



O. Gordo

Departamento de Biología de la Conservación, Estación Biológica de Doñana, C/Américo Vespucio s/n, 41092, Sevilla
 Correo electrónico: ogviloslada@gmail.com

9

Impactos del cambio climático en la migración de las aves ibéricas

Resultados clave

- La llegada primaveral de las aves migratorias se ha adelantado en torno a una semana desde mediados de los años 70, si bien las fechas actuales son similares a las que ya se registraban en los años 40.
- La migración primaveral está fuertemente controlada por la climatología, de manera que los años calurosos en España favorecen una llegada más temprana y la sequía en África durante el invierno la retrasa.
- La fecha en que las aves abandonan nuestro país en otoño ha fluctuado a lo largo de las últimas seis décadas, habiendo una cierta tendencia a irse antes en los últimos años.
- Las aves migratorias abandonan nuestro país antes los años con mayores temperaturas durante su periodo de reproducción, aunque el efecto del clima en la migración otoñal es débil.

Contexto

El cambio climático supone uno de los mayores retos medioambientales a los que se enfrentan flora y fauna debido a la velocidad y magnitud con que se está produciendo a escala planetaria. Existen incontables e irrefutables pruebas de que los seres vivos ya han respondido a las ligeras variaciones mostradas por el clima a lo largo del siglo XX (Parmesan 2006, Gordo 2009). En este sentido, las aves son el grupo animal sobre el que disponemos de un mayor número de evidencias científicas sobre el impacto del cambio climático. Esto no se debe a que sea un grupo especialmente sensible al clima, sino simplemente al gran interés que han suscitado

tradicionalmente tanto en el ámbito académico como naturalista. Esto nos permite disponer de gran cantidad de información sobre su biología a una escala espacial y temporal que raramente se da en otros grupos. Este tipo de información recopilada a escala mundial, principalmente a lo largo del último siglo, ha sido, y sigue siendo, la base fundamental para poder llevar a cabo estudios que nos ayuden a entender los efectos del cambio climático sobre las aves y cómo están respondiendo a él.

La cuenca mediterránea, pese a su pequeña extensión, destaca por ser uno de los lugares del planeta con mayor diversidad (Myers et al. 2000). Su enorme heterogeneidad de ambientes (desde zonas litorales a alpinas), su compleja historia geológica, y el hecho de ser la encrucijada de tres continentes son las principales causas para esta extraordinaria riqueza (Blondel & Aronson 1999, Hewitt 2011). Las aves no son una excepción, ya que las latitudes mediterráneas además de albergar importantes poblaciones residentes, en muchos casos de especies endémicas, también dan cobijo en ciertas épocas del año a cientos de millones de individuos que buscan aquí las condiciones más adecuadas para su supervivencia. En el caso particular de las aves migratorias, el Mediterráneo es zona de paso obligado en los tránsitos anuales entre las zonas euroasiáticas de cría y las zonas tropicales de invernada en África. Así, durante la primavera los individuos llegan a criar desde el sur, mientras que en otoño vienen desde el norte para evitar los rigores invernales propios de latitudes septentrionales. En este sistema migratorio, la península ibérica juega un papel clave dada su estratégica ubicación geográfica, canalizando el viaje de todas las poblaciones europeas occidentales hacia y desde África a través del estrecho de Gibraltar (Newton 2008).

El medio ambiente experimenta cambios profundos a lo largo del año, cambios que marcan la

sucesión de las estaciones de manera más realista que la fecha del calendario. Esto ya se sabe desde antiguo y es por eso que la fenología, la ciencia que se encarga del estudio de los eventos naturales recurrentes, fue una de las primeras disciplinas en desarrollarse dentro del ámbito de las ciencias de la vida. Desde principios del siglo XX la comunidad científica pierde interés por esta disciplina hasta que en la década de los 90 el estudio de registros fenológicos históricos ofrecen las primeras pruebas de que los seres vivos están respondiendo al cambio climático (p. ej., Beebe 1995, Sparks & Yates 1997, Sokolov et al. 1998, Menzel & Fabian 1999). Desde entonces no son pocos los estudios que han aportado más y más resultados que lo han confirmado, convirtiendo las alteraciones fenológicas de los seres vivos en uno de los efectos más evidentes y mejor conocidos del impacto del cambio climático (Menzel et al. 2006, Rosenzweig et al. 2008, Gordo 2009).

De manera general, se puede afirmar que en las zonas templadas y boreales del hemisferio norte la primavera se está adelantando, mientras que el otoño se está retrasando. En el caso de las aves migratorias, se ha visto que, por lo general, vuelven antes a sus áreas de cría, pero, en cambio, no existe un patrón claro de cambio para la migración otoñal (Lehikoinen et al. 2004). En Europa se ha estimado un adelanto del orden de 2,8 días por década en las fechas de llegada primaveral desde los años 70 (Lehikoinen & Sparks 2010). Aunque conocemos bien lo que está pasando, no comprendemos cómo está ocurriendo. Los mecanismos biológicos subyacentes a los cambios observados en el comportamiento migratorio de las aves están en gran medida aún por resolver (Knudsen et al. 2011). La llegada más precoz en primavera podría ser una simple consecuencia de una meteorología más benigna y una mayor abundancia de alimento en fechas muy tempranas, lo que favorecería una progresión migratoria más rápida a través de Europa y Norte América. Estaríamos hablando, por tanto, de un mecanismo adaptativo mediante plasticidad fenotípica. La alternativa es que los cambios observados en el comportamiento migratorio sean fruto de verdaderos procesos (micro) evolutivos, en los que las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático estarían favoreciendo la selección de aquellos individuos (genotipos) más precoces. Que los cambios observados en la migración se estén consiguiendo por una u otra vía no es una cuestión trivial, ya que afecta a nuestra capacidad para hacer predicciones certeras acerca del futuro de las poblaciones de aves migratorias. Hasta el momento las alteraciones del clima han sido leves, pero las predicciones auguran cambios dramáticos en las próximas décadas (Solomon et al. 2007). Que las aves vayan a poderse adaptar o no a las nuevas condiciones dependerá en gran medida de los mecanismos biológicos implicados en su adaptación. La plasticidad fenotípica permite una adaptación inmediata a un cambio en las condiciones ambientales, pero sin embargo, hay un límite en la expresión de los caracteres biológicos. Existen pruebas de que las aves pueden adaptar el calendario de su migración en función de las condiciones ambientales que encuentran a lo largo de sus viajes, o sea, que la fenología migratoria tiene plasticidad (Gordo et al. 2005, Gordo 2007b, Gordo & Sanz 2008). Sin embargo, ignoramos por completo cuantos días podría llegar a modificarse como máximo el calendario migratorio por esta vía, o sea, no sabemos hasta cuando se podrá mantener esa tasa de adelanto, mencionada anteriormente, de 2,8 días por década.

Los procesos evolutivos, por el contrario, son más lentos, ya que requieren de diversas generaciones para que la selección natural pueda modificar la composición genética de la población. Sin embargo, son la única vía por la que los caracteres, como podría ser el calendario migratorio, cambien más allá de lo que la plasticidad permite y además lo hagan de manera permanente. También existen indicios de que esto ya podría estar ocurriendo (Jonzén et al. 2006, Pulido & Berthold 2010). El hecho de que existan pruebas a favor de ambos procesos seguramente demuestra que ambos están teniendo lugar en la actualidad. La enorme heterogeneidad de estrategias vitales que encontramos entre las aves migratorias seguramente haga imposible proponer una hipótesis general, siendo necesario el estudio de cada caso particular.

■ Resultados y discusión

Las fechas en que llegan y se van las aves migratorias en la península ibérica han variado a lo largo del último siglo, siendo dichas variaciones atribuibles, en gran medida, al clima. Los primeros estudios llevados a cabo con registros históricos en dos localidades catalanas, Tortosa (Gordo & Sanz 2005) y Cardedeu (Gordo et al. 2005), mostraron resultados diferentes. En Tortosa existen registros sobre la llegada de la golondrina (*Hirundo rustica*) a esta localidad desde 1908, lo que da lugar a la serie fenológica más larga conocida para la península (Fig. 1). Esta perspectiva secular incomparable nos muestra que hubo un retraso en las llegadas desde los años 20 hasta mediados de los 70, momento desde el cual se observa una tendencia al adelanto. Ese adelanto de unos 15 días hace que ahora las fechas de llegada sean similares a las que se observaron a principio de siglo. Patrones muy similares se dan para otras especies, como el vencejo (*Apus apus*) o la abubilla (*Upupa epops*), también registradas en la misma localidad (Gordo & Sanz 2005).

Los registros de primera llegada efectuados en Cardedeu demostraron que cinco especies de aves están llegando cada vez más tarde (Gordo et al. 2005). Esto no solo difiere con los registros de Tortosa, sino que parece contrario a la tendencia generalizada al adelanto, que se había observado hasta la fecha en otros países europeos (Lehikoinen et al. 2004, Lehikoinen & Sparks 2010). Esto nos llevó a proponer la hipótesis de que las poblaciones del ámbito mediterráneo podrían estar respondiendo de manera diferente de las del resto del continente. La península ibérica es tan solo la mitad del viaje para muchos individuos que van a reproducirse a latitudes boreales y, por tanto, es imposible saber si los adelantos observados en aquellas poblaciones norteafricanas son debidos a un adelanto en la fecha de partida del África tropical, a una migración más rápida a través del continente africano hasta alcanzar el Mediterráneo, o a unas condiciones cada vez más favorables para cruzar Europa al inicio de la primavera. Los registros fenológicos en la península resultan clave en este sentido, ya que para las poblaciones españolas esos cambios fenológicos sólo se pueden alcanzar mediante alguna de las dos primeras posibilidades planteadas, es decir, por aquello que suceda en África. Al relacionar las fechas de llegada a Cardedeu con el clima en África durante el invierno hayamos que ese retraso estaba promovido, en parte, por los cambios climáticos experimentados especialmente en el Sahel y la zona del golfo de Guinea (Gordo et al. 2005). Ambas zonas constituyen los principales cuarteles de invernada

Figura 1.

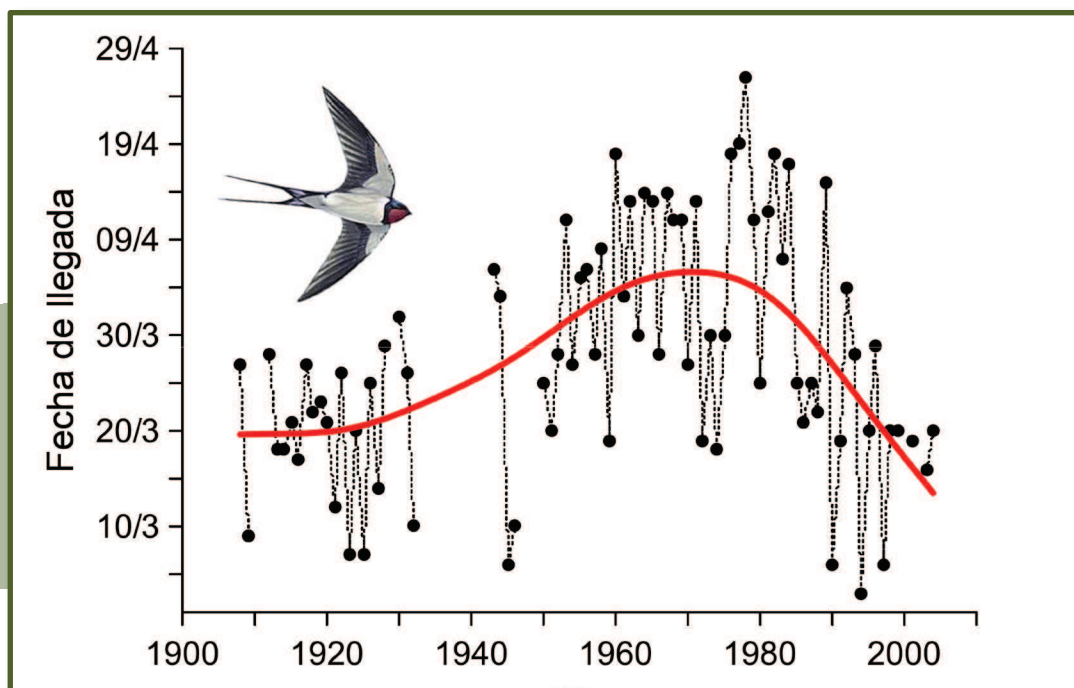


Figura 1. Evolución temporal de la fecha de llegada de la golondrina a Tortosa entre 1908 y 2004. La línea roja representa una tendencia suavizada.

Fuente: Elaborado a partir de Gordo & Sanz (2005).

para las poblaciones ibéricas. En concreto, se observó que, en estas zonas, años secos y con temperaturas cálidas iban seguidos de una llegada más tardía en las poblaciones estudiadas. Esto concuerda bien con el funcionamiento de esos ecosistemas áridos que ocupan las aves transaharianas ibéricas durante el invierno. La mayor o menor cantidad de precipitaciones durante la estación húmeda determina la duración y rigor de la estación seca, que básicamente coincide en el calendario con el invierno de la península ibérica. Años secos y calurosos limitan la producción primaria y expanden el límite sur del desierto (Nicholson et al. 1990). Esto repercute en la disponibilidad de hábitat y alimento para las aves migratorias, fundamentalmente insectívoras, lo que se traduce en mayor mortalidad y peor estado físico para afrontar la migración (Zwarts et al. 2009). Precisamente esas zonas africanas visitadas por las poblaciones ibéricas para invernar han padecido graves episodios de sequías a lo largo de la segunda mitad del siglo XX (Hulme et al. 2001, Zeng 2003), lo que explicaría el porqué de ese retraso observado en las llegadas a Cardedeu.

El estudio de los registros históricos de Cardedeu fue pionero (Peñuelas et al. 2002), pero no debemos olvidar que se trata de registros efectuados en una única localidad y que, por tanto, podría no ser representativa de lo que acontece en otras poblaciones. Lo mismo es aplicable al caso de Tortosa, pese a que en esta localidad los cambios observados sí estén en sintonía con la tendencia general observada en Europa (Gordo 2009). Estudios recientes en aves demuestran que sus respuestas fenológicas pueden variar muy notablemente incluso entre poblaciones de una misma especie, siendo atribuibles dichas diferencias a la variabilidad geográfica en la magnitud del cambio climático experimentado, las diferentes tendencias poblacionales a escala local, y al lugar particular en el que invernan (Gordo & Doi 2012a,

b). En Europa también se han realizado observaciones similares, siendo las poblaciones de Europa central las que más adelantan su llegada, mientras que las del sur y norte no lo hacen tanto (Rubolini et al. 2007). Esta heterogeneidad entre poblaciones obliga a hacer estudios a gran escala sobre cientos de poblaciones diferentes para poder hacer estimas certeras a escala de un país o continente (Lehikoinen & Sparks 2010).

Los resultados derivados del análisis de los registros fenológicos para cinco especies de aves migratorias llevados a cabo por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) permiten afirmar que las aves migratorias están adelantando sus llegadas a España, aunque, de manera similar a lo observado en Tortosa, dicho adelanto sólo se está produciendo desde mediados de los años 70 y más bien parece encaminado a reestablecer el calendario que ya se observaba en los años 40 (Gordo & Sanz 2006). La única excepción a esta regla la marca la cigüeña, especie en la que, desde los años 80, sí se ha observado un adelanto de un mes en su llegada (Fig. 2). Este cambio tan brusco en su fenología se debe a un cambio radical en su comportamiento migratorio en las últimas décadas. Desde mediados de los años 80 se viene detectando un número cada vez mayor de cigüeñas que pasan todo el invierno en España porque ya no migran a África (Máñez et al. 1994). El hecho de permanecer todo el año cerca del área de cría, favorece una ocupación muy temprana (ya en diciembre) de los lugares de nidificación. Las causas para esta sedentarización hay que buscarlas en los cambios que se han sucedido en paralelo, aquí y en el África sub-sahariana, a lo largo de las últimas décadas. Como hemos comentado antes, la zona del Sahel ha padecido graves sequías que han provocado una severa mortalidad en las poblaciones europeas de cigüeñas (Kanyamibwa et al. 1993, Zwarts et al. 2009). Mientras tanto, aquí, en la península ibérica, han proliferado

Figura 2.

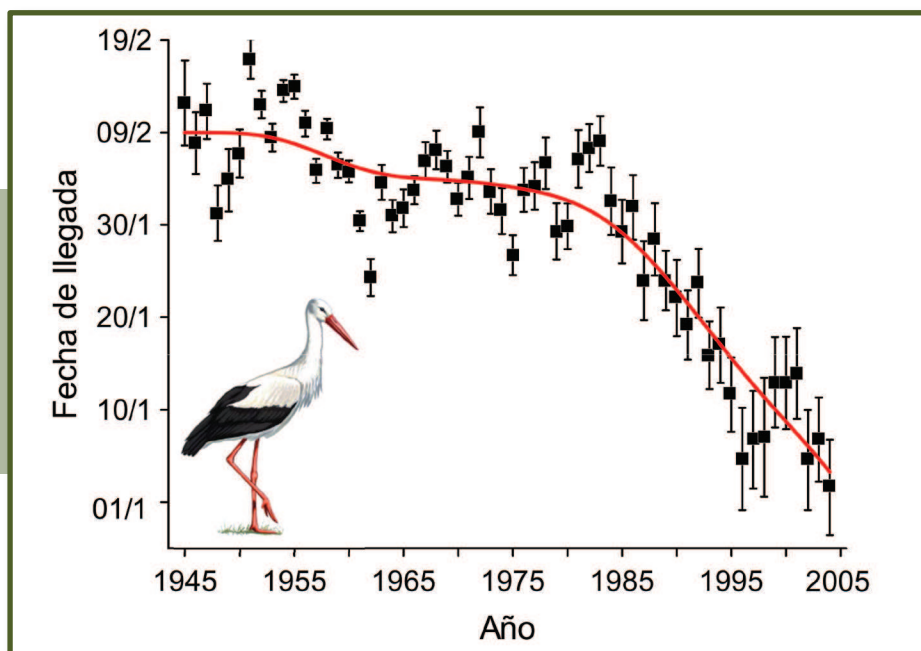


Figura 2. Evolución temporal de la fecha de llegada de la cigüeña a España entre 1945 y 2004. Cada punto es el promedio anual a nivel estatal. Las barras marcan el error estándar. La línea roja representa una tendencia suavizada.

Fuente: Elaborado a partir de Gordo & Sanz (2006).

vertederos al aire libre que se han convertido en una fuente continua e inagotable de alimento que permite a las cigüeñas sobrevivir a la escasez de recursos tróficos propia del invierno. Las ventajas de quedarse respecto a los costes de migrar son obvias y han favorecido que se haya seleccionado rápidamente el nuevo comportamiento migratorio.

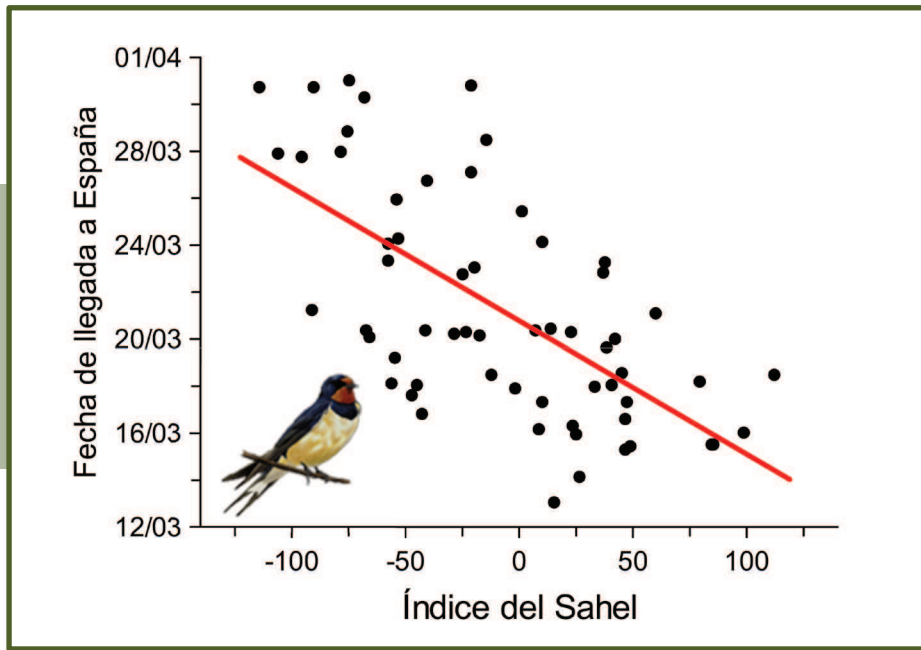
Respecto a las otras cuatro especies estudiadas por la red fenológica española [golondrina, vencejo, cuco (*Cuculus canorus*) y ruiseñor (*Luscinia megarhynchos*)], la variabilidad interanual en sus fechas de llegada y, por tanto, en sus tendencias temporales, viene dada por el clima, al cual se le puede atribuir entre un 30 y 50% de la variabilidad observada en las fechas de llegada. Tanto el clima en España durante la primavera como el clima en África durante el invierno, son responsables de estas diferencias entre años. Un grado más de temperatura en marzo y abril hace que los primeros ejemplares se detecten entre 1,5 y 2 días antes. Este efecto se debe, claramente, a la influencia de las condiciones meteorológicas en los últimos días de la migración, en ese periodo que necesitan los individuos para cubrir la distancia entre Gibraltar y sus territorios de cría ibéricos. Cuando la primavera es más cálida, pueden progresar a mayor velocidad hacia el norte. Por otro lado, y como ya habíamos visto, las lluvias en la zona del Sahel son un factor igualmente importante que afecta a todas las especies, provocando, después de años lluviosos, el adelanto de las llegadas (Gordo & Sanz 2006). Por ejemplo, en la golondrina, hay un adelanto de una semana por cada 100 litros más de lluvia registrados en promedio en invierno en el Sahel (Fig. 3). El efecto de la lluvia, en realidad, se produce a través de las condiciones ecológicas. Esto se pudo demostrar al relacionar las llegadas de las aves a España con índices de productividad vegetal medidos en África mediante satélites. Se encontró que los años más productivos (lluviosos) fueron los años en que las especies volvieron más pronto (Gordo & Sanz 2008).

La emigración otoñal mostró tendencias a largo plazo muy parecidas entre cigüeñas, golondrinas y vencejos durante el periodo 1944-2004 (Fig. 4; Gordo & Sanz 2006). Las tres especies tendieron a irse más pronto entre 1945 y 1965. Desde mediados de los 60 hasta mediados de los 80, retrasaron su partida. Desde mediados de los 80, dichas especies volvieron a adelantar el día en que se las observó por última vez. Sólo en el caso de la golondrina se puede hablar de un adelanto neto en las fechas de emigración para todo el periodo de estudio de 60 años, siendo éste aproximadamente de una semana.

En todas las especies se detectaron efectos estadísticamente significativos del clima sobre las fechas de abandono de nuestro país (Gordo & Sanz 2006), siendo especialmente fuertes los efectos de la temperatura durante la época de reproducción. La emigración se adelantó entre 0,6 y 1,8 días por cada grado más registrado en el periodo reproductor. Parece, por tanto, que existe un cierto efecto dominó dentro del ciclo vital de las aves. Si la reproducción es más precoz, como sucede en primaveras cálidas (Crick & Sparks 1999, Potti 2009), eso podría permitir a los individuos prepararse fisiológicamente e iniciar su vuelta a África en fechas más tempranas (Gordo 2007b). Por el contrario, las condiciones meteorológicas en otoño sólo tuvieron efecto estadísticamente significativo en la golondrina. Esta especie, en los años con otoños calurosos, abandonó la península más tarde. No obstante, el clima sólo estuvo relacionado con entre un 7 y 15% de la variabilidad interanual observada en las fechas de emigración en España (Gordo & Sanz 2006), lo cual deja aún un margen amplio para considerar que hay otros factores ambientales que aún desconocemos y afectan a la fenología migratoria de otoño.

Finalmente, merecen una breve mención los únicos datos disponibles sobre la fenología migratoria de dos especies, el zorzal (*Turdus philomelos*) y el estornino

■ Figura 3.



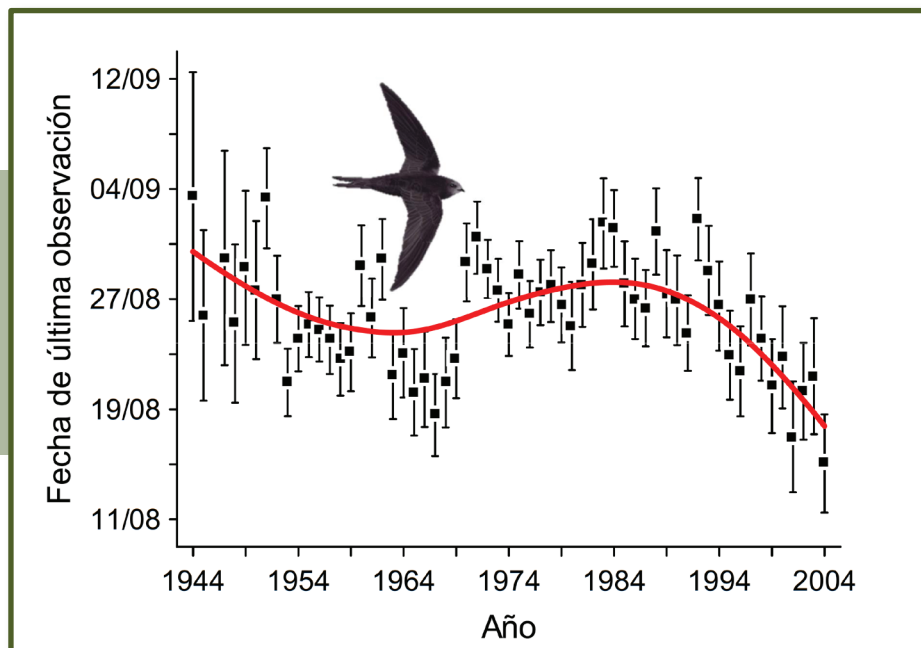
▲ Figura 3. Efecto de las lluvias en la zona de invernada sobre la fecha de llegada de la golondrina a España. Las lluvias en África se cuantificaron a través del índice del Sahel, índice que indica cómo se desvía la pluviosidad cada año respecto a la media durante el siglo XX en esa región. Los valores negativos informan de años de sequía. Cada punto representa la fecha de llegada promedio anual para España entre 1945 y 2004. La línea roja muestra la recta de regresión ajustada ($r = -0.643$, $p < 0.001$).

Fuente: Elaborado a partir de Gordo (2006).

pinto (*Sturnus vulgaris*), cuyos contingentes centro y norte europeos vienen a la cuenca mediterránea a pasar el invierno. Entre 1950 y 2000, el estornino ha adelantado su llegada en otoño más de 20 días, mientras que el zorzal lo ha hecho, tan sólo una semana (Gordo & Sanz 2005). Sin embargo, en la emigración primaveral es el zorzal el que mostró el cambio más acusado, pudiéndosele ver, en la actualidad, 20 días más tarde de lo que era normal a mediados del siglo XX. El estornino sólo ha adelantado

su emigración en torno a una semana. El resultado en ambas especies ha sido un notable aumento en el periodo de estancia invernal (Fig. 5). En ninguna de las especies tales tendencias parecen estar relacionadas con el clima. Quizá cambios en el calendario de la recogida de frutos, que son importantes en la dieta de estas especies, como es la aceituna, han favorecido la prolongación del periodo de invernada (Gordo & Sanz 2005).

■ Figura 4.



▲ Figura 4. Evolución temporal de la fecha de emigración del vencejo en España entre 1944 y 2004. Cada punto es el promedio anual a nivel estatal. Las barras marcan el error estándar. La línea roja representa una tendencia suavizada.

Fuente: Elaborado a partir de Gordo & Sanz (2006).

Figura 5.

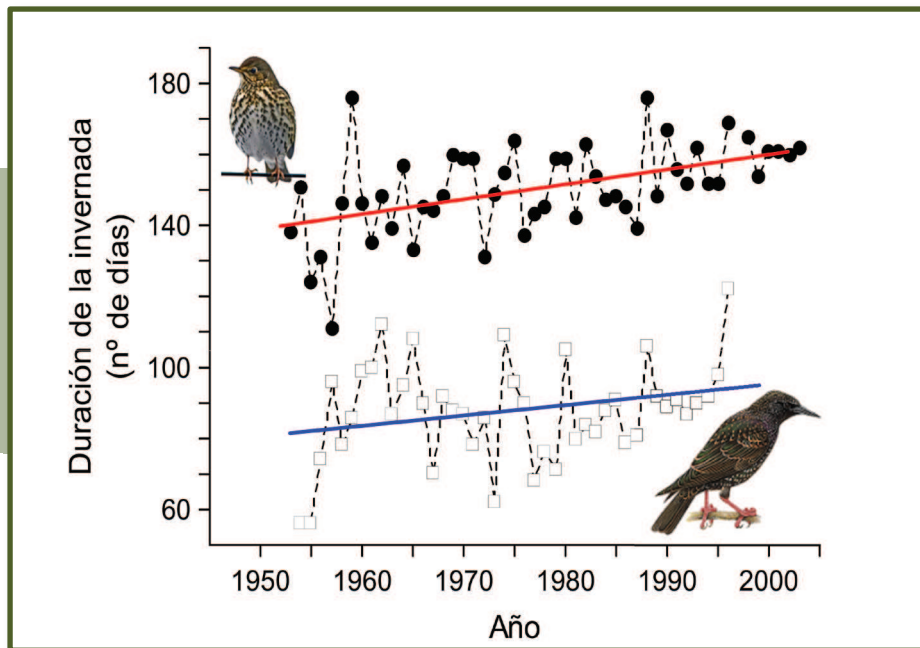


Figura 5. Evolución temporal del intervalo entre la fecha de llegada y de emigración del zorzal y el estornino en Tortosa entre 1953 y 2003. La línea roja representa la recta de regresión para el zorzal ($r = 0.438$, $p = 0.003$), y la azul para el estornino ($r = 0.260$, $p = 0.092$).

Fuente: Elaborado a partir de Gordo & Sanz (2005).

Recomendaciones para la adaptación

Tanto los fenómenos de plasticidad comportamental como los cambios microevolutivos dependen en última instancia de una elevada diversidad genética que garantice suficiente variabilidad en todos los rasgos que caracterizan el comportamiento migratorio (y la fenología sería uno de ellos). Si existe una amplia variabilidad fenotípica en las poblaciones, cabe esperar que éstas sean capaces de adaptarse por sí mismas a los nuevos escenarios climáticos. La mejor manera de garantizar esto es promoviendo medidas de conservación que faciliten la existencia de poblaciones de aves con abundancias elevadas.

Las aves migratorias tienen la peculiaridad de vivir en sitios diferentes durante cada fase de su ciclo de vida anual. Esto obliga a tomar medidas de gestión y conservación en todos estos lugares. Por tanto, garantizar la conservación de las poblaciones reproductoras en Europa es un primer paso imprescindible, pero que puede tener escasa efectividad si persisten los factores que causan una elevada mortalidad durante el viaje migratorio y/o en las zonas de invernada. Las áreas de distribución de las aves migratorias trascienden las fronteras políticas, lo que nos debería obligar a pensar y actuar a escala internacional, si pretendemos que sean verdaderamente eficaces los planes de acción para su conservación.

Un pilar esencial para la conservación de la biodiversidad es fomentar la educación y concienciación ambiental en la sociedad. En este sentido, aves y fenología, forman un tándem idóneo para dar a conocer los impactos del cambio climático en los seres vivos. Por un lado, las aves son, por lo general, muy conspicuas, lo que explicaría porque es uno de los grupos animales que más atrae el interés de la ciudadanía (Booney et al. 2009, Silvertown 2009). Por ejemplo, la Sociedad Española de Ornitología

cuenta con más de 12.000 socios en la actualidad, lo que la sitúa como la cuarta ONG relacionada con el medio ambiente más numerosa de nuestro país. Las aves, por tanto, son un vehículo excelente para concienciar a la ciudadanía sobre problemas medioambientales. Por otro lado, la fenología está considerada como uno de los bioindicadores más sensible y fiable del impacto del cambio climático (Gordo 2007a). Por tanto, ahora más que nunca, los estudios fenológicos son imprescindibles. Dada su simplicidad (tan solo hace falta observar como discurre el ciclo de los animales y plantas que nos rodean), estos estudios se pueden implantar fácilmente a escala nacional, ya que cualquier ciudadano puede convertirse potencialmente en un observador y, por tanto, en una valiosa fuente de datos fenológicos. Este hecho da un valor añadido a los estudios fenológicos, al hacer partícipe directo al ciudadano en estudios científicos que nos van a permitir obtener respuestas como las mostradas anteriormente. El resultado es que la transferencia de conocimiento a la sociedad es mucho más eficaz. Si la ciudadanía conoce de primera mano los impactos del cambio climático, va a ser mucho más fácil fomentar e implantar medidas para su mitigación. La mayoría de países de nuestro entorno (p. ej. Reino Unido, Alemania, Suiza, Holanda, etc.) están relanzando o, directamente, creando redes fenológicas como parte de sus estrategias nacionales de lucha contra el cambio climático (Hutson & Keatley 2010). En España, paradójicamente, la red fenológica, después de siete décadas de fructífero servicio parece abocada inevitablemente a su extinción, debido a la falta de observadores voluntarios y de apoyo por parte de los organismos públicos responsables en la actualidad. Se recomienda revertir esta nefasta tendencia, ya que la red fenológica estatal debería considerarse una pieza importante en la estrategia española para la adaptación al cambio climático.

■ Material suplementario

La fenología de los seres vivos ha sido tradicionalmente usada como un método fiable para determinar el paso de las estaciones. Esto hace que existan registros de la fecha en que se produjeron ciertos eventos fenológicos desde hace siglos (Gordo 2007a, Hutson & Keatley 2010). En España, los estudios fenológicos con cierto carácter sistemático se inician a principios del siglo XX, aunque desgraciadamente han sobrevivido escasísimos testimonios de aquella época (p.ej. Gordo & Sanz 2005), ya que la mayoría se destruyeron durante la Guerra Civil.

En los años 40, el Servicio Nacional de Meteorología (actual AEMET) puso en marcha una red de observadores fenológicos voluntarios a nivel estatal. Esta red se creó siguiendo unos protocolos muy similares a los que ya se aplicaban, desde hacía décadas, en redes fenológicas similares coordinadas por los servicios meteorológicos de países como el Reino Unido o Alemania, si bien se adaptaron a las especies más abundantes y populares en nuestro país (Gordo 2007a).

Los observadores disponían de unas instrucciones precisas sobre cómo efectuar las observaciones fenológicas (Anónimo 1943), lo que ha garantizado una gran homogeneidad de los datos tomados hasta la fecha. El protocolo es realmente simple, pues el requisito principal es simplemente prestar cierta atención a los animales y plantas del entorno y registrar la fecha en que se producen ciertos eventos, tales como la llegada de las aves migratorias, el inicio de la floración, la aparición de las primeras hojas, etc. Éste quizá es el secreto para el éxito de las redes fenológicas, pues el esfuerzo se ha de dirigir simplemente en coordinar y garantizar unos estándares de funcionamiento comunes a los cientos de voluntarios implicados. Los estudios fenológicos tradicionales destacan por la escasa inversión necesaria para recopilar ingentes cantidades de datos que, como se ha mostrado anteriormente, son sumamente útiles para evaluar los impactos del cambio climático en los seres vivos (Gordo 2007a).

La red fenológica anotaba la fenología migratoria de cinco aves muy comunes, que son: golondrina, vencejo, cigüeña, cuco y ruiseñor. En concreto se registraba la fecha de primera llegada, esto es el día que se advirtió por primera vez la especie en una localidad, tanto mediante detección visual como a partir del canto escuchado. También se registró la fecha de emigración, esto es el día que se produce la última observación (sólo disponible en golondrina, vencejo y cigüeña). En total, existen unas 44.000 observaciones de este tipo repartidas en más de mil localidades españolas para el periodo 1943-2004 (Gordo 2006).

Mediante regresión múltiple con polinomios se estudiaron las tendencias temporales a lo largo de las seis décadas en las que se registró la fenología de las cinco especies a nivel de España (Gordo & Sanz 2006). Además, se estudió el efecto del clima sobre la variabilidad interanual observable en las fechas de llegada y emigración. En el caso de las fechas de llegada se estudió cómo afecta, por un lado, la temperatura en primavera en la península ibérica y, por otro, las condiciones climáticas y ecológicas en las principales zonas de invernada y paso de África (Gordo & Sanz

2006, Gordo & Sanz 2008). En el caso de las fechas de última observación, se intentó discernir si la decisión de abandonar la península dependía más bien de los efectos inmediatos del clima en otoño o si podía estar mediada por cómo se habían desarrollado los eventos previos del ciclo de los individuos, es decir, su llegada y reproducción (Gordo & Sanz 2006).

Los estudios basados en los datos de la red fenológica han sido clave para obtener respuestas a nivel estatal, pero no podemos olvidar ciertos estudios a nivel local que han permitido ampliar la información que disponemos sobre la respuesta fenológica al cambio climático a otras especies de aves y para el resto del siglo XX. En Cardedeu y Tortosa los protocolos de observación fueron los mismos que los descritos anteriormente para la red estatal de fenología (Gordo et al. 2005, Gordo & Sanz 2005). En todos los casos, las series temporales de registros se analizaron mediante regresión múltiple, usando el año como predictor, pudiéndose incluir también, cuando era estadísticamente significativo, el término cuadrático del año, todo ello con objeto de modelizar patrones temporales no lineales de las variables fenológicas estudiadas. En todos estos estudios, también se analizó el efecto del clima mediante regresiones múltiples con las variables de temperatura y precipitación más adecuadas a cada especie y evento (Gordo et al. 2005, Gordo & Sanz 2005).

■ Referencias bibliográficas

- Anónimo (1943) *Atlas de plantas para las observaciones fenológicas*. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid
- Beebee TJC (1995) Amphibian breeding and climate. *Nature* 374:219-220
- Blondel J, Aronson J (1999) *Biology and wildlife of the Mediterranean region*. Cambridge University Press, Cambridge
- Bonney R, Cooper CB, Dickinson J, Kelling S, Phillips T, Rosenberg KV, Shirk J (2009). Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59:977-984
- Crick HQP, Sparks TH (1999) Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399:423-424
- Gordo O (2006) *Spatial and temporal migratory patterns of trans-Saharan birds in the Iberian Peninsula*. Universitat de Barcelona, Barcelona
- Gordo O (2007a) La fenología nos alerta del cambio climático. *Quercus* 253:36-41
- Gordo O (2007b) Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate Research* 35:37-58
- Gordo O (2009) Cambio climático y avifauna en el Mediterráneo. En: Barriocanal C, Varga D, Vila J, editores. *Canvi Ambiental Global*. Documentia Universitaria, Girona. pp 67-90
- 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
- Gordo O, Doi H (2012a) Drivers of population variability in phenological responses to climate change in Japanese birds. *Climate Research* 54:95-112
- Gordo O, Doi H (2012b) Spring phenology delays in an insular subtropical songbird: is response to climate change constrained by population size?. *Journal of Ornithology*, 153:355-366
- Gordo O, Sanz JJ (2005) Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia* 146:484-495
- Gordo O, Sanz JJ (2006) Climate change and bird phenology: a long-term study in the Iberian Peninsula. *Global Change Biology* 12:1993-2004
- Gordo O, Sanz JJ (2008) The relative importance of conditions in wintering and passage areas on spring arrival dates: the case of long-distance Iberian migrants. *Journal of Ornithology* 149:199-210
- Hewitt GM (2011) Mediterranean peninsulas: the evolution of hotspots. En: Zachos FE, Habel JC, editors. *Biodiversity hotspots*. Springer, Berlin. pp. 123-147
- Hulme M, Doherty R, Ngara T, New M, Lister D (2001) African climate change: 1900–2100. *Climate Research* 17:145–168
- Hudson IL, Keatley MR (2010) *Phenological research: methods for environmental and climate change analysis*. Springer, Heidelberg
- Jonzén N, Lindén A, Ergon T, Knudsen E, Vik JO, Rubolini D, Piacentini D, Brinch C, Spina F, Karlsson L, Stervander M, Andersson A, Waldenström J, Lehikoinen A, Edvardsen E, Solvang R, Stenseth NC (2006) Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science* 312:1959-1961
- Kanyamibwa S, Bairlein F, Schierer A (1993). Comparison of survival rates between populations of the White Stork *Ciconia ciconia* in central Europe. *Ornis Scandinavica* 24:297-302
- Knudsen E, Lindén A, Both C, Jonzén N, Pulido F, Saino N, Sutherland WJ, Bach LA, Coppack T, Ergon T, Gienapp P, Gill JA, Gordo O, Hedenström A, Lehikoinen E, Marra PP, Møller AP, Nilsson ALK, Péron G, Ranta E, Rubolini D, Sparks TH, Spina F, Studds CE, Sæther SA, Tryjanowski P, Stenseth NC (2011) Challenging claims in the study of migratory birds and climate change. *Biological Reviews* 86:928-946
- Lehikoinen E, Sparks TH (2010) Bird migration. En: Møller AP, Fiedler W, Berthold P, editores. *Effects of Climate Change on Birds*. Oxford University Press, Oxford. pp 89-112
- Lehikoinen E, Sparks TH, Zalakevicius M (2004) Arrival and departure dates. *Advances in Ecological Research* 35:1-31
- Mañez M, Tortosa FS, Barcell M, Garrido H. (1994) La invernada de la cigüeña blanca en el suroeste de España. *Quercus* 105:10-12
- Menzel A, Fabian P (1999) Growing season extended in Europe. *Nature* 397:659
- Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Koch E, Aasa A, Ahas R, Alm-Küber K, Bissolli P, Braslavská O, Briede A, Chmielewski FM, Crepinsek Z, Curnel Y, Dahl Å, Defila C, Donnelly A, Filella I, Jatczak K, Måge F, Mestre A, Nordli Ø, Peñuelas J, Pirinen P, Remisová V, Scheifinger H, Striz M, Wielgolaski FE, Zach S, Züst A (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12:1969-1976
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Da Fonseca GA, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858
- Newton I (2008) *The Migration Ecology of Birds*. Academic Press, London
- Nicholson SE, Davenport ML, Malo AR (1990) A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and east Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA AVHRR. *Climatic Change* 17:209–241

- Parmesan C (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37:637-669
- Peñuelas J, Filella I, Comas P (2002) Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8:531-544
- Potti J (2009). Advanced breeding dates in relation to recent climate warming in a Mediterranean montane population of Blue Tits *Cyanistes caeruleus*. *Journal of Ornithology* 150:893-901
- Pulido F, Berthold P (2010) Current selection for lower migratory activity will drive the evolution of residency in a migratory bird population. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107:7341-7346
- Rosenzweig C, Karoly D, Vicarelli M, Neofotis P, Wu Q, Casassa G, Menzel A, Root TL, Estrella N, Seguin B, Tryjanowski P, Liu C, Rawlins S, Imeson A (2008) Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 435:353-357
- Rubolini D, Møller AP, Rainio K, Lehikoinen E (2007) Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Climate Research* 35:135-146
- Silvertown J (2009) A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution*, 24:467-471
- Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Miller HL (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge
- Sokolov LV, Markovets MY, Shapoval AP, Morozov YG (1998) Long-term trends in the timing of spring migration of passerines on the Courish Spit of the Baltic Sea. *Avian Ecology and Behaviour* 1:1-21
- Sparks TH, Yates TJ (1997) The effect of spring temperature on the appearance dates of British butterflies 1883-1993. *Ecography* 20:368-374
- Zeng N (2003) Drought in Sahel. *Science* 302:999-1000
- Zwarts L, Bijlsma RG, van der Kamp J, Wymenga E (2009) *Living on the Edge: wetlands and birds in a changing Sahel*. KNNV Publishing, Zeist