

Los capítulos de este libro han pasado una evaluación por el Comité Científico del IX Congreso Español de Biogeografía.

Esta obra ha sido co-financiada por el Grupo de trabajo de Geografía Física de la Asociación de Geógrafos Españoles, y por el Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, e Instituto de Desarrollo Regional de la Universidad de Granada.

- © los editores
- © Editorial Universidad de Granada
- © Tundra Ediciones
- © de los textos, figuras, tablas y fotografías: sus autores
- © de la ilustración de portada: Raúl Peña Calavia (*Los Reales de Sierra Bermeja*)

Co-editan:

Editorial Universidad de Granada  
Campus Universitario de Cartuja  
Colegio Máximo, s/n, 18071 Granada  
Telf.: 958 243930-246220  
[www.editorial.ugr.es](http://www.editorial.ugr.es)

Tundra Ediciones  
Apartado de Correos, 100  
12590 Almenara (Castellón)  
[info@tundraediciones.es](mailto:info@tundraediciones.es)  
[www.tundraediciones.es](http://www.tundraediciones.es)

I.S.B.N.: 978-84-338-5932-7

I.S.B.N.: 978-84-16702-10-7

D.L.: CS-228-2016

Imprime: Bodonia Artes Gráficas

*Printed in Spain*

*Impreso en España*

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

# EL CAMBIO DEL CLIMA Y LA BARRERA BIOGEOGRÁFICA DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR PARA LAS AVES AFRICANAS

DARÍO CHAMORRO, JESÚS OLIVERO, RAIMUNDO REAL & ANTONIO-ROMÁN MUÑOZ  
*Biogeografía, Diversidad y Conservación, Departamento de Biología Animal, Universidad de Málaga.*  
*chamorrods@gmail.com, jesusolivero@uma.es, rrgimenez@uma.es, roman@uma.es*

**RESUMEN:** El reciente cambio del clima está afectando a la distribución de las especies, siendo habitual que se provoquen desplazamientos latitudinales. En el estrecho de Gibraltar, frontera biogeográfica que separa la biota africana de la europea y, a su vez, puente de migración para muchas especies, estos cambios son de especial importancia. En esta investigación se han recopilado los registros homologados en España de varias especies de rapaces típicamente africanas que comienzan a observarse en Europa, con la intención de estudiar el posible proceso de colonización del continente Europeo. Algunos de los patrones detectados son su entrada a Europa a través del estrecho de Gibraltar, y la mayor frecuencia de ejemplares durante los periodos pre y post-reproductores. Se ha utilizado una de estas especies, el busardo moro, para obtener modelos de favorabilidad ambiental que demuestren la utilidad de dichos modelos en el estudio de las colonizaciones. Los resultados ponen de manifiesto que el clima es el principal factor que explica la distribución de esta especie, y también que la península ibérica cuenta con más áreas favorables para la especie que las que actualmente ocupa. De continuar el aumento de la temperaturas, cabe esperar que el busardo moro amplíe su actual área de distribución en el sur de la península ibérica, y también que un mayor número de especies africanas colonice el continente europeo.

**Palabras clave:** áreas favorables, cambio climático, colonización, modelos de distribución de especies, rapaces.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Estrecho de Gibraltar, uno de los puntos calientes con mayor índice de biodiversidad del bioma Mediterráneo (Médail & Quézel 1999), constituye una frontera biogeográfica entre los continentes de África y Europa, y entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico. No obstante, esta frontera no es una barrera estricta, ya que representa la mínima distancia de separación entre ambos continentes y ha sido históricamente un gran puente para la fauna y la flora. Sin embargo, este entorno es sensible a las alteraciones ambientales, lo que le convierte en una zona de gran valor para estudiar el efecto del cambio

climático en la distribución de las especies y en la colonización del continente europeo por especies africanas.

Diferentes estudios muestran cómo las especies están respondiendo al cambio climático mediante desplazamientos que, finalmente, transforman sus distribuciones (Thomas *et al.* 2001, Pearce-Higgins *et al.* 2015). En el caso de las aves, en el hemisferio norte los desplazamientos suelen traducirse en ascensos altitudinales o latitudinales (Huntley *et al.* 2006, Massimino *et al.* 2015), pues los inviernos tienden a ser más cálidos (IPCC 2014). Ello contribuye, por un lado, a que las especies migradoras encuentren para invernar territorios más cercanos a sus áreas de reproducción y, por otro, a que las especies dispersivas hallen en nuestras latitudes nuevos territorios favorables al norte de sus límites de distribución habituales. En la zona del Estrecho de Gibraltar, el crecimiento hacia el norte de las áreas de distribución de las aves típicamente africanas supone que especies antes ausentes en Europa colonicen este continente.

En el presente estudio se analizan los registros de varias especies de rapaces típicamente africanas, avistadas recientemente en Europa y de manera regular en la península ibérica, desde finales del siglo XX e inicios del XXI: el buitre moteado (*Gyps rueppellii*), el busardo moro (*Buteo rufinus cirtensis*) y el halcón borní (*Falco biarmicus erlangeri*); y de aquellas rapaces observadas recientemente en el sur de España por primera vez en todo el Paleártico Occidental: el buitre dorsiblanco africano (*Gyps africanus*) y el águila volatinera (*Terathopius ecaudatus*). El objetivo es profundizar en el conocimiento del proceso de colonización del continente Europeo por parte de las rapaces africanas.

De manera adicional, se realiza un modelo de favorabilidad ambiental con una de las especies, el busardo moro, con el fin de determinar la idoneidad del sur de la península ibérica para que establezca territorios reproductores. Se pretende también poner de manifiesto la utilidad de los modelos de favorabilidad para predecir las expansiones de las áreas de distribución en el área de estudio.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Evolución espacio-temporal de los registros homologados

La recopilación de las citas homologadas de las rapaces típicamente africanas avistadas en la península ibérica se realizó consultando los ejemplares de las revistas científicas *Ardeola* (publicaciones desde 1980 hasta los últimos volúmenes disponibles de 2015) y *Revista de Ecología MIGRES*. Con la información recopilada se elaboró una base de datos a partir de la cual se analizó la estacionalidad y la evolución espacial y temporal de los avistamientos.

## 2.2. Ejemplo de modelación de una colonización

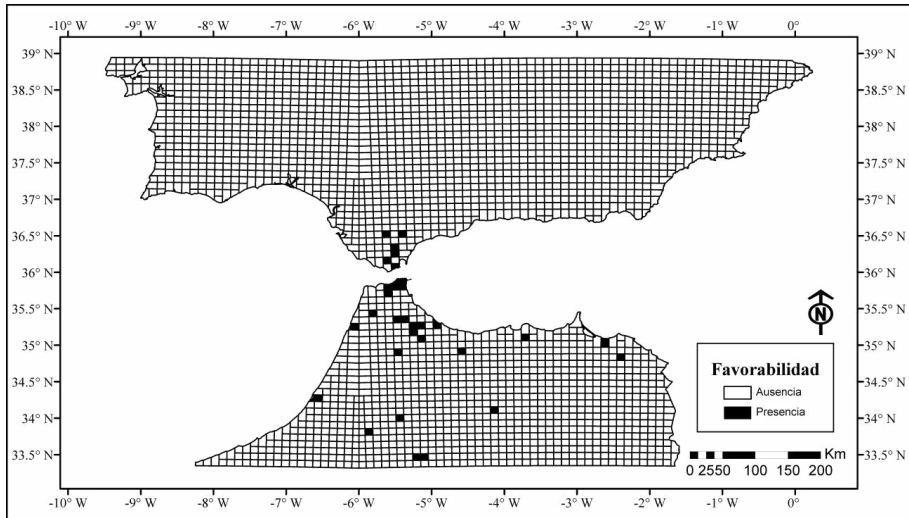
### 2.1.1. Área estudiada

El área de estudio fue el territorio comprendido entre 38°55'N y 33°23'N en la península ibérica y Marruecos (Mapa 1), que contiene en su interior áreas mediterráneas con condiciones ecológicas similares a ambos lados del estrecho (condición necesaria para la extrapolación de los modelos; Zanini *et al.* 2009).

### 2.1.2. Datos de distribución

El busardo moro comenzó a criar en la península ibérica en 2009 (Elorriaga & Muñoz 2010). Los datos de presencia/ausencia de territorios de reproducción de esta especie se obtuvieron mediante muestreos durante las temporadas de cría de los años 2014 y 2015. Los registros georreferenciados fueron trasladados a cuadrículas UTM 10x10 Km (Mapa 1).

Mapa 1. Área de estudio y representación de las presencias de territorios de cría del busardo moro.



### 2.1.3. Variables predictoras

Se emplearon 24 variables ambientales relativas a la situación espacial, la topografía, la vegetación, el clima y la actividad humana. Las variables fueron elegidas en función de su capacidad potencial de predecir la distribución de la especie. Se consideró el valor medio de las variables en cada celda de UTM (Muñoz *et al.* 2005, Fa *et al.* 2014).

### 2.1.4. Modelación de la distribución

Para modelar la presencia de reproducción del busardo moro se empleó la Función de Favorabilidad (Real *et al.* 2006, Acevedo y Real 2012). Se obtu-

vieron así valores de favorabilidad ambiental, a partir de las probabilidades resultantes de un análisis de regresión logística, mediante la eliminación del efecto de la prevalencia. Para predecir las áreas favorables para la reproducción de la especie en la península ibérica, se realizó el modelo exclusivamente con los datos de la especie en Marruecos, y el modelo obtenido se extrapoló a la península ibérica siguiendo la metodología descrita en Barbosa *et al.* (2009). El error de tipo I y la multicolinealidad fueron controlados mediante la tasa de descubrimiento falso (FDR) y la correlación de Pearson como se muestra en Fa *et al.* (2014). El modelo final incluye el conjunto de variables que, a lo largo de una selección por pasos, aumentaron significativamente la capacidad de predicción del modelo. La importancia de estas variables se estimó mediante el test de Wald (1943). Los valores de favorabilidad de las distintas cuadrículas de UTM fueron reagrupados en tres categorías, haciendo distinción entre áreas “muy favorables” ( $>0.8$ ), “desfavorables” ( $<0.2$ ) y de “favorabilidad intermedia” (Muñoz *et al.* 2005).

#### 2.1.5. Evaluación y validación del modelo

El modelo resultante fue evaluado siguiendo criterios de clasificación mediante los índices de sensibilidad, especificidad, tasa de clasificación correcta (TCR) e índice Kappa de Cohen; y de discriminación (índice AUC). Para ello se siguieron los criterios expuestos por Romero *et al.* (en prensa), distinguiendo entre la zona en la que se construyó el modelo (Marruecos) y la zona a la que éste fue extrapolado (península ibérica). Para determinar qué factor ambiental resulta más influyente en la distribución del busardo moro se realizó un análisis de partición de la variación (Muñoz *et al.* 2005). Finalmente, la extrapolación fue validada comprobando el valor de favorabilidad para el busardo moro en las cuadrículas de UTM de la península ibérica donde se ha confirmado la reproducción de la especie.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Evolución espacio-temporal de los registros homologados

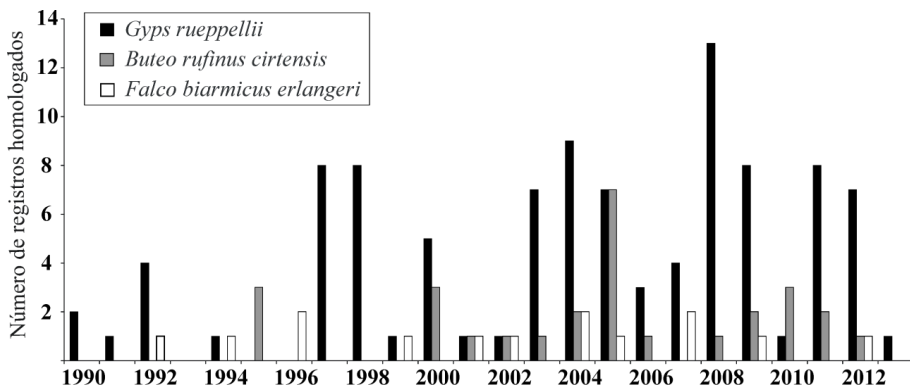
Con la información extraída de la base de datos se ha elaborado la Tabla 1 a modo de resumen. Se muestran las especies detectadas y el año y el lugar de la primera cita; todos los registros abarcan un periodo de dos décadas. También se muestra la cantidad total de citas homologadas, según la cual el buitre moteado ha alcanzado las 100 citas. Por ello, desde enero de 2016 esta especie ha dejado de ser considerada rareza por el Comité de Rarezas de SEO/Bird-Life; en cambio, las otras especies cuentan con escasos registros. En todas las especies, otoño es la estación con más registros (en torno a un 49% del total), mientras que su número en el resto de estaciones varía en función de la especie, siendo la primavera y el verano las siguientes más frecuentes.

Tabla 1. Registros de las rapaces africanas avistadas en la península ibérica

<i>ESPECIE</i>	<i>Año 1ª cita</i>	<i>Lugar 1ª cita</i>	<i>Nº citas</i>	<i>Estacionalidad</i>
<i>Gyps rueppellii</i>	1990	Cáceres	100	Otoño
<i>Buteo rufinus cirtensis</i>	1995	Cádiz	28	Otoño
<i>Falco biarmicus erlangeri</i>	1994	Cádiz	14	Otoño
<i>Gyps africanus</i>	2008	Cádiz	3	Otoño
<i>Terathopius ecaudatus</i>	2012	Cádiz	1	Primavera

En el caso de la evolución espacial, todas las especies son avistadas por primera vez en el entorno del estrecho de Gibraltar a excepción del buitre moteado, que se avistó e identificó por primera vez en un grupo de buitres leonados (*Gyps fulvus*) en Cáceres, en 1990. Todas las aves comparten un mayor número de citas en Cádiz, valor que se va difuminando a medida que se avanza hacia el Norte y el Este de la península ibérica. La evolución temporal de las especies, con un número suficiente de registros homologados para ser analizado, se muestra en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Evolución temporal de los registros en la península ibérica



### 3.2. Ejemplo de modelación de una colonización

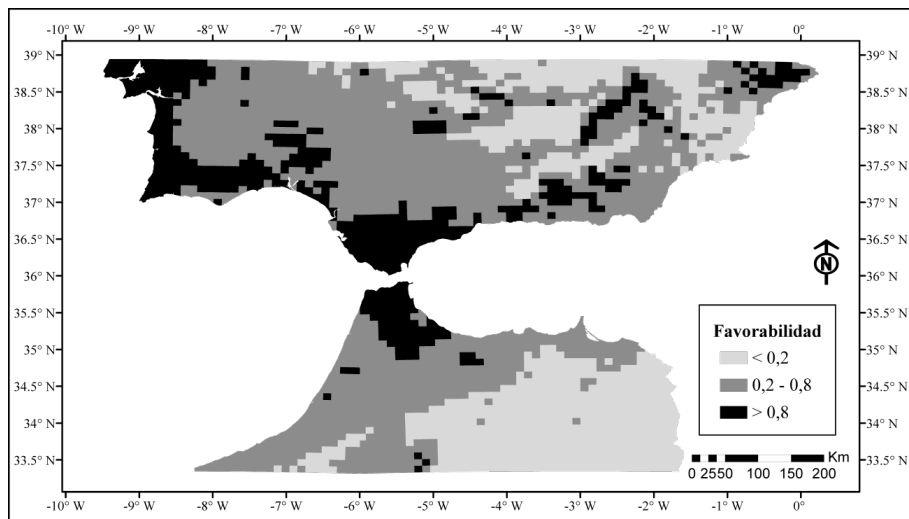
En el modelo de favorabilidad, las variables que definen la reproducción del busardo moro se combinan linealmente de la forma siguiente (ecuación y o “logit”):

$$y = 1,86 + 0,01 \cdot Prec - 0,04 \cdot RT + 7,90 \cdot Coni + 4,37 \cdot Mato$$

donde *Prec* es la abundancia media anual de precipitaciones, *RT* es el rango de temperatura, *Coni* es la proporción de suelo ocupado por bosques de coníferas

y *Mato* es la proporción de suelo ocupado por matorrales. El modelo en el norte de Marruecos y su extrapolación a la península ibérica, tras la agrupación de los valores de favorabilidad en tres categorías, se representa en el Mapa 2.

Mapa 2. Modelo de favorabilidad ambiental del busardo moro en Marruecos y su extrapolación al sur de la península ibérica, mostrando las clases de favorabilidad.



La evaluación del modelo ha sido satisfactoria, con valores próximos a 1 en sensibilidad, especificidad e índice de Kappa, y un AUC mayor de 0,8. Además la extrapolación queda validada por el hecho de que las seis presencias de la península ibérica coinciden con áreas muy favorables (valores superiores a 0,93).

#### 4. DISCUSIÓN

La evolución temporal de las rapaces estudiadas muestra una tendencia común en el aumento de los avistamientos con el paso del tiempo, de forma oscilante. Si además se tiene en cuenta que los registros tardan un tiempo en ser homologados, generando cierto retraso en su publicación, esta tendencia es más visible. Así, la reducción en el número de citas en los últimos años se debe, muy probablemente, al periodo de tiempo necesario para tramitar y homologar las citas. Este fenómeno podría indicar que estas observaciones no son avistamientos casuales o esporádicos, sino que pueden deberse a los primeros pasos de la colonización progresiva del continente europeo.

El mayor número de avistamientos se produce durante los periodos post-reproductor (otoño) y pre-reproductor (primavera), momentos en los que tienen lugar los mayores desplazamientos en las aves, bien de adultos en busca de áreas donde criar o de juveniles en dispersión o buscando nuevos territorios donde asentarse.

El modelo de favorabilidad del busardo moro explica la distribución de los territorios de cría en Marruecos, y también las zonas ocupadas por la especie en la península ibérica. Además, predice una gran disponibilidad de zonas muy favorables aún desocupadas. Esto podría reflejar que la especie no está en equilibrio con el nuevo ambiente en el que se encuentra, dado lo reciente que ha sido su colonización del continente Europeo. Los resultados apoyan la hipótesis de que los cambios en la distribución de la especie, y su ampliación hacia el norte, podrían ser debidos a efectos climáticos que facilitarían la ocupación de nuevas áreas al norte del estrecho de Gibraltar, donde la especie pasaría a encontrar ambientes favorables.

El Estrecho de Gibraltar es una zona muy importante que, además de representar una barrera, también actúa de “puente” para las especies. Ya en los años 70 del siglo pasado fue usado por el elanio azul (*Elanus caeruleus*) para colonizar la península ibérica, donde consiguió asentarse con éxito y desde donde se expandió hacia el norte (Ferrero & Onrubia 2004), hasta que recientemente ha colonizado Francia (Logeais 2015). La evolución espacio-temporal de todas las aves estudiadas muestra una tendencia similar a la colonización por el elanio azul, al concentrarse el mayor número de citas en la zona de Cádiz en un primer momento, e irse expandiendo con posterioridad hacia el norte, lo que reafirma aún más que estos casos pueden resultar en verdaderas colonizaciones más que en observaciones ocasionales.

Este fenómeno no es exclusivo de las aves de presa. Existen muchos otros ejemplos de aves africanas que, bien se están observando de manera creciente en la península, como el colirrojo diademado (*Phoenicurus moussieri*, de Juana *et al.* 2002); o bien ya han comenzado a criar en ella, como es el caso del vencejo moro (*Apus affinis*, Molina 2003) y, más recientemente en 2013, del bulbul naranjero (*Pycnonotus barbatus barbatus*).

El cambio del clima, como apunta nuestro modelo, parece ser una de las principales causas que promueve la ampliación del área de distribución hacia el norte, hipótesis que se ve reforzada por diversos estudios sobre la relación entre el cambio climático y las alteraciones en las áreas de distribución de las especies (Huntley *et al.* 2006, Real *et al.* 2013).

Con los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta el antecedente del elanio azul, cabría esperar que en el futuro estas especies comiencen a reproducirse en la península, si no lo han hecho ya. Así mismo, podría aumentar hacia el norte el tamaño de sus áreas de distribución. Es posible que nuevas especies africanas comiencen a ser avistadas en la orilla norte del Estrecho de Gibraltar; este podría ser el caso de la chagra del Senegal (*Tchagra senegalus*) y el escribano sahariano (*Emberiza sahari*), especie esta última que ha colonizado el norte de Marruecos durante los últimos años.



## 5. CONCLUSIONES

Desde hace unas décadas está aumentando el número de aves típicamente africanas que son observadas en Europa. Numerosos estudios apuntan a que los cambios en el clima podrían ser la principal causa de estos movimientos en las áreas de distribución. Las alteraciones climáticas hacen del Estrecho de Gibraltar una puerta de entrada hacia Europa para estas especies, permitiendo su asentamiento y reproducción en las áreas favorables, y facilitando su posterior expansión hacia el norte. Los modelos de favorabilidad, que emplean variables ambientales, son una buena herramienta para explicar y predecir las distribuciones de las especies en sus áreas colonizadas. Ente otros usos, permiten optimizar la planificación de los muestreos y detectar las áreas más susceptibles de ser colonizadas.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es resultado del programa de investigación científica del Máster universitario *Diversidad Biológica y Medio Ambiente* de la Universidad de Málaga (2014/2015).

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, P. & Real, R. (2012): “Favourability: concept, distinctive characteristics and potential usefulness”. *Naturwissenschaften*, 99, 515-522.
- Barbosa, M., Real, R. & Vargas, J.M. (2009): “Transferability of environmental favourability models in geographic space: The case of Iberian desman (*Galemys pyrenaicus*) in Portugal and Spain”. *Ecological Modelling*, 220, 747-754.
- de Juana, E. & Comité de Rarezas de la Sociedad Española de Ornitología. (2002). “Observaciones de aves raras en España, año 2000”. *Ardeola*, 49 (1), 141-171.
- Fa, J.E., Olivero, J., Farfan, M.Á., Márquez, A.L., Vargas, J.M., Real, R. & Nasi, R. (2014): “Integrating Sustainable Hunting in Biodiversity Protection in Central Africa: Hot Spots, Weak Spots, and Strong Spots”. *PLoS ONE*, 9 (11), e112367.
- Ferrero, J.J. & Onrubia, A. (2004). “Elanio azul *Elanus caeruleus*”. En: MADROÑO, A., GONZÁLEZ, C. & ATIENZA, J.C. (eds.) *Libro Rojo de las Aves de España*. SEO/BirdLife, Madrid. 113-116.
- Huntley, B., Collingham, Y.C., Green, R.E., Hilton, G.M., Rahbek, C. & Willis, S.G. (2006). “Potential impacts of climatic change upon geographical distributions of birds”. *Ibis*, 148, 8-28.
- I.P.C.C. (2014). “Climate Change 2014: Synthesis Report”. En: PACHAURI, R.K. & MEYER, L.A. (eds.): *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. I.P.C.C Geneva, Switzerland.
- Logeais, J.M. (2015). “Première nidification de l’Élanion blanc en Maine-et-Loire”. *Crex*, 13, 45-50.

- Massimino, D., Johnston, A. & Pearce-Higgins, J.W. (2015). “The geographical range of British birds expands during 15 years of warming”. *Bird Study*, 62, 523-534.
- Médail, F. & Quézel, P. (1999). “Biodiversity Hotspots in the Mediterranean Basin: Setting Global Conservation Priorities”. *Conservation Biology*, 13, 1510-1513.
- Molina, B. (2003). “Vencejo Moro *Apus affinis*”. En MARTÍ, R. & MORAL, J.C. (eds) *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SEO-Birdlife, Madrid. 618-619.
- Pearce-Higgins, J.W., Eglinton, S.M., Martay, B. & Chamberlain, D.E. (2015): “Drivers of climate change impacts on bird communities”. *Journal of Animal Ecology*, 84, 943-954.
- Muñoz, A.R., Real, R., Barbosa, A.M. & Vargas, J.M. (2005): “Modelling the distribution of Bonelli’s Eagle in Spain: Implications for conservation planning”. *Diversity and Distributions*, 11, 477-486.
- Real, R., Barbosa, A.M. & Vargas, J.M. (2006): “Obtaining environmental favourability functions from logistic regression”. *Environmental and Ecological Statistics*, 13, 237-245.
- Real, R., Romero, D., Olivero, J., Estrada, A. & Márquez, A.L. (2013). “Estimating how inflated or obscured effects of climate affect forecasted species distribution”. *PlosOne*, 8 (1), e53646.
- Romero, D., Olivero, J., Brito, J.C. & Real, R. (en prensa): “Comparison of approaches to combine species distribution models based on different sets of predictors”. *Ecography*, 38, 01-11.
- Thomas C.D., Bodsworth, E.J., Wilson, R.J., Simmons, A.D., Davies, Z.G., Musche, M. & Conradt, L. (2001). “Ecological and evolutionary processes at expanding range margins”. *Nature*, 411, 577-581.
- Wald, A. (1943): “Tests of statistical hypotheses concerning several parameters with applications to problems of estimation”. *Transactions of the American Mathematical Society*, 54, 426-482.
- Zanini, F., Pellet, J. & Schmidt, B.R. (2009): “The transferability of distribution models across regions: an amphibian case study”. *Diversity and Distributions*, 15 (3), 469-480.