



J.M. Pleguezuelos

*Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, E-18071 Granada
Correo electrónico: juanple@ugr.es*

8

Vulnerabilidad de los reptiles ibéricos al cambio climático

Resultados clave

- Algunos reptiles ibéricos han visto desplazado su límite norte de distribución hacia latitudes más altas durante el periodo del reciente cambio climático (analizado para el periodo 1975-2010).
- Otros reptiles han extendido su periodo de actividad anual durante el mismo periodo de cambio climático.
- Las especies montanas, algunas endémicas, podrían ser las más afectadas por el cambio climático, debido a la pérdida de hábitat y al desplazamiento por otras especies de zonas más bajas.
- La tasa de extinción de los reptiles ibéricos en respuesta al cambio climático podría ser menor que la pronosticada por los modelos de distribución de especies si se realizan sencillos programas de gestión.

Contexto

Los vertebrados ectotermos como los reptiles podrían verse más afectados por el cambio climático que los endotermos, pues sus procesos biológicos y su distribución son más dependientes de la temperatura ambiente (Wake 2007, Aragón et al. 2010a, Real et al. 2010). Además, los reptiles son particularmente sensibles al cambio climático y a la degradación de hábitats por su comparativamente baja capacidad de dispersión, pequeña área de campeo y limitaciones en la termorregulación en ausencia de hábitat adecuado (Kearney et al. 2009). En este contexto, ambientes excesivamente cálidos podrían implicar que su temperatura corporal exceda el máximo térmico crítico (temperatura corporal elevada que implica falta de coordinación en la locomoción; el animal pierde

su capacidad para escapar de la situación ambiental que lo conduce a la muerte). Se ha pronosticado un declive global de los reptiles similar al ocurrido entre los anfibios, en parte atribuido al cambio climático (Gibbons et al. 2000). Desde 1975, se estima que se han extinguido el 4% de las poblaciones mundiales de lagartos y para 2080 se pronostica que se extinguirán el 39% de las poblaciones y el 20% de las especies. Estas estimas han sido validadas con los datos disponibles hasta el año 2009 en cuatro continentes (Sinervo et al. 2010). Al menos en saurios, el riesgo a la extinción por el calentamiento climático no parece estar relacionado con el modo de termorregulación (termorregulación activa o termoconformismo), aunque las especies que seleccionan temperatura corporal relativamente baja y permanecen muchas horas de actividad fuera de los refugios, parecen más sensibles (Sinervo et al. 2010).

La península ibérica es un punto caliente de biodiversidad para los reptiles continentales en el marco del continente europeo y de la cuenca del Mediterráneo (Cox et al. 2006). Los ecosistemas terrestres ibéricos se encuentran entre los más afectados por el cambio climático a nivel de Europa (EEA 2004, Schröter et al. 2005, Menzel et al. 2006), en particular para los anfibios y reptiles (Araújo et al. 2006). En zonas áridas del sureste ibérico el calentamiento climático también pronostica un mayor estrés hídrico y la desaparición de cobertura de vegetación; este hecho podría reducir la actividad de algunos reptiles, ya que en estos ambientes, su actividad fuera de los refugios depende de la disponibilidad de sombra para que los individuos no se acerquen a la temperatura máxima crítica (Kearney et al. 2009). Pero los modelos de distribución de especies en un escenario de cambio climático pronostican también un severo efecto del clima en el norte ibérico, y una carencia actual de espacios naturales protegidos para conservar la diversidad de reptiles (Carvalho et al. 2010, 2011).

Se ha analizado la vulnerabilidad de los reptiles al cambio climático en España (o en áreas muy próximas geográficamente) atendiendo a las predicciones que proporcionan los modelos de distribución de las especies y bioclimas bajo escenarios futuros (Araújo et al. 2006, Aragón et al. 2010b, Carvahlo et al. 2010), y a las respuestas ya detectadas en diversas especies en el periodo del reciente cambio climático. Estas respuestas corresponden a cambios en la distribución latitudinal (Moreno-Rueda et al. 2012) y altitudinal (Bauwens et al., 1986), en su fenología (ciclos de actividad; Moreno-Rueda et al. 2009) y en parámetros biológicos como tamaño y supervivencia (Chamaillé-Jammes et al. 2006). Para finalizar, se discuten las implicaciones de los cambios en el paisaje, la espermatogénesis de los machos y la determinación del sexo por la temperatura, en este grupo bajo el escenario de cambio climático.

■ Resultados y discusión

Modelos de distribución bajo escenarios de clima futuros

El efecto del cambio climático sobre los reptiles ibéricos se ha analizado mediante la modelización de su distribución en relación al clima actual, y la proyección hacia el futuro de la distribución potencial de las especies, considerando la predicción de diversos escenarios de clima. Entre los vertebrados, el porcentaje de especies cuyos modelos quedan explicados por variables relacionadas con la temperatura ambiental es superior en reptiles con respecto a mamíferos, probablemente debido a factores fisiológicos (Aragón et al. 2010a, b). El análisis de Araújo et al. (2006), aunque incluye todo el continente europeo, discute especialmente los resultados

para la península ibérica. La distribución de las especies se modela con cuatro técnicas que relacionan el clima con la presencia de las especies y los resultados se proyectan al futuro, usando cinco escenarios de cambio climático para 2050. El estudio aporta datos menos dramáticos de los que se temían para el conjunto de Europa, pero no así para la península ibérica. En el supuesto de capacidad ilimitada de dispersión, la mayoría de las especies expanden su distribución. Cuando se considera capacidad nula de dispersión para las especies, la mayoría muestra una disminución de su área de distribución. Además, la mayor parte de la pérdida futura de entorno climático adecuado para los reptiles continentales se proyecta que ocurra en el suroeste de Europa, por tanto, en la península ibérica. Los factores climáticos que parecen influir en las proyecciones de pérdida de más especies de reptiles en regiones europeas, son el aumento de temperatura media anual y las anomalías o reducciones en la precipitación, situaciones pronosticadas para la península ibérica hacia 2050.

Cuando se consideran solo los endemismos ibéricos, con mayor precisión para la distribución de las especies y con un mayor número de técnicas de modelización, se observa que las especies con afinidad atlántica, en el noroeste ibérico, son las que muestran mayores reducciones en la distribución futura. Además, parece que este proceso va a ser muy rápido, quizás por el carácter estenoico (utilización de un número pequeño de hábitats) y la poca resiliencia de estas especies. Por ejemplo, *Vipera seoanei* sería uno de los reptiles ibéricos más amenazados, ya que se prevé para el año 2020 la total desaparición de las condiciones ambientales que le son favorables (Carvalho et al. 2010). Especies con el área de distribución actual muy reducida (*Iberolacerta aranica*, *I. aurelioi*, *I. bonnali*, *I. monticola*; ver Figura 1) también perderán completamente el área de hábitat adecuado, aunque en un plazo algo mayor. Sin embargo, especies con

■ Figura 1



▲ **Figura 1.** La lagartija pirenaica (*Iberolacerta bonnali*), junto con otras especies congénéricas que habitan Los Pirineos, podrían perder hábitat en los ambientes montañosos donde viven, por el efecto del calentamiento climático. Ejemplar del Vall Fosca, estany Gento, Lérida, agosto 2004.

Fuente: Juan M. Pleguezuelos.

clara afinidad mediterránea (*Acanthodactylus erythrurus*, *Coronella girondica*, *Hemorrhois hippocrepsis*, *Podarcis hispanicus*, *Psammodromus hispanicus*, *Vipera latastei*), expandirán su área de distribución (Carvahlo et al. 2010).

Pero estas técnicas de modelización para pronósticos en el futuro, usadas individualmente o en conjunto, tienen aún incertidumbres (Harte et al. 2004, Beaumont et al. 2008). Aparte de la incertidumbre derivada de la proyección de las variables físicas (el pronóstico del clima en el futuro, Real et al. 2010), las dos premisas que se emplean para la única variable biológica incluida en los modelos, no movilidad y movilidad ilimitada, son los extremos de un gradiente y la realidad probablemente está en algún punto entre esos extremos. Los resultados en la modelización de las áreas futuras de los reptiles españoles suelen ser muy diferentes según se considere una y otra premisa (Aragón et al., 2010b, Carvahlo et al. 2010). Incluso animales con escasa capacidad de dispersión como los reptiles continentales, en paisajes donde los hábitats están cada vez más fraccionados y dificultan la movilidad como ocurre en la península ibérica (Böhm et al. 2013), muestran una capacidad de dispersión significativa a lo largo del tiempo (Moreno-Rueda et al. 2012). Por otra parte, la vulnerabilidad futura de un organismo depende de muchos más factores que la temperatura ambiental y su vagilidad, como son la disponibilidad de alimento, enfermedades, destrucción y fragmentación de hábitat, incendios, especies invasoras, etc., que pueden interactuar con el calentamiento climático. Además, los organismos no están aislados, y su vulnerabilidad puede también depender de cómo el cambio climático altere sus interrelaciones con competidores, depredadores, parásitos, mutualistas (Araújo & Luoto 2007, Huey et al. 2012), y esos factores difícilmente se pueden proyectar hacia el futuro.

Distribución latitudinal

Algunos organismos están ya respondiendo al cambio climático modificando sus áreas de distribución (Hickling et al. 2006, Parmesan 2006, Chen et al. 2011). Es más probable observar estos cambios en la distribución que adaptaciones in situ al cambio climático, pues la velocidad de cambio del clima es demasiado rápida para que ocurra adaptación genética y todavía se han observado pocos cambios como consecuencia de plasticidad fenotípica (Przybylo et al. 2000, Bradshaw & Holzapfel 2006, Sinervo et al. 2010). Un estudio observacional en la península ibérica sugiere que en general la fauna de reptiles está afrontando el cambio climático mediante cambios en su distribución (Moreno-Rueda et al. 2012). Se utilizaron datos sobre la distribución de los reptiles durante el s. XX para analizar si ha cambiado en paralelo al cambio del clima. Concretamente se comparó la distribución de las especies antes de 1975, época en la que se asume comenzó el actual periodo de calentamiento climático (IPCC 2007), con su distribución en el periodo 1991-2005. Después de controlar el esfuerzo y el sesgo geográfico en el muestreo, la filogenia y la autocorrelación espacial, se observó que en 22 de las 30 especies consideradas, el límite norte de su distribución se movió hacia el norte entre los dos periodos de tiempo. Este límite se movió a una tasa media de 0,5 km/año, distancia dentro de la capacidad de dispersión de las especies consideradas (Moreno-Rueda et al. 2012), similar a la magnitud de cambio de rango de otros grupos taxonómicos (Parmesan & Yohe 2003).

Se ha establecido que la capacidad de dispersión de los animales es muy importante para afrontar los efectos del cambio climático (Trakhtenbrot et al. 2005). Sin embargo, en nuestro sistema de estudio no se observó relación entre aspectos biológicos implicados en la capacidad de dispersión de las especies, como el tamaño corporal y la tasa reproductiva, y la magnitud del cambio en su distribución. Esto sugiere que la tasa a la que reptiles ibéricos se mueven hacia el norte no está limitada por su capacidad de dispersión, sino también por otros factores, probablemente la distribución de hábitats adecuados (Menéndez et al. 2006, Chen et al. 2011). Sí se observó que las especies con el borde norte de su rango ibérico situado más meridionalmente se movieron más hacia el norte que aquellas que tenían el borde norte de su rango más septentrional en la península ibérica. Lógicamente, el mar Cantábrico es una limitación para la progresión hacia el norte de especies septentrionales, y también podría serlo la cadena de Los Pirineos (Carvahlo et al. 2010). Aunque se ha puesto en duda que la capacidad de desplazamiento de los ectotermos pueda compensar la severidad del cambio climático durante el siglo XXI (Buckley et al. 2013), creemos que la diversidad topográfica de la península ibérica puede actuar sinérgicamente con la capacidad de desplazamiento de manera favorable para los reptiles (gracias a la existencia de un variado mosaico geográfico de condiciones ambientales, que permitirían el mantenimiento de refugios para especies de requisitos ecológicos muy variados).

Distribución altitudinal

Se espera que el calentamiento global permita a algunos animales incrementar su límite altitudinal superior para mantenerse en su óptimo térmico (Wilson et al. 2005, Chen et al. 2011), y este parece ser el caso del saurio mediterráneo *Psammodromus algirus* en las sierras Béticas (periodo 1980-2013; observ. per.). En los últimos años se ha observado la instalación de poblaciones densas hasta los 2600 m snm, e individuos aislados próximo a los 3000 m (ver también Bauwens et al. 1986). En un reciente estudio sobre su biología térmica a través de un gradiente altitudinal de 2200 m (300-2500 m) en la ladera sur de Sierra Nevada, se observó que mientras que la temperatura ambiental descendió 9° C a lo largo del gradiente, la especie mantuvo su temperatura corporal, lo que indica una eficaz capacidad de termorregulación (Zamora-Camacho et al. 2013, ver también Díaz et al. 2006). La especie aparentemente no se ve afectada por otros factores ambientales montanos, como el incremento de la radiación ultravioleta, la cual podrían combatir mediante el mayor oscurecimiento de la piel en los ejemplares situados a mayor altitud (Reguera et al. 2014), mientras se benefician de este espectro de la radiación solar para calentarse más rápido (Vences et al. 2002). Se sugiere que la limitación para esta especie en altitud es la disponibilidad de formaciones de matorral que constituyen su hábitat, las cuales en el área de estudio apenas sobrepasan los 2600 m. Si los matorrales también responden al cambio climático ascendiendo en altitud (Benito et al. 2011) los saurios podrían seguir con su migración altitudinal (Zamora-Camacho et al. 2013).

En las montañas meridionales ibéricas los reptiles eurosiberianos podrían ser los más vulnerables al cambio climático. Podría ser el caso de *Coronella austriaca*, con poblaciones sujetas a aislamiento postglacial (Santos et al. 2008), en zonas elevadas de Sierra Nevada (rango 2050-2700 m, Caro et al. 2012),

actualmente con muy poco hábitat adecuado disponible (Santos et al., 2009). En reptiles de Norte América se ha observado que el riesgo a la extinción de reptiles vivíparos (como es el caso de *C. austriaca*) estaba relacionado con hábitats montanos fríos (Sinervo et al. 2010). Además, pueden verse afectadas por el ascenso en altitud de especies mediterráneas (más termófilas; Massot et al. 2008), algunas actuando como depredadoras (*M. monspessulanus*) o competidoras (*C. girondica*; Santos et al. 2009), y en este futuro escenario, las especies eurosiberianas pueden ser las perdedoras (Zamora-Camacho et al. 2013). Además, en ofidios el riesgo de extinción puede estar actualmente infraestimado debido a la falta de información sobre sus poblaciones (Santos et al. 2007, Böhm et al. 2013).

La misma amenaza ha sido pronosticada para un endemismo del sur de la península ibérica, *Algyroides marchi*, aislado en montañas del este ibérico, pero adaptado a condiciones ombroclimáticas atlánticas. La extrapolación de los modelos para los diferentes escenarios de cambio climático predicen descensos en las precipitaciones (aunque de una manera menos robusta que la predicción sobre el incremento de temperatura), particularmente durante el verano, e incrementos térmicos (Schröter et al. 2005, IPCC 2007); esto favorecerá a otras especies más mediterráneas, bien como competidoras (*P. algirus*, *Podarcis hispanicus*), o como depredadoras (*C. girondica*, *M. monspessulanus*). Las poblaciones más amenazadas son las periféricas, que ocupan ambientes subóptimos y no están conectadas con el núcleo poblacional principal, pero que aportan gran diversidad genética a la especie (Carretero et al. 2010). Sin embargo, en los modelos con variables climáticas, *A. marchi* aumenta su distribución en el año 2050, pero la disminuye en el 2080 (Carvalho et al. 2010).

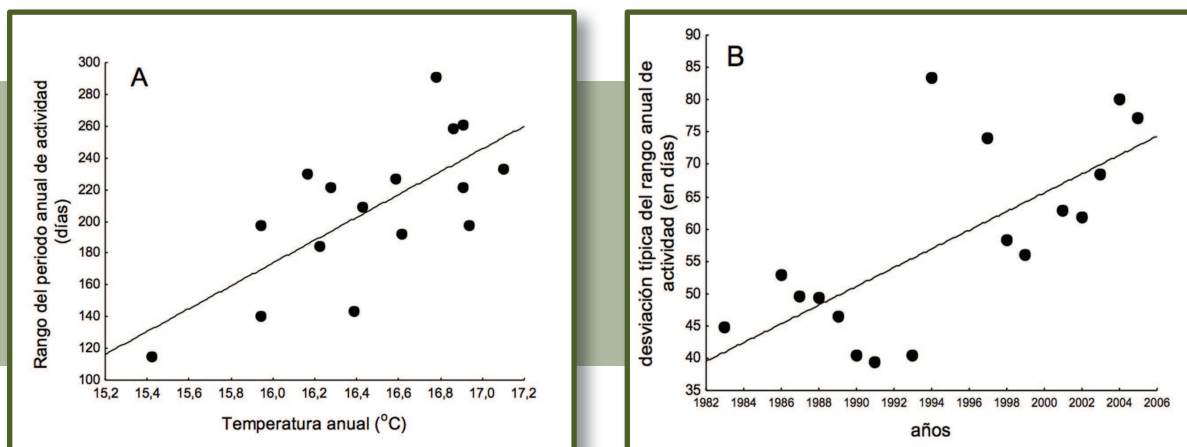
Però el grupo que hipotéticamente podría ser más vulnerable al calentamiento global en la península ibérica es el de las lagartijas del género *Iberolacerta* (Carvalho et al. 2010). Constituyen siete especies, seis de ellas aisladas en zonas montanas: *I. bonnali* (área <2000 km², rango altitudinal entre 1700-3060 m; Arribas 2002c), *I. aurelioi* (<500 km², 2100-2940 m; Arribas 2002b), *I. aranica* (<100 km², 1900-2670 m; Arribas 2002a), en Los

Pirineos; *I. martinezricai* en la Peña de Francia (12-15 km², 840-1720 m; Arribas 2006), *I. galani* en los Montes de León (9 cuadrículas UTM 10 x 10 km, 1340-2185 m; Arribas & Carranza 2007), e *I. cyreni* en el Sistema Central (35 cuadrículas UTM 10 x 10 km, 1500-2440 m; Martín 2005). La biodiversidad en zonas altas parece ser muy sensible al calentamiento global, especialmente en la región mediterránea (Nogués-Bravo et al. 2008), por cambios en la dinámica de la cubierta de nieve (Schröter et al. 2005). El incremento de las temperaturas podría implicar la pérdida de las condiciones abióticas y bióticas adecuadas (por la presión de depredación o competencia de especies mediterráneas; ver Sinervo et al. 2010) en el límite inferior de su actual rango altitudinal. También podrían responder con desplazamiento hacia arriba en su hábitat montano, lo que implica una exponencial pérdida de su área de distribución (ver Wilson et al. 2005, Raxworthy et al. 2008), un área que ya es muy reducida para algunas especies (ver en Fig. 5 de Carvalho et al. 2011, los resultados para *I. aranica* e *I. aurelioi* en el diseño de áreas protegidas).

Ciclos de actividad y de reproducción

Los reptiles también muestran en sus ciclos de actividad una fuerte dependencia de la temperatura ambiental (Gibbons & Semlitsch 1987). En un escenario de calentamiento global es muy probable que el periodo intraanual de actividad de los reptiles de la región Templada se incrementará (Parmesan & Yohe 2003). Comprobamos esta hipótesis con *Malpolon monspessulanus* en el sureste ibérico durante un periodo de 22 años (1983-2004; Moreno-Rueda et al. 2009; ver Figura 2 y 3). Durante este periodo, la temperatura ambiental en el área de estudio aumentó de manera significativa $1,54 \pm 0,66^\circ \text{C}$ (media \pm s.e.), a una tasa de $0,07^\circ \text{C}$ por año; en paralelo, la especie mostró una mayor dispersión en las fechas en las que estaba activa a lo largo del año; además, conforme progresaban los años, se retrasó la fecha de entrada en el letargo invernal. Ambos resultados sugieren una ampliación del ciclo de actividad intraanual. Previamente ya habíamos descubierto en esta especie y durante el mismo periodo, que el número de ejemplares observado cada año estuvo positivamente correlacionado con la temperatura media anual (Moreno-

■ **Figura 2**



▲ **Figura 2.** Relación entre la temperatura media anual y la amplitud del periodo de actividad anual (A), y relación entre la desviación típica de la amplitud del ciclo de actividad anual a lo largo del periodo 1982-2006 (B), de la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*), en el sureste ibérico. En la primera figura se observa como el ciclo de actividad anual del ofidio es más amplio los años más cálidos, y en la segunda se observa como la dispersión de las fechas de inicio y de finalización del ciclo anual está aumentando con el paso del tiempo durante el periodo considerado.

Fuente: A) Modificado a partir de Moreno-Rueda y Pleguezuelos (2007). B) Modificado a partir de Moreno-Rueda et al. (2009).

Rueda & Pleguezuelos, 2007). En la misma región y durante aproximadamente el mismo periodo, obtuvimos el mismo resultado para otro ofidio, *H. hippocrepis* (Zamora-Camacho et al. 2010). Todo ello sugiere que el calentamiento climático podría favorecer a estos ofidios termófilos mediante la extensión de su periodo de actividad anual. La ventaja selectiva sería a través de más oportunidades para alimentarse, crecer y reproducirse.

La fisiología de la reproducción en los machos de *M. monspessulanus* y *H. hippocrepis*, especies que comparten un origen norteafricano, nos aporta información sobre el mecanismo subyacente en los resultados anteriores. La mayoría de reptiles europeos muestran un ciclo espermatogénico (el proceso de formación de espermatozoides) estival; sólo los dos ofidios citados entre los 20 que habitan Europa Occidental muestran un ciclo espermatogénico distinto, el vernal. En este ciclo vernal, los machos, el mismo año que alcanzan la madurez sexual, producen espermatozoides y los utilizan en las cópulas; sin embargo, en el ciclo estival los machos producen los espermatozoides en el verano, pero no los utilizan hasta la primavera del año siguiente. A igualdad de otros factores que influyan en la reproducción, las especies con espermatogénesis estival muestran un proceso reproductor más lento que las especies de espermatogénesis vernal (Feriche et al. 2008). Pero el ciclo vernal tiene un requerimiento térmico que circunscribe su distribución a zonas con isoterma en el mes de julio de 22° C o superior (Saint Girons 1982). En un escenario de calentamiento climático podemos esperar una expansión hacia el norte o hacia arriba en las montañas de las condiciones térmicas favorables a las especies termófilas (Walther et al. 2002), que por ejemplo, favorezcan a las especies con este ciclo espermatogénico (Feriche et al. 2008). Algunas evidencias ya existen; en el sureste ibérico, la importancia relativa de *M. monspessulanus* pasó en el periodo 1980-2006 del 27% al 52% de la comunidad de ofidios (C. Segura, com. per.), y existen otras evidencias, como las relativas a la actividad (Moreno-Rueda & Pleguezuelos 2007, Moreno-Rueda et al. 2009, Zamora-Camacho et al. 2010); además, *H. hippocrepis* es una de las especies que se pronostica aumentará su distribución ibérica en el futuro (Carvahlo et al. 2010). Estas especies, dentro de

la península ibérica, podrían estar viéndose favorecidas por poseer un ciclo espermatogénico que permite un reclutamiento más rápido que otros ofidios de similar tamaño, pero con espermatogénesis estival (Feriche et al. 2008), en sinergia con su generalismo ecológico (Segura et al. 2007).

Parámetros demográficos y de las comunidades

Otros resultados empíricos nos indican que las anteriores predicciones de desplazamientos de las áreas de distribución, pueden ser poco creíbles. En una zona muy próxima geográficamente a la península ibérica, y en una especie presente en ella, *Zootoca vivipara*, se ha observado en una población montana respuestas muy positivas y en un breve periodo de tiempo (18 años) en parámetros biológicos y demográficos (incrementos en tamaño corporal, productividad en la reproducción, supervivencia) asociados a un fuerte incremento de la temperatura ambiental (2,2° C; Chamailé-Jammes et al. 2006).

Pero en especies con determinación del sexo por la temperatura de incubación, la razón de sexo de los recién nacidos podría verse alterada por el calentamiento global (incluso con un incremento < 2°C) por ausencia en el ambiente de temperatura pivotal (a la que se produce una razón de sexos equilibrada) y de adaptación rápida por parte de las hembras. Esto podría tener graves consecuencias en la dinámica poblacional de estas especies (Janzen 1994). En la España continental hay cinco familias de reptiles que incluyen seis especies autóctonas con determinación del sexo según la temperatura, Testudinidos, Geoemídidos, Emídidos (quelonios), Gecónidos (salamanquesas) y Escíncidos (eslizones). Las tres especies de quelonios muestran un estrecho rango altitudinal (Pleguezuelos & Villafranca 1997), de lo que se deduce que tienen una estrecha valencia ecológica y térmica (Brown 1984), encontrándose por tanto entre las especies más vulnerables al cambio climático (Sinervo et al. 2010). Una sinergia de efectos negativos para las dos especies de quelonios acuáticos (*Mauremys leprosa*, *Emys orbicularis*) puede también proceder del aumento de estrés en las cuencas hídricas del sur de la península ibérica, pronosticado bajo todos los modelos de circulación atmosférica y escenarios de

■ Figura 3



▲ Figura 3. La culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*), típica especie generalista y mediterránea, cuyos machos muestran espermatogénesis primaveral, podría estar viéndose favorecida en la península ibérica por el actual calentamiento climático. Ejemplar de Los Pedroches, Córdoba, junio 2006.

Fuente: Juan M. Pleguezuelos.

crecimiento económico testados (Schröter et al. 2005). Otra sinergia de efectos negativos aparece para las dos especies de eslizones; son vivíparas, y en otros saurios se ha observado que el riesgo de extinción en especies vivíparas es el doble que en ovíparas (Sinervo et al. 2010). Aunque hay evidencias del efecto negativo del calentamiento climático sobre los reptiles con este tipo de determinación del sexo (i.e., Hulin et al. 2009), no hay datos experimentales u observacionales sobre las poblaciones españolas.

Por último, el aumento de la temperatura y la reducción de la precipitación pronosticada para la península ibérica durante el verano, probablemente producirá un aumento en la frecuencia de los fuegos (Schröter et al. 2005), lo cual puede afectar a los reptiles, de manera diferente según su afinidad biogeográfica. En la próxima zona mediterránea francesa, episodios repetidos de fuegos modificaron el paisaje, desde un bosque homogéneo a un mosaico de matorral y bosque. Paralelamente, se observó una pérdida en la beta diversidad de reptiles y un cambio en las especies dominantes. También se observó una respuesta funcional de la comunidad de reptiles a los fuegos repetidos, con un incremento de las especies insectívoras, que habitan espacios abiertos y tienen un ciclo de vida breve, y una pérdida de aquellas especies incapaces de vivir en esas zonas abiertas, quemadas (Santos & Cheylan, 2013, ver también Huey et al. 2012).

■ Recomendaciones para la adaptación

- Los reptiles pueden responder al cambio climático mediante mecanismos que no admiten manejo, como la plasticidad fisiológica o la adaptación, y mediante factores que pueden ser manejados, como el cambio en la distribución hacia ambientes térmicos adecuados, algo que ya está ocurriendo en especies ibéricas. Proponemos que se actúe contra la fragmentación de hábitats, creando además corredores ecológicos en el paisaje actual, medidas que deben ayudar en la respuesta de los reptiles frente al cambio climático mediante la migración. Las áreas protegidas pero aisladas no son suficientes para que los reptiles afronten el cambio climático. Así, una adecuada implementación de la Red Natura 2000, donde se favorezcan los corredores, podría ayudar a los reptiles ibéricos en sus desplazamientos, para ajustarse a los nuevos escenarios térmicos.
- Es necesaria la monitorización de las poblaciones de especies de reptiles ibéricos montanos, debido a las graves consecuencias de pérdida de biodiversidad que el efecto del calentamiento climático podría tener en esta fauna montana y mayormente endémica. Las montañas se podrían convertir en callejones sin salida para algunas de estas especies, ya que al ascender altitudinalmente, el área de posible ocupación va disminuyendo.
- También resulta necesaria la monitorización de las comunidades de reptiles en las zonas de contacto entre la región Mediterránea y la Eurosiberiana en la península ibérica, pues es probable que esta zona manifieste de manera más detectable los cambios en las áreas de distribución de las especies en respuesta al cambio climático.
- Por último, una aproximación a la respuesta de los reptiles españoles al cambio climático mediante la observación y análisis de lo que ya está ocurriendo en algunas especies a nivel de respuesta poblacional, fisiológica y comportamental. Resultaría de gran valor a la hora de diseñar posibles medidas de gestión que mitiguen los efectos del cambio climático en los reptiles ibéricos.

■ Referencias bibliográficas

- Aragón P, Lobo JM, Olalla-Tárraga MÁ, Rodríguez MÁ (2010a) The contribution of contemporary climate to ectothermic and endothermic vertebrate distributions in a glacial refuge. *Global Ecology and Biogeography* 19:40-49
- Aragón P, Rodríguez MA, Olalla-Tárraga MA, Lobo JM (2010b) Predicted impact of climate change on threatened terrestrial vertebrates in central Spain highlights differences between endotherms and ectotherms. *Animal Conservation* 13:363-373
- Araújo M B, & Luoto M. (2007) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 16:743-753
- Araújo MB, Thuiller W, Pearson RG (2006) Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* 33:1712-1728
- Arribas OJ (2002a) *Lacerta aranica* Arribas, 1993. En: Pleguezuelos JM, Márquez R, Lizana M, editores. *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. DGCN, AHE, Madrid. pp. 215-217
- Arribas OJ (2002b) *Lacerta aurelioi*. En: Pleguezuelos JM, Márquez R, Lizana M, editores. *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. DGCN-A.H.E., Madrid. pp. 218-219
- Arribas OJ (2002c) *Lacerta bonnali* Lantz, 1927. Lagartija pirenaica. En: Pleguezuelos JM, Márquez R, Lizana M, editores. *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. DGCN -AHE, Madrid. pp. 223-224
- Arribas OJ (2006) Lagartija batueca – *Iberolacerta martinezricai*. En: Carrascal LM, Salvador A, editores. *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. Disponible en: <http://www.vertebradosibericos.org/> Último acceso 24 de Julio de 2014
- Arribas OJ, Carranza S. (2007) Lagartija leonesa – *Iberolacerta galani*. En: Carrascal LM, Salvador A. editores. *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. Disponible en: <http://www.vertebradosibericos.org/> Último acceso 24 de Julio de 2014
- Bauwens D, Hordiees F, Van Damme R, Van Hecke A (1986) Notes on distribution and expansion of the range of the lizard *Psammodromus algirus* in Northern Spain. *Amphibia-Reptilia* 7:389-392
- Beaumont LJ, Hughes L, Pitman AJ (2008) Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important? *Ecology Letters* 11:1135-1146
- Benito B, Lorite J, Peñas J, (2011) Simulating potential effects of climatic warming on altitudinal patterns of key species in Mediterranean-alpine ecosystems. *Climatic Change* 108:71-483
- Böhm M, Collen B, Baillie JEM, Bowles P, Chanson J, Cox N, Hammerson G, Hoffmann M, Livingstone SR, Ram M, Rhodin AGJ, Stuart SN, van Dijk PP, Young B, Aftuang LE, Aghasyan A, Aguayo AG, Aguilar C, Ajtic R, Akarsu F, Alencar LRV, Allison A, Ananjeva N, Anderson S, Andren C, et al. (2013) The conservation status of the world's reptiles. *Biological Conservation* 157:372-385
- Bradshaw WE, Holzapfel CM (2006) Evolutionary response to rapid climate change. *Science* 312:1477-1478
- Brown JH (1984) On the relationship between abundance and distribution of species. *American Naturalist* 1984:255-279
- Buckley LB, Tewksbury JJ, Deutsch CA (2013) Can terrestrial ectotherms escape the heat of climate change by moving? *Proceedings of the Royal Society B* 280:000-000, DOI: 10.1098/rspb.2013.1149
- Caro J, Fernández-Cardenete JR, Moreno-Rueda G, Pleguezuelos JM (2012) Estatus de *Coronella austriaca* en Sierra Nevada (SE península ibérica). *Boletín de la Asociación Herpetológica Española* 23:94-102
- Carretero MA, Ceacero F, García-Muñoz E, Sillero N, Olmedo MI, Hernández-Sastre PL, Rubio JL (2010) *Seguimiento de Algyroides marchi Informe final*. Monografías SARE. Asociación Herpetológica Española - Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Madrid. pp 51
- Carvalho SB, Brito JC, Crespo EJ, Possingham HP (2010). From climate change predictions to actions—conserving vulnerable animal groups in hotspots at a regional scale. *Global Change Biology* 16:3257-3270
- Carvalho SB, Brito JC, Crespo EG, Watts ME, Possingham HP (2011) Conservation planning under climate change: Toward accounting for uncertainty in predicted species distributions to increase confidence in conservation investments in space and time. *Biological Conservation* 144:2020-2030
- Chamaillé-Jammes S, Massot M, Aragon P, Clobert J (2006) Global warming and positive fitness response in mountain populations of common lizards *Lacerta vivipara*. *Global Change Biology* 12:392-402
- Chen I C, Hill J K, Ohlemüller R, Roy D B, Thomas C D (2011) Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333:1024-1026
- Cox N, Chanson J, Stuart SN (2006) *The status and distribution of reptiles and amphibians of the Mediterranean Basin*. IUCN, Ginebra. pp 43
- Díaz JA, Iraeta P, Monasterio C (2006) Seasonality provokes a shift of thermal preferences in a temperate lizard but altitude does not. *Journal of Thermal Biology* 31:237-242

- EEA (European Environmental Agency) (2004) *Impacts of Europe's changing climate - An indicator-based assessment*. European Environmental Agency Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. pp 107
- Ferliche M, Pleguezuelos JM, Santos X (2008) Reproductive ecology of the Montpellier snake *Malpolon monspessulanus* (Colubridae) and comparison with other sympatric colubrids in the Iberian Peninsula. *Copeia* 2008:279-285
- Gibbons JW, Semlitsch RD (1987) Activity patterns. En: Seigel RA, Collins JT, Novak SS, editores. *Snakes ecology and evolutionary biology*. MacMillan New York. pp 396-421
- Gibbons JW, Scott DE, Ryan TJ, Buhlmann TD, Metts BS, Greene JL, Mills T, Leiden Y, Poppy S, Winne CT (2000) The global decline of reptiles déjà vu amphibians. *BioScience* 50:653-666
- Harte J A, Ostling J L, Green A, Kinzig (2004) Climate change and extinction risk. *Nature* 430:33
- Hickling R D, Roy B, Hill J K, Fox R, Thomas C D (2006) The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12:450-455
- Huey R B, Kearney M R, Krockenberger A, Holtum J A, Jess M, & Williams S E (2012). Predicting organismal vulnerability to climate warming: roles of behaviour, physiology and adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367(1596):665-1679
- Hulin V, Delmas V, Girondot M, Godfrey M H, Guillon J M (2009) Temperature-dependent sex determination and global change: are some species at greater risk? *Oecologia* 160:493-506
- IPCC (2007) *Climate change 2007: the scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom
- Janzen FJ (1994) Climate change and temperature-dependent sex determination in reptiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 91:7487-7490
- Kearney M, Shine R, Porter WP (2009) The potential for behavioral thermoregulation to buffer "cold-blooded" animals against climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:3835-3840
- Massot M, Clobert J, Ferrière R (2008) Climate warming dispersal inhibition and extinction risk. *Global Change Biology* 14:461-469
- Martín J (2005) Lagartija carpetana - *Iberolacerta cyreni* En: Carrascal L M, Salvador A, editores. *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid
- Menéndez R, González-Megías A, Hill J K, Braschler B, Willis S G, Collingham Y, Fox R, Roy D B, Thomas C D (2006) Species richness changes lag behind climate change. *Proceedings of the Royal Society B* 273:465-1470
- Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Kubler K, Bissolli P, Braslavská O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl A, Defila C, Donnelly A, Filella Y, Jatca K, Mage F, Mestre A, Nordli O, Penuelas J, Pirinen P, Remisova V, Scheifinger H, et al. (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12:1969-1976
- Moreno-Rueda G, Pleguezuelos JM (2007) Long-term and short-term effects of temperature on snake detectability in the wild: a case study with *Malpolon monspessulanus*. *Herpetological Journal* 17:204-207
- Moreno-Rueda G, Pleguezuelos J M, Alaminos E (2009) Climate warming and activity period extension in the Mediterranean snake *Malpolon monspessulanus*. *Climatic Change* 92:235-242
- Moreno-Rueda G, Pleguezuelos JM, Pizarro M, Montori A (2012) Northward shifts of the distributions of Spanish reptiles in association with climate change. *Conservation Biology* 26:278-283
- Nogués-Bravo D, Araújo M. B, Lasanta T & Moreno J I L (2008) Climate change in Mediterranean mountains during the 21st century. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37:280-285
- Parmesan C (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 37:637-669
- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37-42
- Pleguezuelos JM, Villafranca C (1997) La distribución altitudinal de los anfibios y reptiles ibéricos. En: JM Pláguéselos, editor. *Distribución y Biogeografía de los anfibios y reptiles de España y Portugal*. Monografías de la Revista Española de Herpetología 3: 321-341
- Przybylo R, Sheldon BC, Merilä J (2000) Climatic effects on breeding and morphology: evidence for phenotypic plasticity. *Journal of Animal Ecology* 69:395-403
- Raxworthy CJ, Pearson RG, Rabibisoa N, Rakotondrazafy AM, Ramanamanjato JB, Raselimanana AP, Wu S, Nussbaum RA, Stone DA (2008) Extinction vulnerability of tropical montane endemism from warming and upslope displacement: a preliminary appraisal for the highest massif in Madagascar. *Global Change Biology* 14:1703-1720
- Real R, Luz Marquez A, Olivero J & Estrada A (2010) Species distribution models in climate change scenarios are still not useful for informing policy planning: an uncertainty assessment using fuzzy logic. *Ecography* 33:304-314

- Reguera S, Zamora-Camacho FJ y Moreno-Rueda G (en prensa) The lizard *Psammotromus algirus* (Squamata: Lacertidae) is darker at high altitudes. *Biological Journal of the Linnean Society*
- Saint Girons H (1982) Reproductive cycles of male snakes and their relationships with climate and female reproductive cycles. *Herpetologica* 38:5-16
- Santos X, & Cheylan M (2013) Taxonomic and functional response of a Mediterranean reptile assemblage to a repeated fire regime. *Biological Conservation* 168:90-98.
- Santos X, Brito JC, Pleguezuelos JM, Llorente GA (2007) Comparing Filippi and Luiselli's (2000) method with a cartographic approach to assess the conservation status of secretive species: the case of the Iberian snake-fauna. *Amphibia-Reptilia* 28:17-23
- Santos X, Roca J, Pleguezuelos JM, Donaire D, Carranza S (2008) Biogeography and evolution of the Smooth snake *Coronella austriaca* (Serpentes: Colubridae) in the Iberian Peninsula: evidence for Messinian refuges and Pleistocenic range expansions. *Amphibia-Reptilia* 29:35-47
- Santos X, Brito JC, Caro J, Abril AJ, Lorenzo M, Sillero N, Pleguezuelos JM (2009) Habitat suitability threats and conservation of isolated populations of the smooth snake (*Coronella austriaca*) in the southern Iberian Peninsula. *Biological Conservation* 142: 344-352
- Schröter D, Cramer W, Leemans R, Prentice IC, Araújo MB, Arnell NW, Bondeau A, Bugmann H, Carter TR, Gracia CA, de la Vega-Leinert AC, Erhard M, Ewert F, Glendining M, House JI, Kankaanpää S, Klein RJT, Lavorel S, Lindner M, Metzger M J, Meyer J, Mitchell TD, Reginster I, Rounsevell M, Sabate S, Sitch S, Smith B, Smith J, Smith P, Sykes MT, Thonicke K, Thuiller W, Tuck G, Zaehle S & Zierl B (2005) Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310:1333-1337
- Segura C, Feriche M, Pleguezuelos JM, Santos X (2007) Specialist and generalist species for habitat use: implications for conservation assessment in snakes. *Journal of Natural History* 41:2765-2774
- Sinervo B, Méndez-de-la-Cruz F, Miles DB, Heulin B, Bastiaans E, Villagrán-Santa Cruz M, Lara-Resendiz R, Martínez-Méndez N, Calderón-Espinoza ML, Meza-Lázaro RB, Gadsden H, Ávila LJ, Morando M, De la Riva IJ, Sepúlveda PV, Duarte CF, Ibargüengoytia N, C Puntriano CA, Massot M, Lepetz V, Oksanen TA, Chapple DG, Bauer AM, Branch WR, et al. (2010) Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* 328:894-899
- Trakhtenbrot A, Nathan A, Perry G, Richardson DM (2005) The importance of long-distance dispersal in biodiversity conservation. *Diversity and Distributions* 11:173-181
- Vences M, Galán P, Vieites DR, Puente M, Oetter K, Wanke S (2002) Field body temperatures and heating rates in a montane frog population: the importance of black dorsal pattern for thermoregulation. *Annales Zoologici Fennici* 39:209-220
- Wake DB (2007) Climate change implicated in amphibian and lizard declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:8201-8202
- Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J, Fromentin J-M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416:389-395
- Wilson RJ, Gutiérrez D, Gutiérrez J, Martínez D, Agudo R, Montserrat VJ 2005 Changes to the elevational limits and extents of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters* 8:1138-1146
- Zamora-Camacho FJ, G Moreno-Rueda, JM Pleguezuelos (2010) Long-term and short-term impact of temperature on snake detection in the wild: further evidence from the snake *Hemorrhhois hippocrepsis*. *Acta Herpetologica* 5:143-150
- Zamora-Camacho F J, Reguera S, Moreno-Rueda G, Pleguezuelos JM (2013) Patterns of seasonal activity in a Mediterranean lizard along a two thousand and two hundred meters altitudinal gradient. *Journal of Thermal Biology* 38:64-69