accipiter nisus</i>	B	
<i>Aegithalos caudatus</i>	B	
<i>Alauda arvensis</i>	A	DIE
<i>Apus apus</i>	B	
<i>Aquila chrysaetos</i>	B	
<i>Bubo bubo</i>	B	
<i>Buteo buteo</i>	B	
<i>Caprimulgus europaeus</i>	B	
<i>Carduelis cannabina</i>	B	DIE
<i>Carduelis chloris</i>	A	DIE
<i>Certhia brachydactyla</i>	B	
<i>Cettia cetti</i>	B	
<i>Ciconia ciconia</i>	A	DIE
<i>Cinclus cinclus</i>	B	
<i>Circaetus gallicus</i>	B	
<i>Circus cyaneus</i>	A	SAH

<b>Taxón</b>	<b>Grupo</b>	<b>Catálogo Aragón</b>
<i>Circus pygargus</i>	A	VU
<i>Columba palumbus</i>	B	
<i>Corvus corax</i>	A	DIE
<i>Corvus corone</i>	B	
<i>Coturnix coturnix</i>	B	
<i>Cuculus canorus</i>	B	
<i>Delichon urbica</i>	B	
<i>Dendrocopos major</i>	B	
<i>Emberiza cia</i>	B	
<i>Emberiza cirulus</i>	B	
<i>Erithacus rubecula</i>	B	
<i>Falco naumanni</i>	A	SAH
<i>Falco peregrinus</i>	B	
<i>Falco subbuteo</i>	B	
<i>Ficedula hypoleuca</i>	B	
<i>Fringilla coelebs</i>	B	
<i>Garrulus glandarius</i>	B	
<i>Hieraaetus pennatus</i>	B	
<i>Hippolais polyglotta</i>	B	
<i>Hirundo rustica</i>	B	
<i>Lanius senator</i>	B	
<i>Loxia curvirostra</i>	B	
<i>Lullula arborea</i>	B	
<i>Monticola saxatilis</i>	B	
<i>Motacilla alba</i>	B	
<i>Motacilla cinerea</i>	B	
<i>Motacilla flava</i>	B	
<i>Muscicapa striata</i>	B	
<i>Neophron percnopterus</i>	B	VU
<i>Oenanthe oenanthe</i>	B	
<i>Oriolus oriolus</i>	B	
<i>Parus ater</i>	B	
<i>Parus caeruleus</i>	B	
<i>Parus cristatus</i>	B	
<i>Parus major</i>	B	
<i>Petronia petronia</i>	B	
<i>Phoenicurus ochruros</i>	B	
<i>Phylloscopus bonelli</i>	B	
<i>Phylloscopus collybita</i>	B	
<i>Phylloscopus ibericus</i>	B	
<i>Pica pica</i>	B	
<i>Picus viridis</i>	B	
<i>Ptyonoprogne rupestris</i>	B	
<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>	B	VU
<i>Regulus ignicapilla</i>	B	
<i>Riparia riparia</i>	B	

<b>Taxón</b>	<b>Grupo</b>	<b>Catálogo Aragón</b>
<i>Saxicola torquatus</i>	B	
<i>Serinus serinus</i>	A	DIE
<i>Sitta europaea</i>	B	
<i>Strix aluco</i>	B	
<i>Sylvia atricapilla</i>	B	
<i>Sylvia borin</i>	B	
<i>Sylvia communis</i>	B	
<i>Sylvia hortensis</i>	B	
<i>Sylvia undata</i>	B	
<i>Troglodytes troglodytes</i>	B	
<i>Turdus merula</i>	B	
<i>Turdus viscivorus</i>	B	
<i>Tyto alba</i>	B	

**Tabla 6.** Especies de Aves seleccionadas.

#### 5.4.2.3. Mamíferos

**Se propone:**

- Incluir, de forma concreta, en los programas de seguimiento que el Gobierno de Aragón promueva sobre estas especies, la toma de datos relativa a su distribución, haciendo especial hincapié en tratar de documentar variaciones de este parámetro en las zonas límites de su área de distribución, donde es esperable que se den los primeros cambios en cuanto a presencia/ausencia de especies.

En la Tabla 7 se muestran las especies propuestas para su seguimiento; en el caso de este grupo el factor básico a estudiar serían las variaciones en su distribución.

Los taxones se han agrupado en dos niveles:

Grupo A: Taxones con prioridad para realizar seguimiento, porque destacan sobre las otras especies en la bibliografía consultada por el alto impacto previsto sobre ellas debido al cambio climático.

Grupo B: Resto de taxones citados en la bibliografía.

<b>Taxón</b>	<b>Grupo</b>	<b>Catálogo Aragón</b>	<b>Distribución</b>	<b>Fenología</b>	<b>Fuente</b>
<i>Apodemus sylvaticus</i>	A		X		1
<i>Arvicola sapidus</i>	A		X		1
<i>Capreolus capreolus</i>	A		X		1
<i>Cervus elaphus</i>	A		X		1
<i>Crocidura russula</i>	A		X		1
<i>Eliomys quercinus</i>	B		X		1

<b>Taxón</b>	<b>Grupo</b>	<b>Catálogo Aragón</b>	<b>Distribución</b>	<b>Fenología</b>	<b>Fuente</b>
<i>Felis silvestris</i>	A		X		1
<i>Hypsugo savii</i>	B		X		1
<i>Lepus europaeus</i>	B		X		1
<i>Lutra lutra</i>	A	SAH	X		1
<i>Martes foina</i>	B		X		1
<i>Meles meles</i>	B		X		1
<i>Miniopterus schreibersii</i>	A		X		1
<i>Mus musculus</i>	A		X		1
<i>Mustela nivalis</i>	B		X		1
<i>Myotis blythii</i>	A		X		1
<i>Myotis emarginatus</i>	A		X		1
<i>Nyctalus noctula</i>	B		X		1
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	B		X		1
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	A		X		1
<i>Sciurus vulgaris</i>	B		X		1
<i>Sus scrofa</i>	A		X		1
<i>Tadarida tenictis</i>	B		X		1
<i>Talpa occidentalis</i>	B		X		1

**Tabla 7.** Especies de Mamíferos seleccionadas.

Fuente: (1) Araújo *et al.*, 2010

## 6. CONCLUSIONES

En general, y sobre las respuestas de los seres vivos al cambio climático puede afirmarse lo siguiente:

- Los efectos más notables del cambio climático sobre la biodiversidad son los cambios en la distribución de las especies, y las modificaciones sobre su fenología.
- El avance de los fenómenos primaverales (floreCIMIENTO, fin de la hibernación, migración, reproducción) está ampliamente documentado en Europa (Parmesan, 2006).
- La variación en la respuesta fenológica entre especies que interactúan está dando como resultado asincronías entre predador y presa e insectos y plantas, con consecuencias negativas en la mayoría de los casos (Parmesan, 2006).
- Las especies de aves migradoras están sufriendo alteraciones en sus movimientos, debidos al cambio del clima en los lugares de invernada, lo que repercute en desacoplamientos con sus fuentes de alimentación (insectos) y en consecuencia, en su reproducción, supervivencia y tamaño poblacional (Gordo *et al.*, 2005).
- Están documentados cambios en los límites de distribución hacia el norte para especies concretas, así como expansiones en comunidades adaptadas a las altas temperaturas (Parmesan, 2006).
- Los invertebrados, especialmente los lepidópteros, parecen ser muy buenos indicadores, debido a sus características biológicas, tanto su distribución, como su fenología se ve fuertemente influida por el cambio climático (Gordo & Sanz, 2006; Roy & Sparks, 2000).
- Según los datos manejados, los elementos de la biodiversidad aragonesa más vulnerables y mejores indicadores del cambio climático parecen ser los anfibios, los invertebrados y la flora.
- La conservación de la biodiversidad en un escenario de cambio climático requerirá la identificación y la gestión de: 1) refugios estacionales o áreas de retención (donde las especies puedan sobrevivir a pesar del cambio climático), 2) refugios de desplazamiento (donde las especies encuentran condiciones adecuadas tras ser desplazadas por el cambio climático), y 3) áreas de elevada conectividad (que permitan a las especies la dispersión para adaptarse al cambio climático) (Araújo, 2009-UE).

A la hora de planificar el seguimiento sobre los indicadores seleccionados, deberán tenerse en cuenta, al menos, las siguientes recomendaciones generales (Carey & Alexander, 2003):

- Se debe tratar, en la medida de lo posible, de buscar evidencias de una respuesta a la intensidad de los factores.
- Teniendo en cuenta el comportamiento y la biología de la especie, debe evaluarse la plausibilidad de la asociación entre factores climáticos y efectos sobre la población o el individuo.
- Debe valorarse la adecuación de los datos climáticos utilizados para el análisis. Aunque suele darse preferencia a la utilización de temperaturas y/o precipitaciones anuales o mensuales máximas, otros datos como temperaturas mínimas diarias, mínimas nocturnas, humedad, etc. podrían estar ejerciendo un papel importante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente. 2004. Impactos del cambio climático en Europa: una evaluación basada en indicadores. Ministerio de Medio Ambiente.
- Araújo M.B., R.G. Pearson, W. Thuiller & M. Erhard. 2005a. Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11: 1504-1513.
- Araújo, M.B., R.J. Whittaker, R.J. Ladle, M. Erhard. 2005b. Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology & Biogeography*, 14: 529-538.
- Araújo, M.B., Thuiller, W. & Pearson, R.G. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* 33, 1712-1728.
- Araújo, M.B., Nogués-Bravo, D., Reginster, I., Rounsevell, M. & Whittaker, R.J. 2008. Exposure of European biodiversity to changes in human-induced pressures. *Environmental Science and Policy*, 11: 38-45.
- Araújo, M.B., del Dedo-Garcimartín, M., Pozo, I. & Calmaestra, R. 2010. Evaluación de los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la fauna en España. Tomo I (Informe). Subdirección General de Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino & Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- Ayres, M.P. & M.J. Lombardero. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores & pathogens. *The Science of the Total Environment* 262:263-286.
- Bakkenes M., J.R.M. Alkemade, F. Ihle, R. Leemans & J.B. Latour. 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity & distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8: 390-407.
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A. 2005. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecol. Appl.* 15: 2084-96.
- Beebee, T. J. C. 1995. Amphibian Breeding and Climate. *Nature* 374:219-220.
- Beniston, M. & Tol, R.S.J. 1998. Europe, en: *The Regional Impacts of Climate Change. An assessment of Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II. Eds. Watson, R.T.; M.C. Zinyowera & R.H. Moss. Cambridge University Press: 149-185.
- Benito, M. 2006. El efecto del cambio climático sobre las distribuciones de los bosques ibéricos: Pasado, presente y futuro”. Memoria de Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología.
- Bergmann, F. 1999. Long-term increase in numbers of early-fledged Reed Warblers (*Acrocephalus scirpaceus*) at Lake Constance (Southern Germany). *Journal Fuer Ornithologie* 140:83-87.
- Blaustein, A.R., Wake, D.B. & Sousa, W.P. 1994. Amphibian declines: judging stability, persistence and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation Biology* 8:60-71.
- Blaustein, A. R., L. K. Belden, D. H. Olson, D. M. Green, T. L. Root, and J. M. Kiesecker. 2001. Amphibian breeding and climate change. *Conservation Biology* 15:1804-1809.
- Blaustein, A.R., Romansic, J.M., Kiesecker, J.M & Hatch, A.C. 2003. Ultraviolet radiation, toxic chemicals and amphibian population declines. *Diversity and Distributions* 9, 123-140.
- Both, C., Artemyev, A.V., Blaauw, B., Cowie, R.J., Dekhuijzen, A.J. 2004. Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 271: 1657-62.
- Botkin, D.B., H. Saxe, M.B. Araújo, & R. Betts. 2007. Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *BioScience* 57, No 3: 227-236.
- Bradshaw, W. E. & C.M. Holzapfel. 2001. Genetic shift in photoperiodic response correlated with global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98: 14509-14511.

- Broennimann, O., W. Thuiller, G. Hughes, G.F. Midgley, J.M.R. Alkema, A. Guisan. 2006. Do geographic distribution, niche property & life form explain plants' vulnerability to global change? *Global Change Biology* 12: 1079-1093.
- Buckup, P.A. & Melo, M.R.S. 2005. Phylogeny and distribution of fishes of the Characium lauroi group as indicators of climate change in Southeastern Brazil. En: Lovejoy, T. E. & L. J. Hannah. 2005. *Climate Change & Biodiversity*. Yale University Press. Pags. 193-195.
- Burgmer, T., H. Hillebrand & M. Pfenninger. 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia* 151: 93-103. DOI: 10.1007/s00442-006-0542-9.
- Cabello, J. & Paruelo, J.M. 2008. La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas* 17 (3):1-3.
- Carey, C., W.R. Heyer, J. Wilkinson, R.A. Alford, J.W. Arntzen, T. Halliday, L. Hungerford, K.R. Lips, E.M. Middleton, S.A. Orchard & A.S. Rand. 2001. Amphibian declines and Environmental Change: Use of Remote-Sensing data to identify Environmental correlates. *Conservation biology* 15: 903-913.
- Carey, C. & M. A. Alexander. 2003. Climate change and amphibian declines: is there a link? *Diversity and Distributions* 9:111-121.
- Carrascal, L.M. & Lobo, J.M. 2003. Respuestas a viejas preguntas con nuevos datos: estudio de los patrones de distribución de la avifauna española y consecuencias para su conservación. En: Martí R. y del Moral J.C. (eds.) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología. Madrid: 651-668.
- Catling, P.M. 1996. Evidence for the recent northward spread of *Enallagma civile* (Zygoptera: Coenagrionidae) in southern Ontario. *Proceedings of the Entomological Society of Ontario*, 127: 131-133.
- Chambers, L.E., L. Hughes & M.A. Weston. 2005. Climate change & its impact on Australia's avifauna. *Emu* 105: 1-20.
- Coope, R. 1995. The effects of Quaternary climatic change on insect populations: lessons from the past. In *17<sup>th</sup> Symposium Royal Entomological Society: insects in a changing environment*. Ed. R. Harrington & N.E. Stork. London: Academic: 29-48.
- Corn, P. S. & J. C. Fogleman. 1984. Extinction of Montane Populations of the Northern Leopard Frog (*Rana pipiens*) in Colorado. *Journal of Herpetology* 18:147-152.
- Coulson, T.; E.J. Milner-Gulland & T. Clutton-Brock (2000) The relative roles of density and climatic variation on population dynamics and fecundity rates in three contrasting ungulate species. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 267: 1771-1779.
- Crozier, L. 2003. Winter warming facilitates range expansions: cold tolerance of the butterfly *Atalopedes campestris*. *Oecologia*, 135: 648-656.
- Debinski, D.M, Jakubauskas, M.E. & Kindscher, K. 2000. Montane meadows as indicators of environmental change. *Environmental Monitoring & Assessment* 64: 213-225.
- Dell, D., Sparks, T.H. & Dennis, L.H. 2005. Climate change & the effect of increasing temperatures on emergence dates of the butterfly *Apatura iris* (Lepidoptera: Nymphalidae). *European Journal of Entomology* 102: 161-167.
- Dennis, R.L. 1993. *Butterflies and climate change*. Manchester University Press, New York, 234 p.
- Dewar, R.C. & Watt, A.D. 1992. Predicted changes in the synchrony of larval emergence & budburst under climatic warming. *Oecologia* 89: 557-559.
- Duellman, W.E. & Trueb, L. 1986 *Biology of Amphibians*. McGraw-Hill, New York.
- Dunn, P.O., Winkler, D.W. 1999. Climate change has affected the breeding date of tree swallows throughout North America. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 266:2487-90.
- Easterling, D.R., Karl, T.R., Gallo, K.P., Robinson, D.A., Trenberth, K.A. & Dai, A. 2000a. Observed climate variability and change of relevance to the biosphere. *Journal of Geophysical Research* 105, 20, 101-20, 114.

- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. 2000b. Atmospheric science: Climate extremes: Observations, modeling & impacts. *Science Washington D C* 289: 2068-2074.
- Ellis, W.N.; Donner, J.H. & Kuchlein, J.H. 1997. Recent shifts in phenology of Microlepidoptera, related to climate change (Lepidoptera). *Entomologische Berichten, Amsterdam* 57: 66-72.
- Ellis, W.N., Kuchlein, J.H. & Donner, J.H. 1999. Is the Microlepidoptera fauna of The Netherlands shifting northwards? *Entomologische Berichten, Amsterdam* 59: 161-168.
- Erhard M., van Minnen J. y Voigt T. 2002. *Proposed set of climate change state and impact indicators in Europe*. Copenhagen, European Environment Agency, Technical Report 20.
- Erschbamer, B., Kiebacher, T., Mallaun, M. & Unterluggauer, P. 2009. Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps. *Plant Ecology* 202: 79-89. DOI: 10.1007/s11258-008-9556-1.
- Escós, J. & Alados, C.L. 1991. Influence of weather and population characteristics of free-ranging Spanish ibex in the “Sierra de Cazorla y Segura” and in the eastern Sierra Nevada. *Mammalia* 55: 67-78.
- Feliciísimo, A. M. 2010. Evaluación de los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la flora en España. Universidad de Extremadura. Dirección General de Biodiversidad – Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- Fernández-Llario, P. y Carranza, J. 2000. Reproductive performance of the wild boar in a Mediterranean ecosystem under drought conditions. *Ethology, Ecology & Evolution* 12: 335-343.
- Fitter, A.H., Fitter, R.S.R., Harris, I.T.B. & Williamson, M.H. 1995. Relationships between first flowering date and temperature in the flora of a locality in central England. *Functional ecology* 9: 55-60.
- Forchhammer, M.C.; N.C. Stenseth; E. Post & R. Langvatn (1998b) Population dynamics of Norwegian red deer: density-dependence and climatic variation. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 265: 341-350.
- Forister, M.L. & Shapiro, A.M. 2003. Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Global Change Biology*, 9: 1130-1135.
- García-Barros, E.; Munguira, M.L.; Martín Cano, J.; Romo Benito, H.; García-Pereira, P.; Maravalhas, E.S. 2004. *Atlas de las mariposas diurnas de la Península Ibérica e islas Baleares (Lepidoptera: Papilionoidea & Hesperioidea)*. Monografías de la Sociedad Entomológica Aragonesa, vol. 11.
- Gibbs, J.P. & Breisch, A.R.. 2001. Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1900-1999. *Conservation Biology* 15:1175-1178.
- Gitay H.; A. Suárez, R.T. Watson & D.J. Dokken (eds.) 2002. *Climate Change & Biodiversity*. WMO - UNEP, IPCC Technical Paper, 73 pgs.
- Gordo, O. & Sanz, J.J. 2005. Phenology & climate change: a longterm study in a Mediterranean locality. *Oecologia* 146: 484-495.
- Gordo, O.; Brotons, L.; Ferrer, X. & Comas, P. 2005. Do changes in climate patterns in wintering areas affect the timing of the spring arrival of trans-Saharan migrant birds? *Global Change Biology* 11: 12-21. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2004.00875.X.
- Gordo, O. & Sanz, J.J. 2006. Temporal trends in phenology of the honey bee *Apis mellifera* (L.) & the small white *Pieris rapae* (L.) in the Iberian Peninsula (1952-2004). *Ecological Entomology* 31: 261-268.
- Gordo, O. 2007. La fenología nos alerta del cambio climático. *Quercus*, 253: 37-41.
- Gordo, O. & Sanz, J.J. 2009. Long-term temporal changes of plant phenology in the western Mediterranean. *Global Change Biology* 15: 1930-1948. DOI: 10.1111/j.1365-2486-2009.01851.X.
- Gottfried, M., Pauli, H. & Grabherr, G. 1994. Die Alpen im “Treibhaus”: Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation. *Jahrb Ver Schutz Bergwelt* 59:13-27.
- Grabherr, G., Gottfried, M., Pauli, H. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369:448.

- Graham, R.W. & Grimm, E.C. 1990. Effects of global climate change on the patterns of terrestrial biological communities. *Trends in Ecology & Evolution* 5: 289-292.
- Harte, J & Shaw, R. 1995. Shifting dominance within a montane vegetation community - results of a climate-warming experiment. *Science* 267: 876-880.
- Heegaard, E. & Vandvik, V. 2004. Climate change affects the outcome of competitive interactions – an application of principal response curves. *Oecologia* 139: 459-466.
- Herrando, S. 2010 El cambio climático detrás de los altibajos en aves de Cataluña. *Quercus*, 288: pag 60-61.
- Heyer, W. R., Rand, A. S., Dacruz, C. A. G. & Peixoto, O. L.. 1988. Decimations, Extinctions, and Colonizations of Frog Populations in Southeast Brazil and Their Evolutionary Implications. *Biotropica* 20:230-235.
- Hickling, R.; Roy, D.B.; Hill, J.K. & Thomas C.D. 2005. A northward shift of range margins in British Odonata. *Global Change Biology*, 11: 502-506.
- Hill, J. K.; Thomas, C.D.; Fox, R.; Telfer, M.G.; Willis, S.G.; Asher, J. & Huntley, B. 2002. Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proceedings of the Royal Society of London-Series B* 269: 2163-2171.
- Hofer, H.R. 1992. Veränderungen in der Vegetation von 12 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 un 1985. *Ber Geobot Inst ETH. Stift Rubel* 58:39-54.
- Holt, R.D. 1990. The microevolutionary consequences of climate change. *Trends in Ecology and Evolution*, 5: 311-315.
- Holzinger, B., Hülber, K., Camenisch, M. & Grabherr, G. 2008. Changes in plant species richness over the last century in the eastern Swiss Alps: elevational gradient, bedrock effects and migration rates. *Plant Ecol* 195:179-196.
- Hoover, J.K. & Newman, J.A. 2004. Tritrophic interactions in the context of climate change: a model of grasses, cereal Aphids & their parasitoids. *Global Change Biology* 10: 1197-1208.
- Hughes L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15: 56-61.
- Huntley, B., Green, R., Collingham, Y. & Willis, S. 2007. A Climatic Atlas of European Breeding Birds. Durham Univ. RSPB.
- Ingram, G. J. 1990. The mystery of the disappearing frogs. *Wildlife Australia* 27:6-7.
- Inouye, D.W. 2000. The ecological & evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology letters* 3: 457-463.
- Inouye, D.W., Morales, M.A. & Dodge, G.J. 2002. Variation in timing and abundance of flowering by *Delphinium barbeyi* Huth (Ranunculaceae): The roles of snowpck, frost, & La Niña, in the context of climate change. *Oecologia* 130:543-550.
- IPCC. 2001. *Climate Change: the scientific basis*. Cambridge University Press.
- Janzen, F.J. 1994. Climate change and temperature-dependent sex determination in reptiles.
- Kerr, J.T. 2001. Butterfly species richness patterns in Canada: energy, heterogeneity, & the potential consequences of climate change. *Conservation Ecology* 5: 10.
- Klanderud, K. & Birks, H.J.B. 2003. Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *Holocene* 13:1-6.
- Konvicka, M.; Maradova, M.; Benes, J.; Fric, Z. & Kepka, P. 2003. Uphill shifts in distribution of butterflies in the Czech Republic: effects of changing climate detected on a regional scale. *Global Ecology & Biogeography* 12: 403-410.
- Laurance, W. F., McDonald, K. R. & Speare, R. 1996. Epidemic disease and the catastrophic decline of Australian rainforest frogs. *Conservation Biology* 10:406-413.
- Lovejoy, T. E. & Hannah, L. J. 2005. *Climate Change & Biodiversity*. Yale University Press.
- Marco, A.; Lizana, M.; Suárez, C. & Nascimento, F. 2002. Radiación ultravioleta y declive de anfibios. *Quercus* 192: 30-37.
- Merilä, J., Kruuk, L. E. N. y. Sheldon, B. C 2001. Cryptic evolution in a wild bird population. *Nature*, 412: 76-79.
- Montoya, R. & López Arias, J. 1997. La red europea de seguimiento de daños en los bosques (Nivel 1). España, 1987-1996. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

- Montserrat, V.J. 1976. *La distribución ecológica de las mariposas diurnas del Guadarrama*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 376 pp.
- Moore, K.M.S. & Gregory, S.V. 1988a. Response of young-of-the-year cutthroat trout to manipulation of habitat structure in a small stream. *Transactions of the American Fisheries Society* 117: 162-170.
- Moore, K.M.S. & Gregory, S.V. 1988b. Summer habitat utilization & ecology of cutthroat trout fry (*Salmo clarki*) in Cascade Mountain streams. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences* 45: 1921-1930.
- Moreno Saiz, J.C.; Martínez Torres, R. & Tapia, F. 2003. Análisis del estado de conservación de la flora española. En: Bañares Baudet, Á.; G. Blanca; J. Güemes; J.C. Moreno Saiz & S. Ortiz (eds.). Atlas y Libro Rojo de la flora vascular amenazada de España. Taxones prioritarios. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid: 963-971.
- Moreno, J.M. (dir. / coord.) 2005. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla-La Mancha.
- Murray, M.B., Cannell, M.G.R. & Smith, R.I. 1989. Date of bud burst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. *Journal of Applied Ecology* 26: 693-700.
- Murray, M.B. & Ceulemans, R. 1998. Will tree foliage be larger & live longer? In: European Forests & Global Change: The likely impacts of Rising CO<sub>2</sub> & temperature, P.G. Jarvis, ed., pp. 94-125. Cambridge: Cambridge University Press.
- Oberhauser, K. & Townsend Peterson, A. 2004. Modelling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 100: 14063-14068.
- Otterson, G., Planque, B., Belgrano, A., Post, E., Reid, P.C. & Stenseth, N.C. 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* 128: 1-14.
- Overpech, J.T., Webb, R.S. & Webb III, T. 1992. Mapping eastern North American vegetation change over the past 18,000 years: No analogs & the future. *Geology* 20: 1071-1074.
- Palomares, F. 2003. The negative impact of heavy rains on the abundance of a Mediterranean population of European rabbits. *Mammalian Biology* 68: 224-234.
- Parmesan, C.; Ryrholm, N.; Stefanescu, C.; Hill, J.K.; Thomas, C.D.; Descimon, H., Huntley, B.; Kaila, L.; Kullberg, J.; Tammaru, T.; Tennent, W.J.; Thomas, J.A. & Warren, M. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 399: 579-583.
- Parmesan, C. & Yohe, G. 2000. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Parmesan, C. & Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37-42.
- Parmesan, C. 2005. Biotic response: Range & Abundance Changes. In: Climate Change & Biodiversity. Lovejoy, T. E. & Hannah, L. J. Yale University Press.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 637-69.
- Pauli, H., Gottfried, M., Hohenwallner, D., Reiter, K., Casale, R., & Grabherr, G. 2004. The GLORIA field manual - Multi-Summit approach European Commission DG Research, EUR 21213, Office for Official Publications of the European Communities, European Commission, Luxembourg, 89 pgs.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C., Grabherr, G. 2007. Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* 13:147-156.
- Pearson R.G. & Dawson, T.P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361-371.
- Peñuelas, J. & Filella, I. 2001. Responses to a warming world. *Science* 294: 793-795.
- Peñuelas, J., Filella, I. & Comas, P. 2002. Changed plant & animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8: 531-544.

- Peterson A.T., Sanchez-Cordero, V., Soberon, J., Bartley, J., Buddemeier, R.W., Navarro-Siguenza, A.G. 2001. Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144: 21-30.
- Peterson, A.T., Tian, H., Martínez-Meyer, E., Soberón, J., Sánchez-Cordero, V. & Huntley, B. 2005. Modeling distributional shifts of individual species and biomes. En: Lovejoy, T. E. & L. J. Hannah. 2005. *Climate Change & Biodiversity*. Yale University Press. Pags. 211-228.
- Pettorelli, N.; A. Mysterud; N.G. Yoccoz; R. Langvatn & N.C. Stenseth (2005) Importance of climatological downscaling and plant phenology for red deer in heterogeneous landscapes. *Proc. R. Soc. B*, 272: 2357-2364.
- Pleguezuelos, J.M., Márquez, R. & Lizana, M., eds. 2002. Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza – Asociación Herpetológica Española, Madrid, 584 pp.
- Pollard, E. & Yates, T.J. 1993. *Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation*. Chapman & Hall, London.
- Porter, J.H.; Parry, M.L. & Carter, T.R. 1991. The potential effects of climate change on agricultural insect pests. *Agricultural & Forest Meteorology* 57: 221-240.
- Post, E.; N.C. Stenseth; R. Langvatn & J.-M. Fromentin (1997) Global climate change and phenotypic variation among red deer cohorts. *Proc. R. Soc. B*, 264: 1317-1324.
- Pounds, J. A. & Crump, M. L. 1994. Amphibian declines and climate disturbance: The case of the golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology* 8:72-85.
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L., & Campbell, J. H. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398:611-615.
- Pounds, J.A., Fogden, M.P.L. & Masters, K.L. 2005. Responses of natural communities to climate change in a high land tropical forest. Case study. En: Lovejoy, T. E. & L. J. Hannah. 2005. *Climate Change & Biodiversity*. Yale University Press.. Pags. 70-74.
- Pounds, J.A., Bustamante, M.R., Coloma, L.A., Consuegra, J.A., Fogden, M.P.L., Foster, P.N., La Marca, E., Masters, K.L., Merino-Viteri, A., Puschendorf, R., Ron, S.R., Sánchez-Azofeifa, F.A., Still, C.J. & Young, B.E. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439: 161-167.
- Price, M.V. & Waser, N.M. 1998. Effects of experimental warming on plant reproductive phenology in a subalpine meadow. *Ecology* 79: 1261-1271.
- Reading, C.J. 1998. The effect of winter temperatures on the timing of breeding activity in the common toad *Bufo bufo*. *Oecologia* 117:469-475.
- Requés, R. & Tejedo, M. 2002. *Bufo calamita*. En: *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España* (Pleguezuelos, J.M., Márquez, R. & Lizana, M., eds.). Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid:188-189.
- Rodríguez-Trelles, F. & Rodríguez, M.A. 1998. Rapid microevolution & loss of chromosomal diversity in *Drosophila* in response to climate warming. *Evolutionary Ecology* 12: 829-838.
- Rome, L.C., Stevens, E. D. & John-Alder, H.B. 1992. The influence of temperature and thermal acclimation on physiological function. *Environmental physiology of the amphibia* (ed. by M.E. Feder and W.W. Burggren), pp.183-205. University of Chicago Press, Chicago.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosenzweig, C. & Pounds, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals & plants. *Nature* 421: 57-60.
- Root, T.L., MacMynowski, D.P., Mastrandrea, M.D. & Schneider, S.H. 2005. Human-modified temperatures induce species changes: Joint attribution. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 7465-7469.
- Roy, D.B. & Sparks, T.H. 2000. Phenology of British butterflies & climate change. *Global Change Biology* 6: 407-416.
- Sanz, J.J. 2002. Climate change and birds: have their ecological consequences already been detected in the Mediterranean region? *Ardeola* 49: 109-120.

- Sanz, J.J., Potti, J., Moreno, J., Merino, S. & Frias O. 2003. Climate change and fitness components of a migratory bird breeding in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 9: 461-472.
- Saxe, H.; Cannell, M.G.R.; Johnsen, Ø.; Ryan, M.G. & Vourlitis, G. 2000. Tree & forest functioning in response to global warming. *New Phytologist* 149: 369-399.
- Schwartz, M.D. 1998. Green-wave phenology. *Nature* 394: 839-840.
- Sinsch, U. 1991. Mini-review: the orientation behaviour of amphibians. *Herpetological Journal*, 1, 541-544.
- Skirvin, D.J., Perry, J.N. & Harrington, R. 1997. The effect of climate change on an aphid-coccinellid interaction. *Global Change Biology* 3: 1-11.
- Sparks, T.H. & Yates, T.J. 1997. The effect of spring temperature on the appearance dates of British butterflies 1883-1993. *Ecography*, 20: 368-374.
- Sparks, T.H., Jeffree, E.P. & Feffree, E.E. 2000. An examination of the relationship between flowering times & temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology* 44: 82-87.
- Stefanescu, C.; Peñuelas, J. & Filella, I. 2003. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology* 9: 1494-1506.
- Stewart, M. M. 1995. Climate Driven Population Fluctuations in Rain-Forest Frogs. *Journal of Herpetology* 29:437-446.
- Tauber, M.J., Tauber, C.A. & Masaki, S. 1986. Seasonal adaptations of Insecta. Oxford University Press.
- Tejedo, M. 2003. El declive de los anfibios. La dificultad de separar las variaciones naturales del cambio global. En: Rubio X. (ed.). La conservación de los anfibios en Europa. *Munibe Suplemento* 16: 20-43.
- Thomas, C.D. & Lennon, J.J. 1999. Birds extend their ranges northwards. *Nature*, 399: 213.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykes, M.T. & Prentice, I.C. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *National Academy of Sciences of the USA*. 102, 23:8245-8250.
- Thuiller W, Broennimann, O., Hughes, G., Alkmalde, J.M.R., Midgley, G.F. & Corsi, F. 2006. Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, 12, 424-440.
- Townsend Peterson, A.; Martínez-Meyer, E.; González-Salazar, C. & Hall, P.W. 2004. Modelled climate change effect on distribution of Canadian butterfly species. *Canadian Journal of Zoology* 82: 851-858.
- Turchetto, M. & Vanin, S. 2004. Forensic entomology & climatic change. *Forensic Science International* 146: 207-209.
- Turner, J., Gatehouse, C. & Corey, C. 1987. Does solar energy control organic diversity? Butterflies, moths and the British climate. *Oikos* 48: 195-205.
- Umina, P.A.; Weeks, A.R.; Kearney, M.R.; McKechnie, S.W. & Hoffmann, A.A. 2005. A rapid shift in a classic clinal pattern in *Drosophila* reflecting climate change. *Science* 308: 691-693.
- Veiga, J.P. 1986. Interannual fluctuations of three microtine populations in Mediterranean environments: the effect of the rainfall. *Mammalia* 50: 114-116.
- Visser, M.E., A.J. Van Noordwijk, J.M. Tinbergen & Lessells, C.M. 1998. Warmer springs lead to mistimed reproduction in Great Tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 265: 1867-1870.
- Visser, M.E.; Holleman, L.J.M. & Gienapp, P. 2006. Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. *Oecologia* 147: 164-172.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- Walther, G.-R., Beibner, S. & Burga, C.A. 2005. Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science* 16:542-548.

- Ward, J.K. & Strain, B.R. 1999. Elevated CO<sub>2</sub> studies: Past, present & future. *Tree physiology* 19: 211-220.
- Warren, M.S., Hill, J.K., Thomas, J.A., Asher, J., Fox, R. & Huntley, B. 2001. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate & habitat change. *Nature* 414: 65-69.
- Watson, R.T.; Zinyowera, M. & Moss, R.H. 1998. *The regional impacts of climate change, an assessment of vulnerability. A special report of IPCC working group 2*. Cambridge University Press.
- Weygoldt, P. 1989. Changes in the Composition of Mountain Stream Frog Communities in the Atlantic Mountains of Brazil Frogs as Indicators of Environmental Deteriorations. *Studies on Neotropical Fauna & Environment* 24:249-256.
- Williams, D.W. & Liebhold, A.M. 1995. Herbivorous insects and global change: potential changes in the spatial distribution of forest defoliator outbreaks. *Journal of Biogeography* 22: 665-671.
- Wilson, R.J.; Gutiérrez, D.; Gutiérrez, J.; Martínez, D.; Agudo, R. & Montserrat, V.J. 2005. Changes to the elevational limits & extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8: 1138-1146.
- Wilson, R.J.; Gutiérrez, D.; Gutiérrez, J. & Montserrat, V.J. 2007. An elevational shift in butterfly species richness & composition accompanying recent climate change. *Global Change Biology* 13:1873-1887. DOI: 10.1111/j.1365.2486.2007.01418.X.
- Winkel, W. & Hudde, H. 1996. Long-term changes of breeding parameters of Nuthatches *Sitta europaea* in two study areas of northern Germany. *Journal Fuer Ornithologie* 137:193-202.
- Young, B. E., Lips, K. R., Reaser, J. K., Ibanez, R., Salas, A. W., Cedeno, J. R., L. Coloma, A., Ron, S., La Marca, E., Meyer, J. R., Munoz, A., Bolanos, F., Chaves, G., & Romo, D. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology* 15:1213-1223.
- Zhou, X.; Harrington, R.; Woiwod, I.P.; Perry, J.N.; Bale, J.S. & Clark, S.J. 1995. Effects of temperature on aphid phenology. *Global Change Biology* 1: 303-313.

#### Otras referencias de interés

- Altermatt, F. 2009. Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths. *Proceedings of the Royal Society B online*.
- Arroyo, J.; J.C. Iturrondobeitia; A.I. Caballero & S. González-Carcedo. 2003. Una aproximación al uso de taxones de artrópodos como bioindicadores de condiciones edáficas en agrosistemas. *Boletín S.E.A.*, nº 32: 73-79.
- Bale, J.S., G.J. Masters, I.D. Hodkinson, C. Awmack, T.M. Bezemer & V.K. Brown. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8: 1-16.
- Battisti, A., M. Stastny, E. Buffo & S. Larsson. 2006. A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology* 12: 662-671.
- Beaumont, L.J. & L. Hughes. 2002. Potential changes in the distributions of latitudinally restricted Australian butterfly species in response to climate change. *Global Change Biology* 8: 954-971.
- Blenckner, T. & H. Hillebrand. 2002. North Atlantic Oscillation signatures in aquatic and terrestrial ecosystems—a metaanalysis. *Global Change Biology*, 8: 203-212.
- Blenckner, T. & D. Chen. 2003. Comparison of the impact of regional and North Atlantic atmospheric circulation on an aquatic ecosystem. *Clim. Res.*, 23: 131-136.
- Bosch, J.; L.M. Carrascal; L. Durán; S. Walker & M.C. Fisher. 2006. Climate change and outbreaks of amphibian chytridomycosis in a montane area of Central Spain; is there a link? *Proceedings of the Royal Society B*, 274: 253-260.

- Briers, R.A.; J.H.R. Gee & R. Geoghegan. 2004. Effects of the North Atlantic on growth and phenology of stream insects. *Ecography*, 27: 811-817.
- Brooks, S.J. & H.J.B. Birks. 2000. Chironomid-inferred late-glacial and early-Holocene mean July air temperature for Kråkenes lake, western Norway. *J. Paleolim.* 23: 77-89.
- Burton, J. F. & T.H. Sparks. 2003. The flight phenological responses of Lepidoptera to climate change in Britain & Germany. *Atalanta* 34: 3-16.
- Buse, A. & J.E.G. Good. 1996. Synchronization of larval emergence in winter moth (*Operophtera brumata* L.) and budburst in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) under simulated climate change. *Ecological Entomology* 21: 335-343.
- Bustamante J. 1997. Predictive models for lesser kestrel *Falco naumanni* distribution, abundance and extinction in southern Spain. *Biological Conservation* 80: 153-160. DOI: 10.1016/S0006-3207(96)00136-X.
- Cannon, R.J.C. 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. *Global Change Biology* 4: 785-796.
- Chen, X.Q. & Pan, W.F. 2002. Relationships among phenological growing season, time-integrated normalized difference vegetation index and climate forcing in the temperate region of Eastern China. *International Journal of Climatology* 22: 1781-1789.
- Clerk, S., Hall, R., Quinlan, R. & Smol, J.P. 2000. Quantitative inferences of past hypolimnetic anoxia and nutrient levels from a Canadian Precambrian Shield lake. *J. Paleolim.* 23: 319-336.
- Crick, H.Q.P.; C. Dudley; D.E. Glue & D.L. Thomson. 1997. UK birds are laying eggs earlier. *Nature*, 388: 526-527.
- Crozier L (2004) Warmer winters drive butterfly range expansion by increasing survivorship. *Ecology*, 85: 231-241.
- de Castro, M., Martín-Vide, J. & Alonso, S. 2005. El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático (ed. J.M. Moreno Rodríguez). Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 1-65.
- Fernández-González, F. 2002 Indicadores de biodiversidad: el estado actual de la investigación. En: Ramírez L. (ed.) Indicadores ambientales. Situación actual y perspectivas. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 265-294.
- Florenzano, G.T. 2004. Birds as indicators of recent environmental changes in the Apennines (Foreste Casentinesi National Park, central Italy). *Italian Journal of Zoology* 71: 317-324. DOI: 10.1080/11250000409356589.
- Forchhammer, M.C.; E. Post; N.C. Stenseth. 1998. Breeding phenology and climate... *Nature*, 391: 29-30.
- Franks, S.J.; S. Sim & A. E. Weis. 2007. Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104, 4: 1278-1282.
- Gignac, L.D. 2001. Bryophytes as Indicators of Climate Change. *The Bryologist* 104: 410-420.
- Gordo, O. & Sanz, J.J. 2006. Climate change & bird phenology: a long-term study in the Iberian Peninsula. *Global Change Biology* 12: 1993-2004. DOI: 10.1111/j.1365-2486-2006.01178.X.
- Gordo, O. & Sanz, J.J. (in press) Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*.
- Hampe, A. 2004. Cómo ser un relicto en el Mediterráneo: ecología de la reproducción y la regeneración de *Frangula alnus* subsp. *baetica*. Tesis doctoral, Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla.
- Hampe, A. & Petit, R.J. 2005. Conserving biodiversity under climate change: The rear edge matters. *Ecology Letters* 8: 461-467.
- Harrington, R.; Woiwod, I. & Sparks, T.H. 1999. Climate change & trophic interactions. *Trends in Ecology & Evolution* 14: 146-150.
- Harrington, R.; Fleming, R.A. & Woiwod, P. 2001. Climate change impacts on insect management & conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural & Forest Entomology* 3: 233-240.

- Harrington, R.; S.J. Clark; S.J. Welham; P.J. Verrier; C.H. Denholm; M. Hullé; D. Maurice; M.D. Rounsevell & N. Cocu. 2007. Environmental change and the phenology of European aphids. *Global Change Biology* 13: 1550-1564.
- Harte, J.; Ostling, A.; Green, J.L. & Kinzig, A. 2004. Biodiversity conservation: Climate change & extinction risk. *Nature* 430: 33. DOI: 10.1038/nature02718.
- Hill, J.K.; C.D. Thomas & B. Huntley. 1999. Climate and habitat availability determine 20<sup>th</sup> century changes in a butterfly's range margin. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 266: 1197-1206.
- Hill, J.K.; C.L. Hughes; C. Dytham & J.B. Searle. 2006. Genetic diversity in butterflies: interactive effects of habitat fragmentation and climate-driven range expansion. *Biology Letters*, 2: 152-154.
- Hitz, S. & Smith, J. 2004. Estimating global impacts from climate change. *Global Environmental Change* 14: 201-208.
- Hódar, J.A.; Castro, J. & Zamora, R. 2003. Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation* 110: 123-129.
- Hódar, J. A. & Zamora, R. 2004. Herbivory & climatic warming: a Mediterranean outbreaking caterpillar attacks a relict, boreal pine species. *Biodiversity & Conservation* 13: 493-500.
- Hódar, J.A.; Zamora, R. & Peñuelas, J. 2004. El efecto del cambio global en las interacciones planta-animal. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (ed. F. Valladares). Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 461-478.
- Hogg, I.D. & D.D. Williams. 1996. Response of stream invertebrates to a global-warming thermal regime: an ecosystem-level manipulation. *Ecology*, 77: 395-407.
- Hulme, P.E. 2005. Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology* 42: 784-794.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation & Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Jarvinen, A. 1994. Global warming and egg size of birds. *Ecography*, 17: 108-110.
- Klanderud, K. & O. Totland. 2005. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot. *Ecology*, 86: 2047-2054.
- Larocque, I., Hall, R.I. & Grahn, E. 2001. Chironomids as indicators of climate change: a 100-lake training set from a subarctic region of northern Sweden (Lapland). *Journal of Paleolimnology* 26: 307-322.
- Lewis, O.T. (2006) Climate change, species-area curves and the extinction crisis. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol.*, 361: 163-171.
- Lobo, A.; Ibáñez, J.J. & Carrera, C. 1997. Regional scale hierarchical classification of temporal series of AVHRR vegetation index. *International Journal of Remote Sensing* 18: 3167-3193.
- Lobo, J.M. 2001. Decline of roller dung beetle populations in Iberian Peninsula during the 20th century. *Biological Conservation* 97: 43-50.
- Lockwood, J.L. (2004) How do biological invasions alter plant diversity. En: Lomolino, M.V. & L.R. Heaney (eds.) *Frontiers of biogeography-new directions in the geography of nature*. Sinauer Associates, M.A. Sunderland, pp. 397-310.
- Loehle, C. 2000. Forest ecotone response to climate change: Sensitivity to temperature response functional forms. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1632-1645.
- Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Hofmann, W. & Marchetto, A. 1997. Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I: Climate. *J. Paleolim.* 18: 395-420.
- Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Hofmann, W. & Marchetto, A. 1998. Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *J. Paleolim.* 19: 443-463.
- MacPhee, R.D.E. 1999. *Extinctions in Near Time: Causes, Contexts & Consequences*. New York: Kluwer Academic/Plenum.

- Malcolm, J.R.; C. Liu; R.P. Neilson; L. Hansen & L. Hannah (2006) Global warming & extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology* 20: 538-548.
- Marco, A. & Pollo, C. 1993. Análisis biogeográfico de la distribución del lagarto verdinegro (*Lacerta schreiberi* Bedriaga 1878). *Ecología* 7: 457-466.
- Marco, A. & Lizana, M. 2002. Efectos de la radiación ultravioleta sobre los anfibios en áreas de montaña. Actas de las III Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y del Valle del Paular. Biodiversidad: investigación conservación y seguimiento. Comunidad de Madrid: 73-80.
- Marini, M.A., M. Barbet-Massin, L.E. Lopes & F. Jiguet. 2009. Predicted Climate-Driven Bird Distribution Changes & Forecasted Conservation Conflicts in a Neotropical Savanna. *Conservation Biology*, 23: 1558-1567. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01258.X.
- McLachlan, J.S.; J.S. Clark & P.S. Manos. 2005. Molecular indicators of tree migration capacity under rapid climate change. *Ecology* 86: 2088-2098.
- Menéndez, R.; A. González Megías & J.K. Hill *et al.* 2006. Species richness changes lag behind climate change. *Proceedings of the Royal Society B*, 273: 1465-1470.
- Merrill, R.M.; D. Gutiérrez; O.T. Lewis; J. Gutiérrez; S. B. Díez & R.J. Wilson. 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *Journal of Animal Ecology*, 77: 145-155.
- Mezquida, E.T.; Villarán, A. & J.P. Parra. 2007. Timing of autumn bird migration in central Spain in light of recent climate change. *Ardeola* 54(2): 251-259.
- Montoya, J.M. & Mesón, M.L. 1994. Los factores catalizadores de "la seca de *Quercus*". *Ecología* 8: 185-191.
- Moretti, M.; Conedera, M.; Moresi, R. & Guisan, A. 2006. Modelling the influence of change in fire regime on the local distribution of a Mediterranean pyrophytic plant species (*Cistus salvifolius* L.) at its northern range limit. *Journal of Biogeography* 33: 1492-1502.
- Moss, R.; Oswald J.; D. Baines. 2001. Climate change and breeding success: decline of the capercaillie in Scotland. *Journal of Animal Ecology*, 79: 47-61.
- Musolin, D.L. 2007. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Global Change Biology* (2007) 13, 1565-1585.
- Myneni, R.B., Keeling, C.D., Tucker, C.J., Asrar, G. & Nemani, R.R. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386: 698-702.
- Noss, R.F. 2001. Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology* 15, 578-590.
- Olander, H., Korhola, A. & Blom, T. 1997. Surface sediment Chironomidae (Insecta: Diptera) distributions along an ecotonal transect in subarctic Fennoscandia: developing a tool for palaeotemperature reconstructions. *J. Paleolim.* 18: 45-59.
- Pauli, H. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature*, 369: 448.
- Pauli, H.; Gottfried, M. & Grabherr, G. 2001. High summits of the Alps in a changing climate. The oldest observation series on high mountain plant diversity in Europe. En: Walther, G.R.; C.A. Burga & P.J. Edwards (eds.), Fingerprints of climate change. Adapted behaviour & shifting species range. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York: 139-149.
- Pearson, R.G. 2006. Climate change & the migration capacity of species. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 111-113.
- Peterson, A.T.; E. Martínez-Meyer; C. González-Salazar & P.W. Hall. 2004. Modeled climate change effects on distributions of Canadian butterfly species. *Canadian Journal of Zoology*, 82, 6: 851-858.
- Primack, D.; C. Imbres; R.B. Primack; A.J. Miller-Rusching & P. del Tredici. 2004. Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston. *American Journal of Botany*, 91(8): 1260-1264.
- Pritchard, G.; L.D. Harder & R.A. Mutch. 1996. Development of aquatic insect eggs in relation to temperature and strategies for dealing with different thermal environments. *Biol. J. Linnean Soc.*, 58: 221-244.

- Przybylo, R.; B.C. Sheldon & J. Merilä. 2000. Climatic effects on breeding and morphology: evidence for phenotypic plasticity. *Journal of Animal Ecology*, 69: 395-403.
- Pujante Mora, A.M. (1997) Los artrópodos como bioindicadores de la calidad de las aguas. *Bol. S.E.A.*, 20: 277-284.
- Rehfeldt, G.E.; Tchebakova, J.M.; Parfenova, Y.I.; Wykoff, W.R.; Kuzmina, N.A. & Milyutin, L.I. 2002. Intraspecific response to climate change in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology* 8: 1-18.
- Ribera, I. & Foster, G. 1997. El uso de artrópodos como indicadores biológicos. *Boletín de la SEA* 20: 265-276.
- Rivas-Martínez, S. 1983. Pisos bioclimáticos de España. *Lazaroa* 5: 33-43.
- Root, T.L. & Hugues, L. 2005. Present & future phenological changes in wild plants & animals, In: *Climate Change & Biodiversity*. Lovejoy, T. E. & Hannah, L. J. Yale University Press.
- Saether, B.-E.; J. Tufto; S. Engen; K. Jerstad; O.W. Røstad & J.E. Skåtan (2000) Population Dynamical Consequences of Climate Change for a Small Temperate Songbird. *Science*, 287: 854-856.
- Santos, T. & Tellería, J. 1995. Global environmental change to and the future of Mediterranean forest avifauna. En: Moreno J.M. y Oechel W.C. (eds.). *Global change & Mediterranean type ecosystems*. Springer-Verlag, New York: 457-470.
- Sanz, J.J. 2002. Climate change and breeding parameters of great and blue tits throughout the western Palearctic. *Global Change Biology*, 8: 409-422.
- Sanz, J.J. 2003. Large-scale effect of climate change on breeding parameters of pied flycatchers in Western Europe. *Ecography*, 26: 45-50.
- Sekercioglu, C.H.; Schneider, S.H.; Fay, J.P. & Loarie, S.R. 2008. Climate change, elevational range shifts, & bird extinctions. *Conservation Biology* 22/1: 140-150. DOI: 10.1111/j.1523-1739-2007-00852.X.
- Seoane J.; Viñuela, J.; Díaz-Delgado, R. & Bustamante, J. 2003. The effects of land use and climate on red kite distribution in the Iberian peninsula. *Biological Conservation* 111: 401-414. DOI: 10.1016/S0006-3207(02)00309-9.
- Settele, J.; O. Kudrna; A. Harpke; I. Kühn; C. Van Swaay; R. Verovnik; M. Warren; M. Wiemers; J. Hanspach; T. Hickler; E. Kühn; I. van Halder; K. Veling; A. Vliegenthart; I. Wynhoff & O. Schweiger (2008) *Climatic Risk Atlas of European Butterflies*. Pensoft.
- Shoo, L.P., Williams, S.E. & Hero, J.M. 2005. Potential decoupling of trends in distribution area & population size of species with climate change. *Global Change Biology* 11:1469-1476.
- Sparks, T.H.; R.L.H. Dennis; P.J. Croxton & M. Cade. 2007. Increased migration of Lepidoptera linked to climate change. *Euro. J. Entomol.*, 104: 139-143.
- Steele, B.B., R.L. Bayn, R.L. Jr. & Grant, C.V. 1984. Environmental monitoring using populations of birds and small mammals: Analysis of sampling effort. *Biological Conservation* 30: 157-172.
- Stefanescu, C. 2000. El Butterfly Monitoring Scheme en Catalunya: los primeros cinco años. *Treballs de la Societat Catalana de Lepidopterologia*, 15: 5-48.
- Stireman, J.O.; Dyer, L.A.; Janzen, D.H.; Singer, M.S.; Lill, J.T. & Marquis, R.J. 2005. Climatic unpredictability & parasitism of caterpillars: implications of global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 17384-17387.
- Svenning, J.C. & Skov, F. 2004. Potential & actual ranges of plant species in response to climate change-implications for the impact of 21st century global warming on biodiversity. Paper presented at Copenhagen Meeting on Biodiversity & Climate Change, Environmental Assessment Institute; 28-29 August 2004, Copenhagen, Denmark.
- Thomas, C.D.; A. Cameron; R.E. Green; M. Bakkenes; L.J. Beaumont; Y.C. Collingham; B.F.N. Erasmus; M. Feirrer de Siqueira; A. Grainger; L. Hannah; L. Hughes; B. Huntley; A.S. van Jaarsveld; G.F. Midgley; L. Miles; M.A. Ortega-Huerta; A.T. Peterson; O.L. Phillips & S.E. Williams. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427: 145-148.

- Thuiller, W.; S. Lavorel; M.B. Araujo; M.T. Sykes & I.C. Prentice. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102: 8245-8250.
- Underwood, E.C. & Fisher, B.L. 2006. The role of ants in conservation monitoring: if, when, & how. *Biological Conservation* 132, 166–182.
- Villafuerte, R. 2002. *Oryctolagus cuniculus* Linnaeus 1758. En: Palomo L.J. y Gisbert J. (eds). Naturaleza-SECEM- SECEMU, Madrid: 464-467.
- Walker, I. R., Levesque, A. J., Cwynar, L. C. & Lotter, A. F. 1997. An expanded surface-water palaeotemperature inference model for use with fossil midges from eastern Canada. *J. Paleolim.* 18: 165-178.
- Warner, B. G. & Hann, J. 1987. Aquatic invertebrates as paleoclimatic indicators? *Quat. Res.* 28: 427-430.
- Warren, M.S. *et al.* 2001. Climate versus habitat change: opposing forces underly rapid changes to the distribution and abundances of British butterflies. *Nature*, 414: 65-69.
- Warwick, W. F. 1989. Chironomids, lake development and climate: a commentary. *J. Paleolim.* 2: 15-17.
- Welch, D. 2005 What should protected area managers do in the face of climate change. *The George Wright Forum* 22: 75–93.
- Woiwod, I.P. 1997. Detecting the effects of climate change on Lepidoptera. *Journal of Insect Conservation*, 1: 149-158.
- Xenopoulos, M.A.; D.M. Lodge; J. Alcamo; M. Marker; K. Schulze & D.P. Van Vuuren. 2005. Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Global Change Biology*, 11: 1557-1564.

Enlaces de interés:

<http://amphibiaweb.org/declines/ClimateChange.html>

[http://www.usda.gov/oce/climate\\_change/index.htm](http://www.usda.gov/oce/climate_change/index.htm)

[http://www.usgs.gov/global\\_change/](http://www.usgs.gov/global_change/)