

# Morfología alar en poblaciones de petirrojo *Erithacus rubecula* con diferente comportamiento migratorio

Héctor Andino<sup>1\*</sup>, Carles Barriocanal<sup>1,2</sup> & David Robson<sup>1</sup>

COTPC  
2018

*Wing morphology in Robin Erithacus rubecula populations with different migratory behaviour*  
Robin populations in Catalonia exhibit different types of migratory behaviour; the most migrant populations have larger and more pointed wings, and more convex wing tips. In the Catalan Coastal Range, birds are sedentary breeders, while in the Pyrenees breeders perform short-distance altitudinal migrations during the winter to escape harsh weather conditions. In addition, Catalonia also harbours important wintering populations of Robins from Europe, i.e. latitudinal migrants that move large distances. To understand variation in wing morphology in populations with different migratory strategies, we studied juvenile Robins from the following populations in different seasons: Catalan Coastal Range during the breeding season and in winter, the Pyrenees during the breeding season, and Illa de l'Aire (Balearic Islands) and Kvismaren (Sweden) during post-nuptial migration. We characterized these populations using the C2 (degree of wing pointedness) and the C3 (degree of wing-tip convexity) indices. We found statistically significant differences in wing morphology and, in agreement with our predictions, resident breeders had more rounded wings and more concave wing tips, while migrants from Illa de l'Aire and Kvismaren – as well as wintering birds in Catalonia – had more pointed and more convex wing tips. The latter result suggests that northern European Robins outnumber Mediterranean residents during the winter. Despite being geographically close to one another, breeders from the Catalan Coastal Range and the Pyrenees were also different, which suggests that even short migrations promote a degree of phenotypic differentiation. In conclusion, migration imposes strong selective pressures that shape wing morphology.

Key words: Robin, *Erithacus rubecula*, biometrics, migration, morphology.

<sup>1</sup> Institut Català d'Ornitologia, Nat-Museu de Ciències Naturals de Barcelona. Pl. Leonardo da Vinci, 4-5, 08019, Barcelona.

<sup>2</sup> Departament de Geografia, Universitat de Barcelona, Montalegre 6, 08001, Barcelona.

\* Corresponding author: hectorandinopol@gmail.com

Received: 16.06.19; Accepted: 27.11.19 / Edited by O. Gordo

El petirrojo *Erithacus rubecula* es una de las especies reproductoras más abundantes y ampliamente distribuidas por toda Europa (Hagemeijer & Blair 1997). Es una especie con un comportamiento migratorio que varía latitudinalmente, siendo más marcado en las poblaciones septentrionales que en las meridionales (Lack 1965, Cramp 1988, Adriaensen & Dhont 1990). La principal zona de invernada de las poblaciones norteñas se sitúa en la cuenca mediterránea (Cramp 1988), donde los medios forestales se

convierten en importantes lugares de invernada (Tellería *et al.* 2001a).

En Cataluña, el petirrojo es especialmente abundante como reproductor en el Pirineo, Prepirineo, Cordilleras Transversales y buena parte de las Cordilleras Litorales Centrales (Estrada *et al.* 2004). Como invernante, en cambio, es prácticamente testimonial en las zonas montañosas del interior, ocupando principalmente durante este periodo del año la franja litoral, incluida la Cordillera Litoral Central y siendo abundante

incluso en ambientes urbanos y periurbanos (Herrando *et al.* 2011).

Se han realizado trabajos descriptivos a nivel europeo sobre cómo se distribuyen en invierno las poblaciones de passeriformes que ocupan diferentes áreas geográficas durante la reproducción, si bien sólo se trata de pinceladas basadas en unas pocas capturas y recapturas de ejemplares anillados (Alerstam 1990). No obstante, posiblemente el petirrojo es una de las especies en la que la información es más completa, existiendo estudios sobre la migración latitudinal tanto a nivel del centro y norte de Europa (Lack 1965, Adriaensen 1988, Korner-Nievergelt *et al.* 2014, Ambrosini *et al.* 2016) como de la península Ibérica (Bueno 1998, Herrando *et al.* 2011). El conocimiento, sin embargo, de las particularidades de la migración altitudinal es mucho más escaso, sobre todo en el ámbito peninsular (Arizaga *et al.* 2010). El escaso marcaje de poblaciones de montaña en la Península, añadido al hecho de que el tamaño de estas poblaciones es pequeño en relación a las provenientes del centro y norte de Europa en invierno, reduce la probabilidad de su recaptura, lo que representa un hándicap importante para conocer los movimientos altitudinales de las especies forestales en la península Ibérica.

Teniendo en cuenta la gran heterogeneidad ambiental existente en Cataluña, donde en pocos kilómetros se puede pasar de ambientes propios de latitudes más norteñas (p. ej., en Pirineos y Prepirineos) a otros hábitats puramente mediterráneos, sería esperable la existencia de poblaciones de petirrojos con diferentes comportamientos migratorios. El comportamiento migratorio de las especies forestales en la península Ibérica, sobre todo en el caso de las zonas montañosas, parece mostrar una realidad compleja (de la Hera *et al.* 2014). Existen evidencias que muestran que las especies con una tendencia migratoria más acusada poseen unas características morfológicas de los elementos del sistema de vuelo que les permiten ser más eficientes en viajes largos (Lockwood *et al.* 1998). Estos elementos están modulados en relación a las necesidades en cuanto a maniobrabilidad y sustentación del vuelo, de forma y manera que se optimizan en función de sus necesidades energéticas (Fiedler 2005). Son diversos los estudios que han demostrado cómo alas más largas y puntiagudas, combinadas con colas más cortas, permiten

una mayor eficiencia en el vuelo y son típicas de especies altamente migradoras (Lockwood *et al.* 1998, Fiedler 2005). Por contra, las especies con un comportamiento sedentario requieren una mayor maniobrabilidad, por lo que presentan alas más cortas y redondeadas combinadas con colas más largas (Lockwood *et al.* 1998, Pérez-Tris & Tellería 2001, Fiedler 2005). Estas diferencias en los elementos de vuelo también han podido constatarse a nivel intraespecífico entre poblaciones con comportamientos migratorios diferenciados, como el escribano palustre *Emberiza schoeniclus*, la curruca capirotada *Sylvia atricapilla* o el pechiazul *Luscinia svecica* (Copete *et al.* 1999, Pérez-Tris & Tellería 2001, Fiedler 2005, Arizaga *et al.* 2006, 2012).

Son escasos los estudios que aporten información suficientemente detallada sobre la migración y la invernada del petirrojo en el norte de la península Ibérica, especialmente en lo relativo a la fenología y la biometría de los individuos (Arizaga *et al.* 2010). Estudios realizados en el norte y en la zona del levante peninsular muestran que en el caso de las zonas montañosas de la península Ibérica las poblaciones reproductoras son prácticamente sustituidas en invierno por ejemplares provenientes de otras regiones geográficas (Domínguez *et al.* 2007, Campos *et al.* 2011, de la Hera *et al.* 2014), sustitución que no es tan elevada en zonas más bajas (Campos *et al.* 2011).

El objetivo de este estudio fue verificar si poblaciones de petirrojos que presentan comportamientos migratorios diferentes (migración de larga distancia vs migración de corta distancia) mostraron diferencias morfológicas cuantificables mediante la toma de datos biométricos de ejemplares capturados rutinariamente en campañas de anillamiento. La existencia de diferencias morfológicas permitiría determinar el origen geográfico de las poblaciones, sin necesidad de recurrir a técnicas de análisis más sofisticadas, como los isótopos estables en pluma (de la Hera *et al.* 2017a).

## Material y Métodos

### Área de estudio

Los muestreos se llevaron a cabo en cuatro localidades donde existen poblaciones de petirrojo con un comportamiento migratorio diferenciado.

El estudio sobre los ejemplares residentes se llevó a cabo en el Parc Natural del Montnegre i el Corredor, en el sector central de la Cordillera Litoral Catalana. Esta zona presenta unas densidades de petirrojos muy elevadas en la época reproductora (Estrada *et al.* 2004) y también es una zona especialmente importante en la invernada de la especie en Cataluña (Herrando *et al.* 2011). Durante los años 1996-1998 y 2010-2018 se capturaron 313 petirrojos en la estación de anillamiento de Ca l'Arenes (41°37'13"N 2°27'42"E). Las jornadas de anillamiento se llevaron a cabo entre mayo y agosto en época reproductora (192 individuos) y del 15 de diciembre a febrero durante la invernada (121 individuos), siempre durante las primeras seis horas del día usando un total de 120 m lineales de red (ICO 2006). La fenología de las capturas permite asegurar que los ejemplares capturados en primavera-verano pertenecen a la población local, porque en la zona de estudio la llegada de petirrojos migrantes no comienza hasta finales de septiembre (Andino *et al.* 2005). Además, se puede asumir el comportamiento residente de dicha población local reproductora debido a la falta de recuperaciones fuera de la zona de estudio.

Durante los años 1997-2003, 2005 y 2007 se capturaron 124 petirrojos en la periferia del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Pirineos), en la zona de la Mata de València (42°38'14"N 1°04'15"E), durante la primera quincena del mes de agosto. El objetivo fue capturar ejemplares nacidos en la zona, antes de que la abandonasen y pasasen los primeros migrantes. Normalmente se utilizaron 162 m lineales de red durante un total de 46 horas de esfuerzo por año.

Illa de l'Aire (39°48'05"N 4°17'23"E) es un pequeño islote de 34 ha situado a un kilómetro escaso de la costa meridional de Menorca. Durante la tercera semana de octubre de 2016, se tomaron medidas a 363 ejemplares capturados allí. Todos estos petirrojos son migradores de larga distancia, ya que la especie es un reproductor anecdótico en las Baleares (R. Escandell com. pers.) y las recuperaciones demuestran la importancia de estas islas como lugar de paso de ejemplares que se dirigen a África a pasar el invierno.

En Suecia, se capturaron 26 individuos en la Nature Reserve Kvismaren (59°10'26"N

15°23'01"E) durante los primeros días de septiembre de 2012. Aunque algunos petirrojos pasan el invierno en el sur de la península escandinava (Lundevall & Bergström 1988), la gran mayoría de la población es migradora, dirigiéndose en un elevado porcentaje a la cuenca mediterránea a pasar el invierno (Korner-Nievergelt *et al.* 2014).

### *Metodología de campo*

A los individuos con primarias juveniles (edad en código EURING 3 o 5) se les midió la longitud de la cuerda alar máxima (método 3 descrito por Svensson 1996) y la longitud de las ocho primarias distales, ignorando la vestigial. Todas las medidas se realizaron con una regla metálica (precisión 0,5 mm) y fueron realizadas siempre por uno de los autores (HA) para favorecer una mayor repetibilidad de las medidas. Utilizamos la longitud de las primarias frente a la distancia entre la punta del ala y cada una de ellas por ser más precisa y tener un menor error asociado (Lockwood *et al.* 1998, Arizaga *et al.* 2006). Se escogieron únicamente aves con plumaje juvenil para eliminar la variabilidad debida a la edad (Fiedler 2005, Arizaga *et al.* 2012, Gordo *et al.* 2016). Además, se excluyeron los ejemplares de segundo año (edad EURING 5) en el caso de las capturas en época reproductora para evitar el posible efecto del desgaste del plumaje, así como la posible presencia de ejemplares reclutados de otra zona.

### *Análisis de datos*

Se han usado los índices C2 y C3 para simplificar matemáticamente la geometría alar de los individuos (Lockwood *et al.* 1998). El índice C2 se basa en la longitud de las ocho primarias más distales descartando la vestigial y determina el grado de redondez del ala (Lockwood *et al.* 1998). Los valores más bajos del índice corresponden a alas con una menor redondez y, por tanto, indicarían una mayor tendencia a migrar (Lockwood *et al.* 1998). Por otro lado, el índice C3, basado en las mismas medidas, cuantifica el grado de convexidad de la punta del ala. Valores elevados determinan mayor convexidad y, por tanto, una mayor tendencia a migrar (Lockwood *et al.* 1998). Para comprobar que los valores de C2 y C3 realmente midieron la forma del ala, se realizó

**Tabla 1.** Longitud alar de los petirrojos capturados en las localidades de estudio. Se muestra la media, desviación (SD) y error estándar (SE).*Wing length in Robins trapped at the study sites. Mean, standard deviation (SD) and standard error (SE) are shown.*

Localidad / Site	n	Media / Mean	SD	SE
Pirineos / Pyrenees	124	72,524	1,693	0,152
Cordillera Litoral invierno / Catalan Coastal Range winter	120	72,329	1,906	0,174
Cordillera Litoral verano / Catalan Coastal Range summer	189	72,463	1,856	0,135
Suecia / Sweden	26	72,962	1,649	0,323
Illa de l'Aire	363	72,152	2,338	0,123

una representación gráfica de las diferencias morfológicas de las alas entre las cinco poblaciones analizadas usando la biblioteca lsmmeans de R (Russell 2016). Para comparar los valores de los índices C2 y C3, así como los valores de longitud alar, y determinar posibles diferencias entre localidades de captura de dichas variables, se aplicó ANOVA de un factor y el test post hoc de Tuckey. Previamente a los análisis verificamos la homogeneidad de varianzas mediante el test de Levene, que no resultó significativo para C2 ( $p = 0,151$ ) ni C3 ( $p = 0,496$ ).

## Resultados

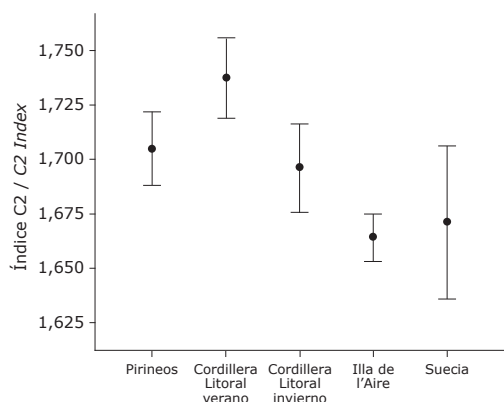
La longitud del ala no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las cinco poblaciones ( $F_{4,817} = 1,759$ ,  $p = 0,135$ ; Tabla 1). Sí se observaron, en cambio, diferencias significativas en los valores de C2 ( $F_{4,4823} = 14,777$ ,  $p < 0,001$ ; Figura 1). El test post hoc reveló diferencias entre los valores de Pirineos y Illa de l'Aire ( $p = 0,003$ ), los invernantes de la Cordillera Litoral con los nidificantes ( $p = 0,011$ ) y con los de Illa de l'Aire ( $p = 0,043$ ); los nidificantes de la Cordillera Litoral con los nidificantes suecos ( $p = 0,032$ ) y los migradores de la Illa de l'Aire ( $p < 0,001$ ). En cuanto al valor de C3, hubo diferencias significativas ( $F_{4,4823} = 15,672$ ,  $p < 0,001$ ; Figura 2). El test post hoc mostró diferencias de los individuos de los Pirineos con los invernantes de la Cordillera Litoral ( $p < 0,001$ ), Suecia ( $p = 0,023$ ) y Illa de l'Aire ( $p < 0,001$ ). Los invernantes con los nidificantes de la Cordillera Litoral también presentaron diferencias significativas ( $p = 0,002$ ). Asimismo, los valores difirieron significativamente en la población de nidificante en la Cordillera Litoral con la población de Suecia ( $p < 0,001$ ).

La representación gráfica de la morfología del ala de las cinco poblaciones de petirrojos estudiados (Figura 3) mostró, en concordancia con los resultados anteriores, que los individuos de Pirineos y la Cordillera Litoral reproductores tuvieron las alas más redondeadas y con un extremo menos puntiagudo.

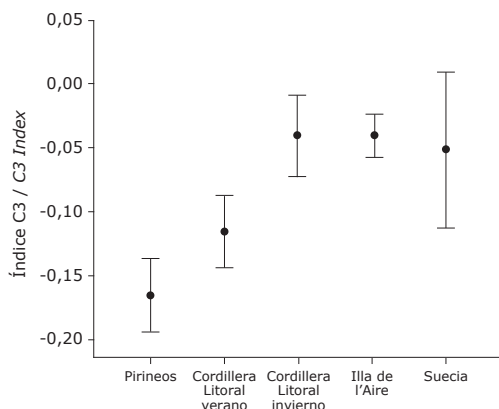
## Discusión

La morfología alar de los petirrojos dependió del comportamiento migratorio, con unas alas más puntiagudas y convexas en las poblaciones más migradoras. Estos resultados encajan con estudios previos, que han demostrado que individuos con alas más puntiagudas y convexas son más eficientes a la hora de realizar vuelos de larga distancia (Yong & Moore 1994, Lockwood *et al.* 1998, Pérez-Tris & Tellería 2001, Fiedler 2005, Arizaga *et al.* 2006), lo que les proporcionaría una clara ventaja competitiva.

Las poblaciones estudiadas en Illa de l'Aire y Suecia fueron prácticamente idénticas en todos los índices morfométricos utilizados, por lo que se puede concluir que deben tener un comportamiento migratorio muy parecido. Por tanto, parece plausible que muchas de las aves que pasan en migración por las Baleares hacia África provengan de Escandinavia (Korner-Nievergelt *et al.* 2014, Ambrosini *et al.* 2016). Estas poblaciones migratorias de larga distancia contrastan con las poblaciones capturados en la Cordillera Litoral durante la época reproductora y con las de los Pirineos por unos valores del índice C2 (que muestra el grado de redondez del ala) menores y unos de C3 (que muestra el grado de convexidad del ala) mayores, mostrando una mayor adaptación a vuelos de larga distancia (Lockwood *et al.* 1998).



**Figura 1.** Valor promedio del índice C2 de las poblaciones de petirrojo estudiadas. Las barras de error muestran el intervalo de confianza al 95%.  
*Mean value of the C2 index in the studied Robin populations. Error bars show the 95% confidence interval.*

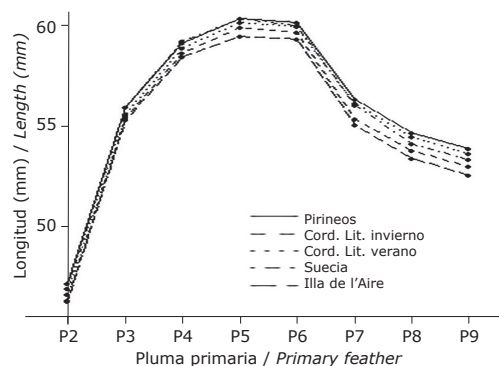


**Figura 2.** Valor promedio del índice C3 de las poblaciones de petirrojo estudiadas. Las barras de error muestran el intervalo de confianza al 95%.  
*Mean value of the C3 index in the studied Robin populations. Error bars show the 95% confidence interval.*

A pesar de la reducida distancia geográfica existente entre las poblaciones reproductoras de la Cordillera Litoral y los Pirineos, también existieron diferencias morfológicas en los elementos de vuelo. Los individuos de los Pirineos presentaron alas más puntiagudas que los de la Cordillera Litoral. A diferencia de otros estudios realizados en la península Ibérica (Tellería *et al.* 2001a), no se han encontrado diferencias significativas en la longitud de las alas de los petirrojos de las zonas montañosas (Pirineos) y zonas litorales (Cordillera Litoral Central). Por el contrario, los valores del índice C3 de la población pirenaica fueron inferiores a lo esperado, ya que estuvieron muy por debajo de los de la Cordillera Litoral, cuando debería ser al revés, si atendemos a su comportamiento migratorio. Las especies dispersivas suelen presentar unos valores del índice C3 inusualmente bajos (Lockwood *et al.* 1998). Podría ser que las poblaciones de los Pirineos estén funcionando como zonas fuente de individuos reproductores y, por tanto, donde predomine la dispersión a larga distancia. Así, en años con una elevada tasa de reproducción, los petirrojos pirenaicos podrían reforzar poblaciones situadas lejos de su lugar de nacimiento. Esto encajaría con la única recuperación de la población estudiada en los Pirineos: un individuo marcado como juvenil en el 2002 que fue recapturado en las estribaciones de la Sierra de Guadarrama (Madrid) como reproductor tres años después. Sin embargo, no existen recuperaciones de los

individuos marcados en la Cordillera Litoral en época reproductora fuera de la zona de estudio, lo que indicaría unos movimientos dispersivos sumamente reducidos en esta población. Cabe destacar que la actividad de anillamiento en los alrededores de la ciudad de Barcelona es muy intensa (GCA 2001) y, por tanto, podría descartarse que esta falta de recuperaciones se deba a un problema de falta de muestreo.

Aunque no se observaron diferencias significativas en cuanto a la longitud del ala de las poblaciones reproductoras e invernantes de la Cordillera Litoral, hecho que difiere a lo observa-



**Figura 3.** Representación de la forma del ala de los petirrojos en función de la población analizada. La P2 corresponde a la pluma más externa.  
*Wing morphology in Robins from each studied population. P2 is the outermost wing feather.*

do en zonas montañosas del levante peninsular (Domínguez *et al.* 2007), si existieron, en cambio, claras diferencias en la forma. Tal y como cabía esperar, los individuos presentes en invierno tuvieron alas más puntiagudas y convexas, indicios de un comportamiento más migrador y, por tanto, de un probable origen lejano. Por contra, las diferencias existentes también en la morfología alar entre la población invernante en la Cordillera Litoral y la migrante de la Illa de l'Aire, sugiere que en la Cordillera Litoral en invierno podría producirse una mezcla de individuos locales con migrantes provenientes del norte del continente, de manera similar a lo que se observa en otras localidades montañosas del norte peninsular (Campos *et al.* 2011, de la Hera *et al.* 2014). Esta afirmación se ve reforzada por los datos obtenidos del proyecto *Sylvia* en la zona, que demuestran que el número de individuos recapturados que pueden ser considerados residentes apenas supera el 3% de los ejemplares recuperados en invierno siguiendo el método descrito por de la Hera *et al.* 2014 (datos pers.). Debido a que no existen recuperaciones de ejemplares locales fuera de nuestra zona de estudio de Ca l'Arenes, tal y como se indicó anteriormente, es difícil proponer una hipótesis sobre qué hacen durante el invierno. En base a su morfología alar, no parece probable que se desplacen a distancias lejanas, ya que la forma de sus alas no favorece un vuelo eficiente (Lockwood *et al.* 1998). Pudiera ser que parte de la población reproductora de la Cordillera Litoral se desplace en invierno a zonas próximas bajas cercanas a la costa, quedando ocupadas por ejemplares migrantes estas zonas montañosas algo más elevadas, húmedas y forestales, de forma parecida a lo observado en el noroeste peninsular (Campos *et al.* 2011). Otra explicación, no excluyente con la anterior, tendría que ver con la existencia de una segregación por hábitats entre las poblaciones de petirrojo en las zonas de invernada ibéricas según su origen (Tellería *et al.* 2001b, 2004; Catry *et al.* 2016, de la Hera *et al.* 2017b). Así, los ejemplares locales ocuparían las zonas más forestales, mientras que los migrantes ocupan zonas *a priori* no tan favorables para la especie, si bien parece que estarían mejor adaptados para alimentarse en ellas (Catry *et al.* 2016). En invierno el tamaño de los territorios de los petirrojos se reduce (Lack 1965) y la caracterización de la vegetación próxima a buena parte de las redes de la estación de

anillamiento muestra que se trata de estructuras donde predomina el estrato arbustivo o herbáceo. Este hecho podría explicar el bajo número de recuperaciones de ejemplares residentes en invierno, ya que las zonas cercanas a las redes se encontrarían ocupadas por ejemplares migrantes, quienes, como hemos apuntado anteriormente, están mejor adaptados a alimentarse en ellas (Catry *et al.* 2016).

Las hembras de petirrojo son más pequeñas que los machos, lo que se traduce en diferencias morfológicas en el ala entre sexos (Cramp 1988). Por desgracia, los sexos no pueden distinguirse *de visu* ni mediante su biometría (Gordo *et al.* 2016), por lo que la comparativa entre poblaciones se complica, pudiendo llegar a estar sesgada al no controlar por el sexo de los individuos estudiados (Ellrich *et al.* 2010, de la Hera *et al.* 2017a). Esto no sería un problema grave si las poblaciones analizadas estuviesen compuestas por una misma proporción de machos y hembras y, por tanto, donde una muestra aleatoria de individuos capturados estaría representada por igual por ambos sexos. Sin embargo, hay motivos para pensar que esto no ha sido así en todas las poblaciones estudiadas. Las hembras tienen una mayor predisposición a migrar que los machos (Lack 1965, Adriaensen & Dhont 1990), lo que justificaría porqué, en contra de lo esperable, la longitud alar en la Cordillera Litoral en invierno y en Illa de l'Aire fue la más pequeña. En ambos lugares, es muy probable que la mayoría de ejemplares fuesen hembras, lo que reduciría la media, pese a que sean de origen centro y norte europeo, donde los individuos son más grandes que en el mediterráneo (Cramp, 1988). Por tanto, si la población está sesgada hacia las hembras, la media de la longitud alar será inferior a la de poblaciones con unos porcentajes de sexos más equilibrados, imposibilitándonos la detección de las diferencias morfológicas esperables por su comportamiento migratorio. Este hecho también podría explicar que en la representación gráfica de las alas de las poblaciones estudiadas (Figura 3), pareciera que la población estudiada en Suecia, que debería tener las alas más puntiagudas y convexas, no sea así. De hecho, esto junto a la gran longitud alar observada en los pocos ejemplares capturados allí, nos permite sugerir que aquella muestra posiblemente estuvo sobrerrepresentada por machos. Como los machos de las poblaciones

norteñas tienen menos tendencia a migrar, eso explicaría su morfología alar.

Otro posible sesgo a considerar en nuestro estudio es el relacionado con los periodos de muestreos realizados en cada una de las poblaciones. Es difícil predecir cómo ha podido afectar a nuestros resultados, pero cabe esperar que los datos morfológicos estimados para aquellas poblaciones muestreadas durante más tiempo, como las de Pirineos o la Cordillera Litoral, sean más representativos de dichas poblaciones. Se ha demostrado que la morfología alar puede variar entre años en aves migratorias (Gordo *et al.* 2016), del mismo modo que los ejemplares capturados durante unos pocos días durante el paso migratorio pueden estar fuertemente sesgados hacia un sexo, edad u origen como resultado de las condiciones ambientales imperantes en aquellos momentos o de las peculiaridades migratorias o fenológicas de cada uno de esos grupos.

En conclusión, nuestro estudio demuestra que existen diferencias en la morfología alar en función del comportamiento migratorio. Incluso, dos poblaciones tan próximas como las reproductoras de los Pirineos y la Cordillera Litoral presentan ligeras diferencias morfológicas acordes con pequeñas diferencias en sus movimientos migratorios. En base a los datos morfológicos obtenidos parece que la composición poblacional de petirrojos en la Cordillera Litoral entre invierno y verano es claramente distinta. La población invernal parece formada por algunas aves residentes (tenemos recapturas que así lo demuestran) y un grueso de aves de origen norte y centro europeo, aunque tampoco se pueda descartar la presencia de ejemplares que provengan de los Pirineos. Nuestros resultados podrían completarse mediante aproximaciones alternativas, como el análisis de isótopos estables en pluma o el uso de geolocalizadores (Bridge *et al.* 2013, Hobson & Wassenaar 2019), para determinar el porcentaje de individuos invernantes en la Cordillera Litoral que no son nidificantes residentes.

## Agradecimientos

La Diputació de Barcelona, órgano gestor del espacio protegido del Parc del Montnegre i el Corredor, autorizó la realización de las capturas. La Escola de Natura del Corredor, con Joan Manel Riera a la cabeza, permitió el uso de sus instalaciones para el

trabajo en Ca l'Arenes durante todos estos años. La dirección del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici autorizó y colaboró en los trabajos de campo que se realizaron en la Mata de València. El SOM (Societat Ornitològica de Menorca), y en especial Raül Escandell, nos permitió colaborar en la campaña de estudio de la migración postnupcial que realizan en la Illa de l'Aire. Los responsables de la estación biológica de Kvismaren y el personal que realizaba la campaña de anillamiento colaboraron en todo momento en la realización del estudio. A todos aquellos que, en un momento u otro, han estado colaborando en las sesiones de campo de anillamiento de petirrojos en Ca l'Arenes y en la Mata de València, especialmente a Joan Grajera por su apoyo e interés en el estudio. Óscar Gordo realizó una exhaustiva revisión del trabajo, realizando valiosas aportaciones que mejoraron el manuscrito inicial y dos revisores anónimos hicieron comentarios de elevado interés que también permitieron mejorarlo.

## Resum

### Morfologia alar en poblacions de pit-roig *Erithacus rubecula* amb diferent comportament migratori

Les ales dels ocells tendeixen a ser més llargues, més apuntades i amb la punta més convexa com més migratòria és una població. A Catalunya, hi ha poblacions de pit-roig amb diferent comportament migratori. A la Serralada Litoral Central hi ha poblacions reproductores residents, mentre que les poblacions reproductores dels Pirineus fan petits moviments altitudinals durant l'hivern per fugir de les condicions rigoroses a l'alta muntanya. Al mateix temps, Catalunya acull una important població hivernal provinent d'Europa (migrants latitudinals de llarga distància). Per entendre la variació en la morfologia alar de poblacions amb diferent estratègia migratòria, vam estudiar pit-rojos de primer any capturats a diferents poblacions i moments de l'any: Serralada Litoral Central en època reproductora i hivernal, Pirineus en reproducció, i a l'Illa de l'Aire (Illes Balears) i a Suècia (Kvismaren) durant la migració postnupcial. Vam caracteritzar les poblacions mitjançant dues variables: l'índex C2 (quantifica com de punxeguda és l'ala) i l'índex C3 (quantifica el grau de convexitat de la punta de l'ala). Vam trobar diferències estadísticament significatives en els patrons de la morfologia alar entre poblacions. D'acord amb les nostres prediccions, els reproductors residents van mostrar ales més arrodonides i còncaves, mentre que els hivernants i els capturats a l'Illa de l'Aire i Suècia presentaven ales més allargades i convexes. Aquest resultat suggereixen que els individus provinents del nord d'Europa superen en nombre a l'hivern als

residentes en la conca mediterrània. Els reproductors de la Serralada Litoral Central i els Pirineus també mostraren diferències significatives malgrat que totes dues poblacions es troben molt a prop. Per tant, fins i tot migracions curtes altitudinals poden promoure diferències fenotípiques detectables. En conclusió, la migració imposa fortes pressions que modulen de manera acurada la morfologia de les ales dels ocells en funció del seu comportament migratori.

## Resumen

### Morfología alar en poblaciones de petirrojo *Erithacus rubecula* con diferente comportamiento migratorio

Las alas de las aves tienden a ser más largas, más puntiagudas y con su punta más convexa cuanto más migrante es una población. En Cataluña hay poblaciones de petirrojos con un comportamiento migratorio diferenciado. En la Cordillera Litoral Central hay poblaciones reproductoras residentes, mientras que las poblaciones que crían en los Pirineos realizan cortos movimientos altitudinales durante el invierno para huir de las condiciones rigurosas en la alta montaña. Al mismo tiempo, Cataluña acoge una importante población invernal que proviene de Europa (migrantes latitudinales de larga distancia). Para entender la variación en la morfología alar de poblaciones con diferente estrategia migratoria, estudiamos petirrojos de primer año capturados en diferentes localidades y momentos del año: Cordillera Litoral Central en época reproductora y en invierno, Pirineos durante la época de cría, y en Illa de l'Aire (Islas Baleares) y Suecia (Kvismaren) durante la migración post-nupcial. Caracterizamos las poblaciones por dos variables: el índice C2 (muestra cuan puntiaguda es un ala) y el índice C3 (que marca el grado de convexidad de la punta del ala). Existieron diferencias estadísticamente significativas en los patrones de la morfología alar entre las poblaciones. En línea con nuestras predicciones, los reproductores residentes mostraron alas más redondeadas y cóncavas, mientras que los capturados en Illa de l'Aire y Suecia presentaron alas más largas y convexas. Esto sugiere que los individuos que provienen del norte de Europa superarían en número durante el invierno a los residentes en la cuenca mediterránea. Los reproductores de la Cordillera Litoral Central y de los Pirineos también mostraron diferencias significativas, aunque las dos poblaciones se encuentran muy cerca entre sí, sugiriendo que incluso cortas migraciones altitudinales pueden promover diferencias fenotípicas. En resumen, la migración impone fuertes presiones que modulan de manera precisa la morfología de las alas de las aves en función de su comportamiento migratorio.

## Bibliografía

- Adriaensen, F.** 1988. An analysis of recoveries of Robins (*Erithacus rubecula*) ringed or recovered in Belgium: Winter distributions. *Le Gerfaut* 78: 25–43.
- Adriaensen, F. & Dhondt, A.A.** 1990. Population dynamics and partial migration of the European Robin (*Erithacus rubecula*) in different habitats. *J. Anim. Ecol.* 78: 1077–1090.
- Alerstam, T.** 1990. *Bird Migration*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ambrosini, R., Cuervo, J.J., du Feu, C., Fiedler, W., Musitelli, F., Rubolini, D., Sicurella, B., Spina, F., Saino, N. & Møller, A.P.** 2016. Migratory connectivity and effects of winter temperatures on migratory behaviour of the European Robin *Erithacus rubecula*: a continent-wide analysis. *J. Anim. Ecol.* 85: 749–760.
- Andino, H., Badosa, E., Clarabuch, O. & Llebaria, C. (eds.).** 2005. *Atlas dels ocells nidificants del Maresme*. Barcelona.
- Arizaga, J., Campos, F. & Alonso, D.** 2006. Variations in wing morphology among subspecies might reflect different migration distances in Bluethroat. *Ornis Fennica* 83: 162–169.
- Arizaga, J., Alonso, D. & Barba, E.** 2010. Patterns of migration and wintering of Robins *Erithacus rubecula* in northern Iberia. *Ringing & Migration* 25: 7–14.
- Arizaga, J., Barba, E., Cantó, J.L., Cívico, J.M., Cortés, V., Greño, J.L., Herranz, J.M., Monrós, J. S., Moreno, P., Piculo, R. & Verdejo, J.** 2012. The usefulness of biometrics for the study of avian connectivity within Europe. A case study with Blackcaps *Sylvia atricapilla* in Spain. *Ardeola* 59: 75–91.
- Bridge, E.S., Kelly, J.F., Contina, A., Gabrielson, R.M., MacCurdy, R.B., & Winkler, D.W.** 2013. Advances in tracking small migratory birds: a technical review of light-level geolocation. *J Field Ornithol.* 84: 121–137.
- Bueno, J.M.** 1998. Migración e invernada de pequeños turdinos en la Península Ibérica. V. Petirrojo (*Erithacus rubecula*). *Ardeola* 45: 193–200.
- Campos, A.R., Catry, P., Tenreiro, P., Neto, J.M., Pereira A.C., Brito, R., Cardoso, H., Ramos, J.A., Bearhop, S & Newton, J.** 2011. How do Robins *Erithacus rubecula* resident in Iberia respond to seasonal flooding by conspecific migrants? *Bird Study* 58: 435–442.
- Catry, P., Campos, A.R., Granadeiro, J.P., Neto, J.M., Ramos, J., Newton, J. & Bearhop, S.** 2016. Provenance does matter: links between winter trophic segregation and the migratory origins of European robins. *Oecologia* 182: 985–994.
- Copete, J.L., Mariné, R., Bigas, D. & Martínez-Vilalta, A.** 1999. Differences in wing shape between sedentary and migratory Reed Buntings *Emberiza schoeniclus*. *Bird Study* 46: 100–103.
- Cramp, S.** 1988. *The Birds of the Western Palearctic*. Volume V. Oxford: Oxford University Press.
- De la Hera, I., Gómez, J., Andrés, T., González-Ocio, P., Salmón, P., Salvador, M. & Onrubia, A.** 2014. Inferring the migratory status of woodland birds using ringing data: the case of a constant-effort site located in the Iberian highlands. *Ardeola* 61: 77–96.



- De la Hera, I., Fandos, G., Fernández-López, J., Onrubia, A., Pérez-Rodríguez, A., Pérez-Tris, J. & Tellería, J.L.** 2017a. Stable isotope analysis reveals biases in the performance of a morphological method to distinguish the migratory behaviour of European robins *Erithacus rubecula*. *Ardeola* 64: 67-76.
- De la Hera, I., Fandos, G., Fernández-López, J., Onrubia, A., Pérez-Rodríguez, A., Pérez-Tris, J. & Tellería, J.L.** 2017b. Habitat segregation by breeding origin in the declining populations of European Robins wintering in southern Iberia. *Ibis* 160: 355-364.
- Domínguez, M., Barba, E., Cantó, J.L., López, G.M. & Monrós, J.S.** 2007. Seasonal interchange of the European Robin *Erithacus rubecula* populations in an evergreen holm oak forest. *Acta Ornithol.* 42: 15-21.
- Ellrich, H., Salewski, V. & Fiedler, W.** 2010. Morphological sexing of passerines: not valid over larger geographical scales. *J. Ornithol.* 151: 449-458.
- Estrada, J., Pedrocchi, V., Brotons, L. & Herrando, S. (eds.)** 2004. *Atlas dels ocells nidificants de Catalunya*. Barcelona: Institut Català d'Ornitologia - Lynx Editions.
- Fiedler, W.** 2005. Ecomorphology of the external flight apparatus of Blackcaps (*Sylvia atricapilla*) with different migration behavior. *Ann. NY Acad. Sci.* 1046: 253-263.
- GCA.** 2001. Report del programa Sylvia nº1. [Disponible en: [http://www.ornitologia.org/ca/quefem/monitoratge/seguiment/sylvia/report\\_sylvia\\_2000.pdf](http://www.ornitologia.org/ca/quefem/monitoratge/seguiment/sylvia/report_sylvia_2000.pdf)]
- Gordo, O., Arroyo, J.L., Rodríguez, R., & Martínez, A.** 2016. Sexing of *Phylloscopus* based on multivariate probability of morphological traits. *Ringing & Migration* 31: 83-97.
- Hagemeijer, E.J.M. & Blair, M.J. (eds.)** 1997. *The EBCC Atlas of European Breeding Birds: their distribution and abundance*. London: T & AD Poyser.
- Herrando, S., Brotons, L., Estrada, J., Guallar, S. & Anton, M. (eds.)** 2011. *Atlas dels ocells de Catalunya a l'hivern 2006-2009*. Barcelona: Institut Català d'Ornitologia - Lynx Editions.
- Hobson K.A. & Wassenaar L.I. (eds.)** 2019. *Tracing animal migration with stable isotopes*. 2nd ed. London: Elsevier.
- ICO.** 2006. *Metodologia específica del projecte Sylvia*. [Disponible en: [http://www.ornitologia.org/ca/quefem/monitoratge/seguiment/sylvia/metodologia\\_sylvia.html](http://www.ornitologia.org/ca/quefem/monitoratge/seguiment/sylvia/metodologia_sylvia.html)]
- Korner-Nievergelt, F., Liechti, F. & Thorup. K.** 2014. A bird distribution model for ring recovery data: where do the European Robins go? *Ecol. Evol.* 4: 720-73
- Lack, D.** 1965. *The life of the Robin*. London: Collins.
- Lockwood, R., Swaddle, J.P. & Rayner, J.M.V.** 1998. Avian wingtip shape reconsidered: wingtip shape indices and morphological adaptations to migration. *J. Avian Biol.* 29: 273-292.
- Lundevall C.L. & Bergström M.** 1988 *Fåglarna i Norden*. Västerås: ICA bokförlag.
- Pérez-Tris, J. & Tellería, J.L.** 2001. Age-related variation in wing shape of migratory and sedentary Blackcaps *Sylvia atricapilla*. *J. Avian Biol.* 32: 207-213.
- Russell, V.L.** 2016. Least-squares means: the R Package lsmeans. *J. Stat. Softw.* 69: 1-33.
- Spina, F., Massi, A., Montemaggiore, A. & Baccetti, N.** 1993. Spring migration across Central Mediterranean: general results from the "Progetto Piccola Isola". *Vogelwarte* 37 (Suppl): 1-94.
- Svensson, L.** 1996. *Guía para la identificación de los passeriformes europeos*. Madrid: SEO/Birdlife.
- Tellería, J.L., Pérez-Tris, J., Ramírez, A. & Carbonell, R.** 2001a. Seasonal changes in abundance and flight-related morphology reveal different migration patterns in Iberian forest passerines. *Ardeola* 48: 27-46.
- Tellería, J.L., Pérez-Tris, J., Ramírez, A., Fernández-Juricic, E. & Carbonell, R.** 2001b. Distribution of Robins *Erithacus rubecula* in wintering grounds: effects of conspecific density, migratory status and age. *Ardea* 89: 363-373.
- Tellería, J.L. & Pérez-Tris, J.** 2004. Consequences of the settlement of migrant European Robins *Erithacus rubecula* in wintering habitats occupied by conspecific residents. *Ibis* 146: 258-268.
- Yoong, W. & Moore, F.R.** 1994. Flight morphology, energetic condition, and the stopover biology of migrating thrushes. *Auk* 111: 683-692.