

EL IMPORTANTE PAPEL DE LAS SERIES LARGAS EN FENOLOGÍA

Carlos CANO-BARBACIL (*GRECO, Institut d'Ecologia Aquàtica, Universitat de Girona*)
y Javier CANO SÁNCHEZ (*Delegación Territorial de AEMET en Madrid*)
carlos.cano@udg.edu, jcanos@aemet.es

RESUMEN: La fenología, además de aportar conocimiento sobre los ciclos biológicos de los seres vivos a través de su estudio directo, contribuye de manera especial a un mejor entendimiento del clima de una región, gracias a su caracterización mediante el seguimiento a largo plazo. En este trabajo se expone, a través de series fenológicas largas detalladas en artículos ya publicados, cómo en las últimas décadas se han producido cambios en algunos patrones biológicos que, según los autores, están directamente relacionados con el cambio climático. En esta nueva línea de trabajo la fenología proporciona una valiosa aportación en el campo de la investigación climatológica y su devenir en un futuro próximo lleno de incertidumbre.

Palabras clave: ciclos biológicos, seguimiento fenológico, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la fenología tiene como finalidad principal conocer la época del año en la que se producen los procesos biológicos de las especies, muchos de los cuales están relacionados directamente con el clima. También, pone de manifiesto el grado de intervención de los elementos meteorológicos, especialmente los que han acontecido durante los días previos a la observación fenológica, ya que hay especies que son especialmente sensibles a situaciones adversas de temperaturas extremas, precipitaciones intensas y vientos fuertes. La fenología puede informar también del tiempo que transcurre entre el comienzo y el final de un proceso biológico, por ejemplo el número de días que permanecen las flores abiertas o la duración del paso migratorio en las aves. Si el estudio se prolonga muchos años ininterrumpidamente se puede obtener información sobre los valores medios, o normales, y los extremos de un periodo concreto, y su evolución en el tiempo. Para que estos trabajos sean consistentes desde el punto de vista climatológico, la Organización Meteorológica Mundial recomienda series de valores de 30 años referidos a unos periodos estándar, como el correspondiente al último periodo 1981-2010.

Aunque cada especie sigue un patrón cíclico aparentemente inalterable, es decir, que permanece sin cambios o con una manifiesta regularidad a lo largo del tiempo, la fenología permite detectar modificaciones en estos ciclos a medio plazo. Además, posibilita cuantificar el valor de esa alteración, gracias a estudios comparativos entre observaciones anteriores al momento que se quiere contrastar. Por otra parte la evolución temporal de algunos elementos climáticos en los últimos años, como la temperatura y la precipitación, están experimentando tendencias positivas, en el primer caso, y negativas, en el segundo, en algunas regiones de nuestro entorno, por lo que se hace necesario revisar los datos de estas variables para obtener la caracterización del clima correspondiente. Si se relacionan ambas series, la fenológica y la climatológica, se obtienen finalmente las variaciones observadas y las posibles proyecciones en un futuro cercano según los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero previstos. Por tanto, las series largas, tanto fenológicas como climatológicas, han adquirido un valor inestimable en el cambiante mundo actual.

HISTORIA DE LAS SERIES FENOLÓGICAS

El primer registro fenológico conocido, aunque puntual, data del año 705 d. C., y recoge el comienzo de la floración del cerezo en la corte real de Kioto, en Japón (SCHLEIP y otros, 2008). Estas observaciones ocasionales de un fenómeno dicen poco de su frecuencia, ya que no se sabe si se trata de un hecho anecdótico o forma parte de un patrón. Por tanto, para entender cómo se comporta cualquier ciclo biológico se necesitan series temporales de datos obtenidos regularmente durante, al menos, unas cuantas décadas. En el año 812 comienza de forma continuada el registro de la floración del cerezo en Kioto, dando lugar a la serie fenológica más antigua y completa (AONO y KAUZI, 2008). Pero no es hasta finales del siglo XVIII y principios del XIX cuando este tipo de observaciones empieza a extenderse (SCHLEIP y otros, 2008). Un buen ejemplo de ello es la larga serie de la llegada a Finlandia de seis especies migratorias de aves (figura 1), iniciada en 1749 por colaboradores del naturalista sueco Carlos Linneo, conocido sobre todo por haber inventado el sistema binomial de nomenclatura de los seres vivos, y que continúa desde entonces (LEHIKONEN y otros, 2004). En ella se pueden apreciar claramente los patrones correspondientes a dos cortos periodos de años cálidos, 1860-1889 y 1930-1940, que las pautas migratorias de todas las especies coinciden al unísono y que la tendencia en las aves es de adelantar su llegada en los últimos decenios. En España, la serie fenológica más larga conocida se localiza en Tortosa (Tarragona) con registros sobre la llegada de la golondrina común (*Hirundo rustica*) desde 1908 (GORDO y SANZ, 2005). En la figura 2 puede apreciarse un retraso en la llegada desde los años 20 hasta mediados de los 70, momento desde el cual se percibe un adelantamiento de unos 15 días en la migración. Esta variación hace que las fechas de llegada en la actualidad sean similares a las que se observaron a principio de siglo.

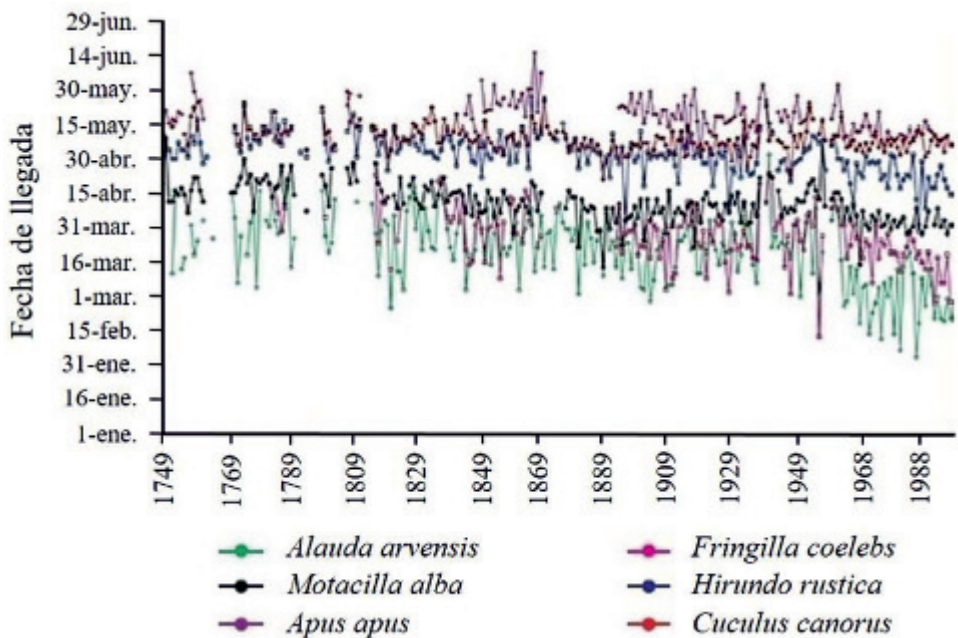


Figura 1. Registro de la llegada de seis especies de aves migratorias a Finlandia desde 1749: cuco común (*Cuculus canorus*), vencejo común (*Apus apus*), alondra común (*Alauda arvensis*), golondrina común (*Hirundo rustica*), lavandera blanca (*Motacilla alba*) y pinzón vulgar (*Fringilla coelebs*).

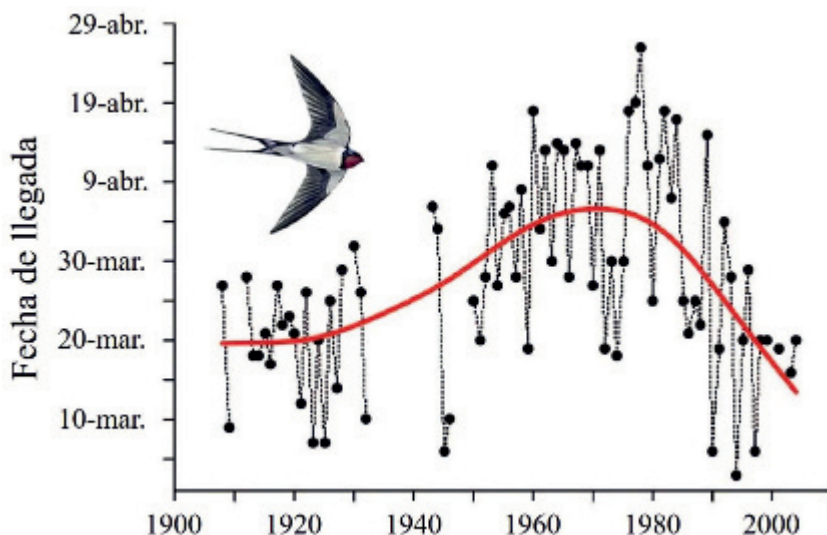


Figura 2. Serie fenológica de la llegada de la golondrina común (*Hirundo rustica*) a Tortosa (Tarragona), la más larga conocida en España.

Otra serie de datos de gran valor histórico es la que comenzó, a mediados del siglo XIX, el escritor estadounidense Henry David Thoreau. En su particular búsqueda por conocer la naturaleza Thoreau documentó con gran detalle los ciclos biológicos de numerosas especies de flores, insectos y aves durante los años en que vivió junto al lago Walden, entre 1852 y 1858, cerca de la localidad de Concord, donde también anotó las fechas en las que se congelaba por primera vez el agua del lago y cuándo se quedaba libre de hielo. Posteriormente, Alfred Hosmer, de profesión tendero, y una diseñadora de paisajes llamada Pennie Logeman, anotaron sistemáticamente las fechas del inicio de la floración en los alrededores de la misma ciudad, observaciones que abarcaron otro dilatado periodo de años. A principios de nuestro siglo, los científicos Abraham Miller-Rushing y Richard Primack comenzaron a registrar datos sobre fenología en la misma zona y realizaron un estudio comparativo (PRIMACK y otros, 2009) en el que concluyeron una tendencia hacia floraciones paulatinamente más tempranas, unos diez días, que relacionaron con un aumento de la temperatura media primaveral de 2 °C (MILLER-RUSHING y PRIMACK, 2008; PRIMACK y MILLER-RUSHING, 2012).

CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LA FENOLOGÍA

El calentamiento global es un hecho inequívoco. A partir de los años 50 del pasado siglo muchos de los cambios observados no han tenido precedentes desde que se llevan registros con regularidad. Según el informe del IPCC (2013) la atmósfera y el océano se han calentado, y los volúmenes de nieve y hielo han disminuido hasta provocar el aumento del nivel del mar. Muchos organismos modifican su área de distribución o su fenología en respuesta a estas alteraciones. Numerosos estudios han puesto de manifiesto estos cambios en diversas especies, tanto animales como vegetales, así como sus posibles consecuencias sobre su supervivencia.

En un seguimiento a largo plazo de un pequeño pájaro insectívoro, el papamoscas ce-rojillo (*Ficedula hypoleuca*), realizado durante cuarenta años (1978-2017), en localidades del centro y sur de la Comunidad de Madrid, se registraron las fechas de llegada y partida

en sus pasos migratorios de primavera y otoño (figura 3). Los resultados obtenidos ponen de manifiesto un adelanto significativo en las fechas de partida en ambos pasos lo que supone, también, una disminución del tiempo de su duración de 15 y 12 días respectivamente (CANO-BARBACIL y CANO, 2018). Sin embargo, esta respuesta a la fluctuación interanual de las condiciones ambientales varía en función de la especie estudiada. Algunas aves migratorias no modifican su fenología, lo que puede provocar que no lleguen al lugar de reproducción en el momento óptimo, y que sufran un desajuste fenológico con las especies que constituyen su fuente de alimento. Esta situación reduce el éxito reproductivo, que a su vez da como resultado un declive en aquellas poblaciones que no sean capaces de modificar su fenología de acuerdo al cambio climático (MØLLER y otros, 2008).

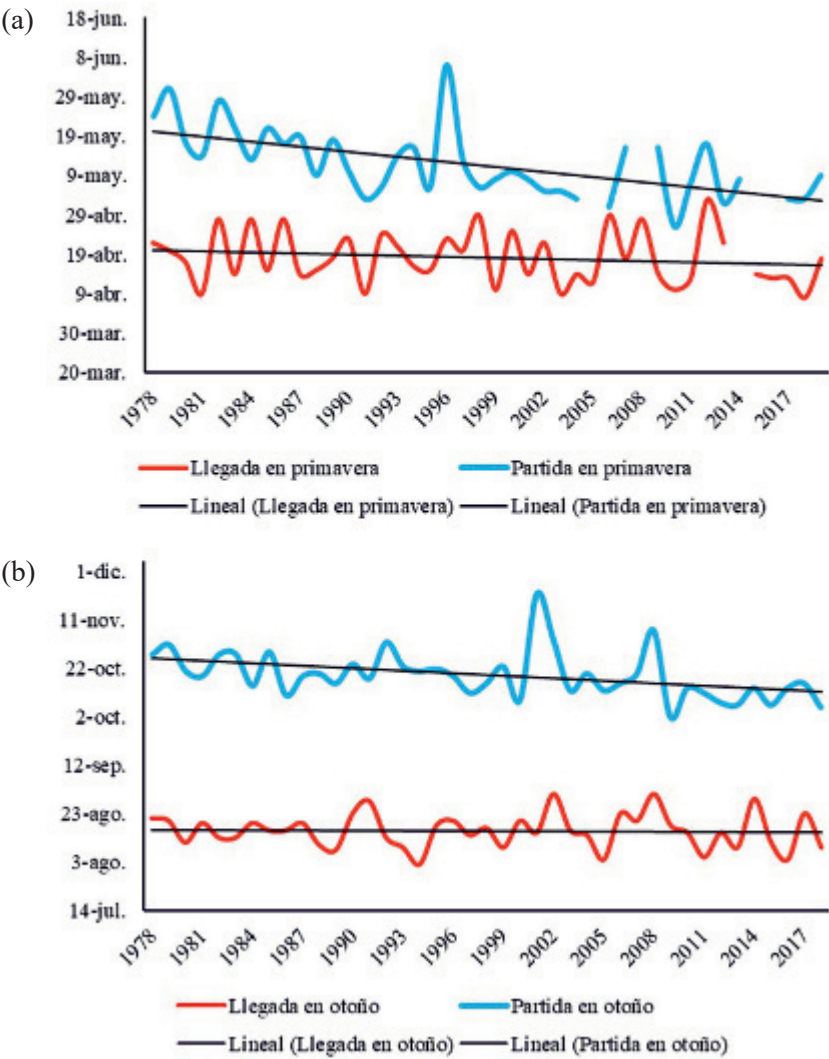


Figura 3. Series fenológicas de los pasos migratorios del papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*) en a) primavera y b) otoño, en localidades del centro y sur de la Comunidad de Madrid. Según este estudio las fechas de partida, en ambos pasos, se han adelantado en los últimos años, lo que ha provocado la reducción de su duración 15 y 12 días, respectivamente.

Otro ejemplo es el del estudio de la fenología en anfibios que está muy condicionado por el régimen de las precipitaciones, especialmente en regiones de clima semiárido (figura 4), donde la disponibilidad de agua es un factor limitante para la reproducción (CANO-BARBACIL y CANO, 2014). Esto puede producir sesgos o errores en la caracterización de su fenología si no se disponen de series temporales largas. Según un metaanálisis en el que se han considerado más de 200 especies de organismos, se demostró que los anfibios son el grupo taxonómico en el que el adelanto de las fechas de reproducción ha sido más notable. Su reproducción se ha anticipado más del doble que la de las aves y las mariposas, y que la floración de los árboles (PARMESAN, 2007).



Figura 4. Ejemplar adulto de sapo corredor (Epidalea calamita) en su ambiente natural. Una alteración de las condiciones medioambientales, debido al cambio climático, podría tener graves consecuencias para la supervivencia de esta especie.

En comparación con los ecosistemas terrestres, mucho más estudiados, los efectos a largo plazo del cambio climático en la fenología de las especies acuáticas, y en concreto de los peces, es poco conocida (TAO y otros, 2018). Sin embargo, existen algunos estudios que ya han puesto de manifiesto los efectos del clima sobre su fenología. OTERO y otros (2014) analizaron las variaciones en la migración del salmón atlántico (*Salmo salar*) durante 50 años en 67 ríos de 13 países y encontraron un adelantamiento medio de su entrada al mar de 2,5 días por década, es decir, casi 13 días antes que en los años 60. Otro estudio desarrollado con diferentes especies de salmónidos en Alaska muestra también un adelanto en la migración de 1,7 días de media durante las últimas 3-5 décadas (KOVACH y otros,

2013). Estos adelantamientos en la migración pueden suponer graves consecuencias para las poblaciones de peces. Desde 1995, el salmón rojo (*Oncorhynchus nerka*) del río Fraser en Canadá ha iniciado la migración de desove río arriba significativamente antes (un máximo de hasta seis semanas), situación que ha provocado un gran incremento en los niveles de mortalidad en ruta y antes del desove, que han pasado a ser de en torno al 5-25 % hasta más del 90 % en algunos años (COOKE y otros, 2004). El incremento global de la temperatura también afecta al momento del desove de los peces (WEDEKIND y KÜNG, 2010; TAO y otros, 2018). Un adelantamiento en la fecha de puesta provoca la exposición de los embriones y las larvas a temperaturas subóptimas que afectan a la supervivencia, a la determinación del sexo y a la resistencia a patógenos de algunas especies, lo que puede contribuir directamente a la reducción de determinadas poblaciones (WEDEKIND y KÜNG, 2010). Recientemente se ha demostrado que alteraciones en la fenología causadas por el cambio climático, provocan modificaciones en la relación depredador-presa de los ecosistemas acuáticos y en la estructura y el funcionamiento de toda la cadena alimenticia (CHEVILLOT y otros, 2017).

CONCLUSIONES

Los estudios fenológicos a largo plazo son todavía escasos a pesar de su gran valor científico, aunque su importancia ha ido en aumento en los últimos años. Entre las contribuciones más importantes que pueden aportar destacan dos: por un lado, su utilización como información de apoyo en la climatología de la zona de estudio y, por otro, para descubrir posibles tendencias en el comportamiento de los organismos estudiados mediante la evaluación de las fechas en las que se produce un determinado evento a lo largo del tiempo. Las alteraciones que se observan en la fenología de numerosos organismos estudiados en los últimos dos siglos de registro son útiles para evidenciar los efectos del cambio climático, la mayor amenaza ambiental a la que el ser humano se enfrenta. Muchos estudios fenológicos de diferentes grupos taxonómicos, que han recogido y analizado cientos de series de datos, concluyen que el cambio climático es una de las principales fuerzas impulsoras de variación en los sistemas naturales y en el comportamiento de numerosas especies, al provocar el adelanto y acortamiento de ciertos fenómenos naturales como la migración de las especies, la floración y la época de reproducción en animales. Estos cambios ponen en serio peligro la viabilidad de numerosas poblaciones que no logran adaptarse a las nuevas condiciones ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- AONO, Y. y KAZUI, K., 2008. Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *Royal Meteorological Society*, 28. 905-014.
- CANO-BARBACIL, C. y CANO, J., 2014. La lluvia, la charca y el sapo corredor, una relación de supervivencia en ambientes semiáridos. En: *Calendario Meteorológico 2015. Información meteorológica y climatológica de España*: 262-269. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- CANO-BARBACIL, C. y CANO, J., 2018. La duración de los pasos migratorios del papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*) se reduce en los últimos cuarenta años en el centro y sur de la Comunidad de Madrid. En, Juan, M., De la Torre, V. y Pérez-Granados, C. (ed.), 2018. *Anuario Ornitológico de Madrid 2015-2017*, pp. 24-39. SEO-Monticola. Madrid.

- CHEVILLOT, X., DROUINEAU, H., LAMBERT, P., CARASSOU, L., SAUTOUR, B. y LOBRY, J., 2017. Toward a phenological mismatch in estuarine pelagic food web? *PLoS ONE*, 12: 1-21.
- COOKE, S. J., HINCH, S. G., FARREL, A. P., LAPOINTE, M. F., JONES, S. R. M., MACDONALD, J. S., PATTERSON, D. A., HEALEY, M. C. y VAN DER KRAAK, G., 2004. Abnormal Migration Timing and High en route Mortality of Sockeye Salmon in the Fraser River, British Columbia. *Fisheries*, 29: 22-33.
- GORDO, O. y SANZ, J. J., 2005. Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologica*, 146: 484-495.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stoker, T. F., D. Quin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA.
- KOVACH, R. P., JOYCE, J. E., ECHAVE, J. D., LINDBERG, M. S. y TALLMON, D. A., 2013. Earlier Migration Timing, Decreasing Phenotypic variation, and Biocomplexity in Multiple Salmonid Species. *PloS ONE*, 8: 1-10.
- LEHIKONEN, E., SPARKS, T. H. y ZALAKEVICIUS, M., 2004. Arrival and departure dates, pp. 1-31. En: Møller, A. P., Fiedler, W. y Berthold, P. (eds). *Birds and Climate Change*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- MILLER-RUSHING, A. J. y PRIMACK, R. B., 2008. Global warming and flowering times in Thoreau's Concord: a community perspective. *Ecology*, 89: 332-341.
- MØLLER, A. P., RUBOLINI, D. y LEHIKONEN, E., 2008. Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *PNAS*, 105: 16195-15200.
- OTERO, J., L'ABÉE-LUND, J. H., CASTRO-SANTOS, T., LEONARDSSON, K., STORVIK, G. O., JONSSON, B., DEMPSON, B., RUSSELL, I. C., JENSEN, A. J., BAGLINIÈRE, J. L., DIONNE, M., ARMSTRONG, J. D., ROMAKKANEMI, A., LETCHER, B. H., KOCIK, J. F., ERKINARO, J., POOLE, R., ROGAN, G., LUNDWIST, H., MACLEAN, J. C., JOKIKOKKO, E., ARNEKLEIV, J. V., KENNEDY, R. J., NIEMELÄ, E., CABALLERO, P., MUSIC, P. A., ANTONSSON, T., GUDIONSSON, S., VESELOV, A. E., LAMBERG, A., GROOM, S., TAYLOR, B. H., TABERNER, M., DILLANE, M., ARNASON, F., HORTON, G., HVIDSTEN, N. A., JONSSON, I. R., MCKELVEY, S., NAESIE, T. F., SKAALA, Ø., SMITH, G. W., SAEGROV, H., STENSETH, N. C. y VØLLESTAD, L. A., 2014. Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global Change Biology*, 24: 2093-2104.
- PARMESAN, C., 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology*, 13: 1860-1872.
- PRIMACK, R. B. y MILLER-RUSHING, A. J., 2012. Uncovering collecting and analyzing records to investigate the ecological impacts of climate change: a template from Thoreau's Concord. *Bioscience*, 62: 170-181.
- PRIMACK, R. B., MILLER-RUSHING, A. J. y DHARANEESWARAN, K., 2009. Changes in the flora of Thoreau's Concord. *Biological Conservation*, 142: 500-508.
- SCHLEIP, C., RUTISHAUSER, T., LUTERBACHER, J., y MENZEL, A., 2008. Time series modeling and central European temperature impact assessment of phenological records over the last 250 years. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 113: 1-13.
- TAO, J., HE, D., KENNARD, M. J., DING, C., BUNN, S. E., LIU, C., JIA, Y., CHE, R. y CHEN, Y., 2018. Strong evidence for changing fish reproductive phenology under climate warming on the Tibetan Plateau. *Global Change Biology*, 24: 2093-2104.
- WEDEKIND, C. y KÜNG, C., 2010. Shift of spawning season and effects of climate warming on developmental stages of a grayling (*Salmonidae*). *Conservation Biology*, 24: 1418-1423.