



Tesis del MNCN

Behaviour in Mediterranean blue tits: drivers and implications

Adara Contreras Velasco
Universidad Autónoma de Madrid
Directores: Juan José Sanz
Mayo del 2023

Las presiones evolutivas ligadas a la eficacia biológica conducen al desarrollo y a la diversificación del comportamiento animal favoreciendo o penalizando ciertos rasgos. A su vez, el comportamiento individual puede afectar a la eficacia biológica si ciertos fenotipos tienen ventaja en términos de reproducción o supervivencia. En esta tesis exploramos, por un lado, los mecanismos que contribuyen al desarrollo de fenotipos comportamentales en animales y, por otro, el papel del comportamiento como promotor de procesos de especialización.

En el primer artículo exploramos la agresividad entre machos. Para nuestra población de estudio definimos tres estrategias de defensa del territorio con distintos riesgos: Una estrategia combativa definida por ataques directos sobre un señuelo, una estrategia intimidatoria basada en vuelos agresivos, aproximaciones y señalizaciones del nido, y una estrategia precavida basada en un aumento del número de movimientos y vocalizaciones. Descubrimos que los machos jóvenes (un año de edad) mostraban estrategias

Adaptación del test de comportamiento *Novel Environment* utilizado para obtener el comportamiento exploratorio *in situ* de los herrerillos (*Cyanistes caeruleus*) de las poblaciones estudiadas/ A. C. Velasco



intimidatorias más frecuentemente que los machos mayores, los cuales mostraron estrategias precavidas más frecuentemente que los jóvenes. Este estudio, además, proporciona resultados sobre cómo la calidad del territorio y la estructura del hábitat pueden contribuir a modular el tipo de estrategia de defensa del territorio.

El segundo artículo de esta tesis describe diferencias intersexuales en el comportamiento exploratorio y explora mecanismos potenciales de su selección heterogénea. Los machos del área de estudio son exploradores más lentos que las hembras. Esto es interesante porque 1) sugiere que las presiones evolutivas actúan de manera diferente para los sexos y 2) debe existir una erosión de los fenotipos rápidos en los machos. En este artículo exploramos mecanismos que podrían favorecer a los machos lentos sobre los

rápidos. Analizando los parámetros reproductivos y de supervivencia observamos que los nidos con machos lentos tuvieron periodos de incubación menores, y que reclutaron marginalmente más descendencia que los rápidos.

Por último, el tercer artículo presentado en esta tesis explora el papel del comportamiento exploratorio sobre la especialización individual en la dieta. Evaluando el comportamiento exploratorio y grabando la actividad de aprovisionamiento en los nidos exploramos la relación entre estas variables. Nuestros resultados revelan que la selección de presas, en el caso de las hembras, depende tanto del comportamiento exploratorio, como de la frecuencia de aprovisionamiento de los machos. Además, existe una tendencia que indica que los machos que exploran más rápido obtienen orugas mayores en tamaño, pero ali-



mentan a sus crías con menos frecuencia que los machos más lentos.

Como conclusión, en las poblaciones estudiadas existe una selección heterogénea del comportamiento para ambos sexos. En general, machos menos agresivos y lentos son favorecidos en estas poblaciones. Se ha observado que los individuos con rasgos comportamentales más “lentos” son más adaptables que los individuos de rasgos “rápidos”. Por ello, nuestros resultados sugieren que la selección de rasgos “lentos” en nuestra población podría ser consecuencia de una exposición a un ambiente cambiante.

Comparación entre hábitats de los efectos a corto, medio y largo plazo de una exposición crónica a amonio durante la fase larvaria de la rana común (*Pelophylax perezi*)

Sonia Zambrano Fernández

Universidad de Málaga

Directores: Francisco Javier Zamora Camacho y Pedro Aragón Carrera

Marzo del 2023

El cambio global afecta particularmente a las áreas sometidas a mayor presión antrópica, como son los agrosistemas. Algunos taxones son especialmente vulnerables ante los efectos de los estresores propios de estos hábitats. Entre los vertebrados, la conservación de los anfibios es particularmente preocupante debido al declive global que afecta a sus poblaciones, ligado a fe-

Ejemplar de rana común, *Pelophylax perezi*, fotografiado por Francisco Javier Zamora Camacho.



nómenos frecuentes en los agrosistemas, como la contaminación.

En este contexto, esta tesis explora los efectos de una exposición crónica al amonio, un fertilizante común en agrosistemas, durante la fase larvaria de la rana común (*Pelophylax perezi*) sobre la supervivencia, el crecimiento, la morfología y la locomoción de las fases larvarias y postmetamórficas hasta la edad adulta, sobre la aparición de anomalías morfológicas, y sobre la respuesta inmunitaria de los adultos, comparando ejemplares de pinar y de agrosistema. Se prevén efectos negativos de la exposición al amonio en todos los

factores enumerados pero, si se ha desarrollado tolerancia, dichos efectos podría ser menores en los ejemplares provenientes de agrosistema.

Para este fin, se criaron huevos de padres procedentes de ambos hábitats, con o sin cloruro de amonio. Se hizo un seguimiento de las tasas de eclosión, de supervivencia semanal, morfología y desempeño locomotor de las larvas. En el momento de la metamorfosis, se contó cuántos metamórficos procedentes de cada réplica mostraban anomalías morfológicas en sus extremidades posteriores. Además, se midió la morfología y el desempeño locomotor de estos individuos





como metamórficos, juveniles, subadultos y adultos. Finalmente, se sometió a los adultos al test de la fitohemoaglutinina, una proteína inocua que causa una inflamación a nivel local cuya magnitud es directamente proporcional a la intensidad de la respuesta inmune celular.

El amonio no afectó a la eclosión en ningún caso, pero sí a la supervivencia temprana de los renacuajos. Esto causó una menor densidad poblacional, que a su vez aceleró el crecimiento y el desarrollo. El amonio también causó directamente un mayor tamaño corporal. Por su parte, la locomoción se vio afectada negativamente por el amonio solo en los renacuajos de los pinares.

En el momento de la metamorfosis, no se encontró que las anomalías morfológicas fueran más frecuentes en los ejemplares sometidos a amonio. No obstante, el tratamiento afectó a la morfología y locomoción de las fases postmetamórficas, pero los patrones variaron de forma inconsistente según el hábitat de procedencia. Esto podría deberse a diferencias en crecimiento compensatorio, costes atrasados, o a efectos del sexo no detectados antes de la etapa adulta.

Finalmente, la exposición al amonio durante la etapa larvaria de esta rana generó costes en la capacidad de los adultos de mostrar una respuesta inmune inflamatoria a la fitohemoaglutinina. Sin embargo, ese efecto solo se detectó en los machos. Este resultado está alineado con la hipótesis del hándicap de la inmunocompetencia, que postula que la testosterona desvía energía hacia rasgos que mejoran la reproducción, a cos-

ta de la función inmunológica, lo que hace que los individuos con más testosterona (los machos) sean más vulnerables a los patógenos y parásitos.

Esta tesis podría servir de referencia para especies de anuros generalistas.

Una aproximación integral al estudio de la dispersión en anfibios / An integrative approach to the study of amphibian dispersal

Ismael Reyes Moya
Universidad Complutense de Madrid

Directores: Íñigo Martínez Solano
Marzo del 2023

Los anfibios son el grupo de vertebrados más amenazado globalmente, con muchas especies en peligro de extinción. La destrucción de hábitats es una de las principales causas de su declive, pues causa la fragmentación de sus áreas de distribución, reduciendo la conectividad funcional entre poblaciones e incrementando su riesgo de extinción local. Por ello, la conservación de las poblaciones de anfibios requiere el estudio de patrones de conectividad entre núcleos reproductores, un proceso condicionado por la dispersión: el movimiento de individuos en su medio natu-

ral con consecuencias en el flujo génico entre poblaciones. Lamentablemente, se desconocen aún muchos aspectos de la ecología espacial de los anfibios, incluida su capacidad de dispersión. Existen diversas aproximaciones para el estudio de la dispersión en anfibios, desde su estudio directo con técnicas de captura-marcaje-recaptura hasta el análisis de sus efectos indirectos en el acervo genético de las poblaciones mediante herramientas moleculares. La combinación de ambas aproximaciones ha sido poco explorada, pero presenta gran potencial para analizar los efectos de variables geográficas, demográficas y ecológicas en la dispersión de los anfibios y caracterizar la conectividad funcional entre poblaciones. Además, la dispersión es un proceso dependiente del contexto geográfico, por lo que su estudio requiere aproximaciones comparadas que investiguen especies sintópicas a escalas espaciales adecuadas a sus características biológicas.

En esta tesis se ha estudiado una comunidad de anfibios en un siste-

Ilustración de Ismael Reyes Mora



ma de 64 charcas en la sierra de Guadarrama a través de la combinación de datos de captura-marcaje-recaptura obtenidos durante dos años de seguimiento mediante foto-identificación y marcadores genómicos (>1000 individuos de cinco especies genotipados con miles de SNPs) para caracterizar sus patrones de dispersión a escala fina. Se integraron grafos probabilísticos de conectividad derivados de kernels de dispersión con análisis de estructura genética, estimas del flujo génico y de áreas de vecindario genético para producir una imagen detallada de la dispersión de los anfibios en el área de estudio. Se analizó el papel de variables demográficas y geográficas en la conectividad funcional, lo que permitió delimitar poblaciones y proponer acciones específicas de gestión para mejorar la conectividad. Esta tesis aporta datos novedosos sobre características básicas de la ecología espacial de los anfibios, destacando el efecto de los tamaños poblacionales locales en los patrones de conectividad funcional a escalas espaciales reducidas. Se encontraron marcadas diferencias entre especies en los patrones de conectividad, con especies como *Triturus pygmaeus* y *Epidalea calamita* que mostraron baja diferenciación genética hasta distancias de 8 Km, mientras otras como *Pelophylax perezi*, *Pleurodeles waltl* y *Lissotriton boscai* se encuentran genéticamente estructuradas a escalas espaciales más reducidas. *Pelophylax perezi* mostró una mayor conectividad genética que *P. waltl*, en consonancia con una mayor frecuencia de desplazamientos observados en *P. perezi*. La estructura genética, los grafos probabilísticos de

conectividad y las áreas de vecindario mostraron resultados consistentes, lo que permite delinear poblaciones de forma robusta a partir de evidencias independientes, así como identificar las rutas de dispersión más probables para cada especie. En general, los resultados mostraron patrones de conectividad y dispersión singulares para cada especie; estas diferencias y los factores que las condicionan deben ser considerados para el diseño de medidas efectivas de conservación.

Venomic approach to conotoxin discovery and evolution / Aproximación venómica al descubrimiento y evolución de las conotoxinas

José Ramón Pardos Blas
Universidad Complutense de Madrid
Directores: Rafael Zardoya e Iker Irisarri
Marzo del 2023

Los conos, constituyen un grupo altamente diversificado de caracoles marinos (>900 especies) que se encuentra generalmente habitando áreas intermareales de zonas tropicales y subtropicales en todo el mundo. Se caracterizan por poseer un aparato del veneno altamente especializado en producir e inyectar toxinas (conotoxinas) con un efecto neurotóxico, para cazar y defenderse de otros predadores. El veneno de los conos es de gran interés desde un punto de vista evolutivo así como una fuente potencial de nuevos fármacos.

Actualmente, es posible utilizar técnicas de secuenciación de transcriptomas para la glándula de veneno que nos permiten conocer todos los transcritos presentes en dicho tejido junto con



Pintura al óleo de la especie de caracol cono *Lautoconus ventricosus* (Gmelin, 1791) correspondiente al voucher (MNCN 15.05/92199). /María Ángeles Blas Sánchez.





su nivel de expresión. Por otro lado, la proteómica es capaz de analizar los componentes del veneno en su estado inyectable y por tanto aquellas conotoxinas que interactúan con los receptores de presas y depredadores. Junto con estas técnicas, los nuevos avances en secuenciación están permitiendo la generación de genomas a nivel cromosómico de organismos no modelo. La disponibilidad de estos genomas de alta calidad representa un hito que, junto a transcriptómica y proteómica, abren la posibilidad a estudiar la evolución del veneno desde una aproximación que se ha denominado venómica.

En esta tesis doctoral se utilizó un enfoque multidisciplinar venómico para: comprender la diversidad de conotoxinas asociada con diferentes dietas, los niveles de expresión del veneno entre especies del Atlántico e Indo-Pacífico que muestran convergencia en la dieta, analizar la expresión génica de veneno entre especies hermanas que viven en simpatria y finalmente, conocer las bases genómicas de la diversidad de conotoxinas mediante la secuenciación y análisis de un genoma de cono a nivel cromosómico. Se analizaron nuevos transcriptomas de conducto venenoso de tres especies vermívoras (*Lautoconus ventricosus*, *Virroconus ebraeus* y *Virroconus judaeus*) y una especie piscívora (*Pionoconus magus*) junto con el proteoma del conducto de *V. ebraeus* y *V. judaeus*. Con ello se catalogó la diversidad de conotoxinas en cada especie, lo que llevó al descubrimiento de siete nuevas superfamilias de conotoxinas cuya diana molecular aún se desconoce. Se encontraron

diferencias en la expresión de conotoxinas entre dos especies piscívoras, del Indo-Pacífico (*P. magus*) y Atlántico (*Chelyconus ermineus*). El análisis transcriptómico entre *V. ebraeus* y *V. judaeus* mostró diferencias significativas en los niveles de expresión de conotoxinas, así como entre los proteomas, que podrían estar asociadas a adaptaciones específicas de la dieta.

Finalmente, se secuenció el genoma a nivel cromosómico de *L. ventricosus*. El ensamblado estuvo distribuido mayoritariamente en 35 pseudocromosomas. El genoma, junto con el transcriptoma del conducto venenoso, se analizó para inferir las bases genómicas de la diversidad de conotoxinas demostrando que existe una relación de aproximadamente un gen codificante para cada conotoxina y que éstos se encuentran dispersos a lo largo de casi todos los cromosomas. Además, el nuevo ensamblado se comparó con el genoma del caenogasterópodo *Pomacea canaliculata* y se pudo confirmar la presencia de una antigua duplicación de genoma completa que podría haber jugado un papel importante en la diversificación del grupo así como de las conotoxinas.

Signals in social conflict: plasticity and negotiation of behavioural response rules

Jorge García Campa
Universidad Complutense de Madrid
Directores: Judith Morales y Wendt Müller
Marzo del 2023

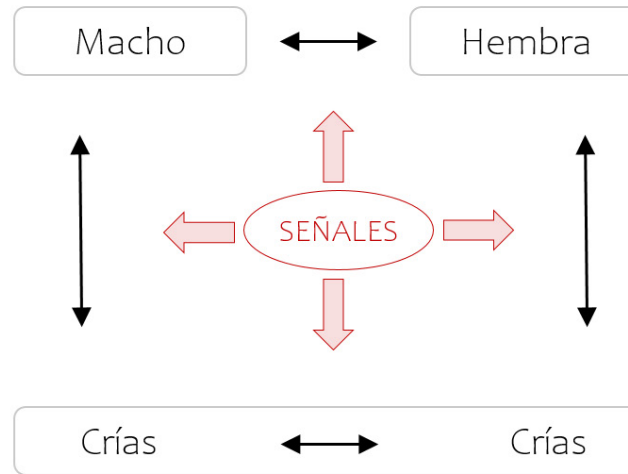
Los padres invierten en su progenie para incrementar su supervivencia y maximizar así su eficacia biológica. Sin embargo, esta capacidad de inversión en la descendencia es limitada. Esto provoca la aparición de conflictos evolutivos de interés (ej., sexual, paterno-filial y fraternal), ya que entre los miembros de la familia habría un desacuerdo por la forma en la que se distribuyen estos recursos. Pero, ¿cómo responden los miembros de la familia a los diferentes conflictos?

Los primeros modelos teóricos asumían que las estrategias de cuidado parental eran fijas. Al contrario, los modelos más recientes definen respuestas individuales según el comportamiento de la pareja o de las crías en una escala temporal breve. Estos modelos asumen que los individuos pueden negociar hasta alcanzar un acuerdo, lo que implica que sus normas de decisión pueden ser flexibles según la información disponible. La adquisición de información requiere entonces comunicación, que puede ser facilitada mediante señales informativas, ya sean estáticas (ej., plumaje) o dinámicas (ej., petición de alimento de las crías).

El objetivo de esta tesis fue (a) estudiar la flexibilidad en las estrategias de cuidado parental y cómo ésta se relaciona con los compromisos en la asignación de recursos en distintas condiciones ambientales, y (b) si las señales expresadas por los miembros de la familia modulan las estrategias de cuidado parental.

Utilizando al herrerillo común (*Cyanistes caeruleus*) como modelo de estudio, investigué



**Conflicto sexual**

Lessells 1999

Conflicto paterno-filial

Trivers 1974

Conflicto entre hermanos

O'Connor 1978

(Adaptado de Morales y Velando 2013 Anim Behav) La hipótesis que propone esta tesis es que las señales expresadas por los miembros de la familia facilitan normas de decisión flexibles (ej., negociación) sobre el cuidado parental en diferentes contextos (ej., ambiente físico o el entorno social).

si los padres ajustan el nivel de cuidado parental a la expresión de señales de calidad de sus crías, y cómo los cambios en estas señales dependen de la calidad del ambiente (ej. la disponibilidad de un recurso fundamental, la luteína, durante la puesta de los huevos) y del tamaño familiar. Mi hipótesis inicial contemplaba que los padres deberían invertir equitativamente en todas sus crías en condiciones favorables, siguiendo así una estrategia de supervivencia de toda la nidada. Al contrario, los padres deberían invertir en las crías de mayor calidad y con mayor probabilidad de supervivencia en condiciones no favorables, siguiendo así una estrategia de reducción de nidada. Este favoritismo parental podría depender de la expresión de señales de calidad en los hijos (ej.,

la coloración ultravioleta (UV) de las plumas amarillas del pecho). Este rasgo es expresado también por los padres, por lo que estudié también la función de esta coloración en herrerillos adultos, durante el cuidado parental.

Los resultados de esta tesis revelan cómo las señales expresadas por diferentes miembros de la familia favorecieron normas de decisión flexibles según el contexto (ej., la disponibilidad de recursos o el tamaño familiar). Concretamente, todos los miembros de la familia respondieron (en diferente medida) a la manipulación experimental de factores ambientales o de señales que determinan la calidad de la información en el entorno familiar. Por tanto, la expresión de señales puede

facilitar la flexibilidad y, así, la diversidad de las estrategias evolutivas durante el cuidado parental.

Historia evolutiva y demográfica del género *Asterina* (Echinodermata, Asteroidea, Asterinidae) en el Atlántico nororiental y Mediterráneo

Iván Acevedo

Universidad Complutense Autónoma de Madrid

Directores: Annie Machordom y José Templado

Abril del 2023

La pérdida de biodiversidad, causada en gran medida por la acción humana, hace imperiosa la necesidad de dedicar esfuerzos decididos para completar su conocimiento. Distintas amenazas como la sobreexplotación, la contaminación, la pérdida de hábitats, los rápidos cambios ambientales, el incremento de especies invasoras o las enfermedades emergentes, deben ser gestionadas desde el conocimiento de la fauna y flora y de las repercusiones que tales amenazas pueden causarles.

La presente Tesis contribuye a profundizar en este conocimiento tomando como objeto de estudio la historia evolutiva del género *Asterina* en el Mediterráneo y Atlántico nororiental. El estudio integra datos genéticos, morfológicos y de las

estrategias reproductoras, para delimitar unidades evolutivas independientes (especies). Con los marcadores moleculares obtenidos se ha abordado la filogenia del grupo y su filogeografía, y se ha comprobado la no monofilia de diversos niveles taxonómicos. El género *Asterina*, resultó monofilético, no así la familia Asterinidae. Los resultados apoyan en buena parte las hipótesis planteadas, de forma que, efectivamente, la diversidad del grupo estaba infravalorada, lo que ha dado lugar a la descripción de dos especies nuevas para la ciencia (*A. vicentae* y *A. martinbarriosi*), redescubriendo las anteriormente reconocidas (*A. gibbosa*, *A. pancerii* y *A. phylactica*). Los datos moleculares han permitido abordar unas inferencias filogenéticas de las que cabe destacar que varios linajes son distingui-

bles en la mayoría de las cinco especies centrales del estudio y que éstas se dividen en dos clados fuertemente apoyados [*A. gibbosa* + *A. pancerii* + *A. vicentae*] y [*A. phylactica* + *A. martinbarriosi*]. En estas dos últimas especies se ha observado comportamiento incubador de la puesta, al contrario de lo que sucede en *A. gibbosa*.

Se han datado los periodos de diversificación de estos clados, que señalan a la transición Plioceno-Pleistoceno, con los cambios climáticos acaecidos en ese periodo, como el comienzo de los procesos de especiación y de estructuración progresiva de los diferentes linajes.

Finalmente, se abordó la filogeografía y estructura genética de *A. gibbosa*. En un primer nivel del estudio, basado en la secuenciación de fragmentos mitocondriales, se detectó un cierto reparto biogeográfico de su diversidad, distinguiéndose cuatro grupos de haplotipos: 1) Canarias y suroeste de la península Ibérica; 2) noreste de la península, junto con el Mediterráneo central y oriental; 3) Atlántico norte, Cantábrico, Galicia y Estrecho de Gibraltar, y, por último, 4) el grupo más numeroso y diverso recuperado comprende el noreste de la península Ibérica y Mediterráneo central. La constatación de que ciertos individuos presentaran haplotipos característicos de otras áreas, cuando hay una aparente estructura geográfica, ha revelado la posible existencia de dispersión esporádica, a mayor escala de lo que cabría esperar por la reducida capacidad de dispersión de la especie.

Se profundizó en los estudios poblacionales de *A. gibbosa* mediante la utilización de marcadores hi-



Izquierda) *Asterina martinbarriosi*, especie recién descrita encontrada en Tenerife. Derecha) Ejemplar fotografiado en Lanzarote de *Asterina gibbosa*, una especie de amplia distribución en el Mediterráneo y el Atlántico nororiental./ Iván Acevedo





pervariables. Su mayor capacidad de detección de diversidad permitió advertir una diferenciación poblacional más delimitada, en la que prácticamente cada área o población considerada presentaba características genéticas propias. Igualmente, se puso en evidencia una considerable aportación de reproducción asexual en la mayoría de las zonas analizadas, y se apunta que probablemente no exista panmixia en las poblaciones.

Esta constatación de la identidad genética a pequeña escala, junto con la identificación de nuevas especies con rangos de distribución restringida requieren necesariamente de unas áreas marinas protegidas y la lucha contra las diferentes amenazas deben ser una prioridad para preservar estas especies y otras que comparten similares características y patrones evolutivos.

Fenotipo, prospección y rasgos de vida en los individuos flotantes de estornino negro (*Sturnus unicolor*)

Iraida Redondo García

Universidad Complutense de Madrid

Directores: Diego Gil Pérez

Marzo del 2023

Una fracción de las poblaciones animales naturales está formada por individuos sexualmente maduros que no defienden recursos reproductores y que denominamos como 'flotantes'. Su comportamiento y ecología son, por lo general, bastante desconocidos debido a la dificultad asociada con su individualización y seguimiento.

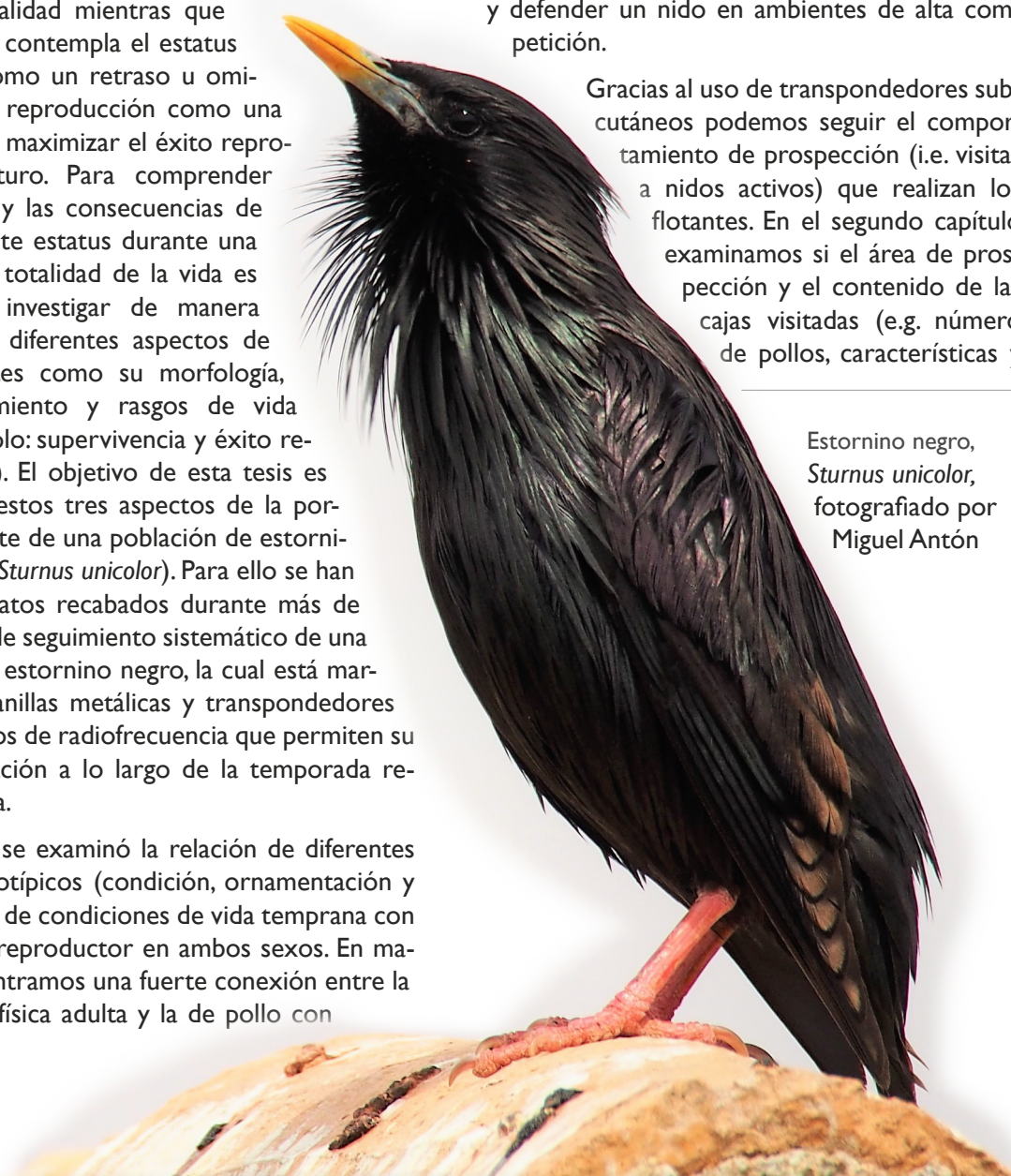
Existen dos visiones principales acerca del estatus flotante: la primera de ellas considera a los flotantes miembros subordinados y/o de peor calidad mientras que la segunda contempla el estatus flotante como un retraso u omisión de la reproducción como una manera de maximizar el éxito reproductor futuro. Para comprender las causas y las consecuencias de adquirir este estatus durante una parte o la totalidad de la vida es necesario investigar de manera integrativa diferentes aspectos de los flotantes como su morfología, comportamiento y rasgos de vida (por ejemplo: supervivencia y éxito reproductor). El objetivo de esta tesis es investigar estos tres aspectos de la porción flotante de una población de estornino negro (*Sturnus unicolor*). Para ello se han utilizado datos recabados durante más de diez años de seguimiento sistemático de una colonia de estornino negro, la cual está marcada con anillas metálicas y transpondedores subcutáneos de radiofrecuencia que permiten su monitorización a lo largo de la temporada reproductora.

Primero se examinó la relación de diferentes rasgos fenotípicos (condición, ornamentación y tamaño) y de condiciones de vida temprana con el estatus reproductor en ambos sexos. En machos encontramos una fuerte conexión entre la condición física adulta y la de pollo con

la probabilidad de reproducción, una relación ausente en hembras. Esta mejor condición física podría suponer una ventaja a la hora de obtener y defender un nido en ambientes de alta competición.

Gracias al uso de transpondedores subcutáneos podemos seguir el comportamiento de prospección (i.e. visitas a nidos activos) que realizan los flotantes. En el segundo capítulo examinamos si el área de prospección y el contenido de las cajas visitadas (e.g. número de pollos, características y

Estornino negro,
Sturnus unicolor,
fotografiado por
Miguel Antón





supervivencia del anterior dueño) estaban relacionadas con el nido donde estos flotantes fueron detectados criando al año siguiente. Los resultados mostraron que los flotantes tendían a obtener cajas cercanas a donde habían sido detectados prospectando y cuyo último dueño había desaparecido, independientemente de su éxito reproductor pasado. Los resultados sugieren que la realización de visitas a los nidos de otros congéneres, en un ambiente saturado de competición, puede proporcionar información valiosa acerca de la probabilidad de que aparezca una vacante

Por último, se examinó la variación en supervivencia y probabilidad de reproducción en función del sexo y el estatus reproductor. Este análisis reveló tasas de supervivencia similares entre machos flotantes y reproductores y una mayor supervivencia de las hembras reproductoras frente a las flotantes, un resultado contrario a lo que cabría esperar bajo la hipótesis del coste de la reproducción. En caso de sobrevivir, los reproductores, tantos machos como hembras, tenían una alta probabilidad de retener su estatus al año siguiente mientras que las expectativas reproductivas de los flotantes entre año fueron más bajas, especialmente en el caso de los machos. Estos resultados junto con la baja supervivencia general encontrada en esta población sugieren que existen diferencias de calidad entre reproductores y flotantes. Además, no conseguir un nido al comienzo de la vida adulta parece dejar a los flotantes con pocas opciones en el futuro.

Por lo tanto, los resultados de esta tesis doctoral sugieren que el estatus flotante constituye una estrategia condicional fruto de una gran competición por el acceso a una estructura donde nidificar, en nuestro caso, la caja nido. La baja supervivencia encontrada en adultos y la fuerte dependencia de una cavidad para criar indican que es poco probable que ser flotante constituya una estrategia reproductiva con una eficacia similar a la convencional en esta especie.

Métodos moleculares aplicados a la conservación de la ictiofauna amenazada de la cuenca del Duero

Andrea Corral Lou
Universidad Complutense de Madrid
Directores: Ignacio Doadrio
Marzo del 2023

La endemidad y la diversificación de la ictiofauna continental de la Península Ibérica y los patrones evolutivos asociados han sido relacionados con la compleja historia hidrogeomorfológica y las oscilaciones climáticas que ocurrieron en el pasado. Todo ello ha dado lugar a que la ictiofauna dulceacuícola ibérica se caracterice por pocos, pero muy diversificados géneros de peces. Una excepción es el género *Phoxinus*, donde sólo la especie *P. bigerri* había sido descrita en la península ibérica.

Un número de especies representativas de la ictiofauna primaria ibérica puede ser encontra-

da en la cuenca del Duero, la cual alberga el 70% de los géneros y el 30% de las especies españolas. De todas ellas, el 64% se encuentran catalogadas bajo alguna de las tres categorías de amenaza de la lista roja de la IUCN, estando catalogadas como En Peligro de Extinción las especies *A. salmantinum* y *C. vettonica* las cuales poseen un área de distribución muy reducida y, en el caso de *A. salmantinum* limitada a la cuenca del Duero. Por lo tanto, la cuenca del Duero actúa como una unidad imprescindible para la conservación de las especies de peces de España.

Los principales objetivos de la tesis fueron, conocer la diversidad genética de *P. bigerri*, *A. salmantinum* y *C. vettonica*, aumentar el conocimiento sobre los principales patrones que han afectado a su diversificación, proponer recomendaciones ajustadas a las necesidades de cada especie y por último desarrollar una técnica no invasiva de detección para la ictiofauna presente en la cuenca del Duero.

A través del estudio genético de las diferentes poblaciones presentes en España y usando diferentes aproximaciones filogeográficas y filogenéticas aportamos conocimiento sobre la diversificación de las diferentes especies estudiadas. El estudio genético del género *Phoxinus* reveló la existencia de tres especies coexistiendo en la península ibérica (*P. bigerri*, *P. dragarum* y *P. septimaniae*). Mientras que para *P. dragarum* discutimos su origen en la península ibérica y se plantea la posibilidad de un origen natural, para la especie *P. septimaniae* aportamos evidencias

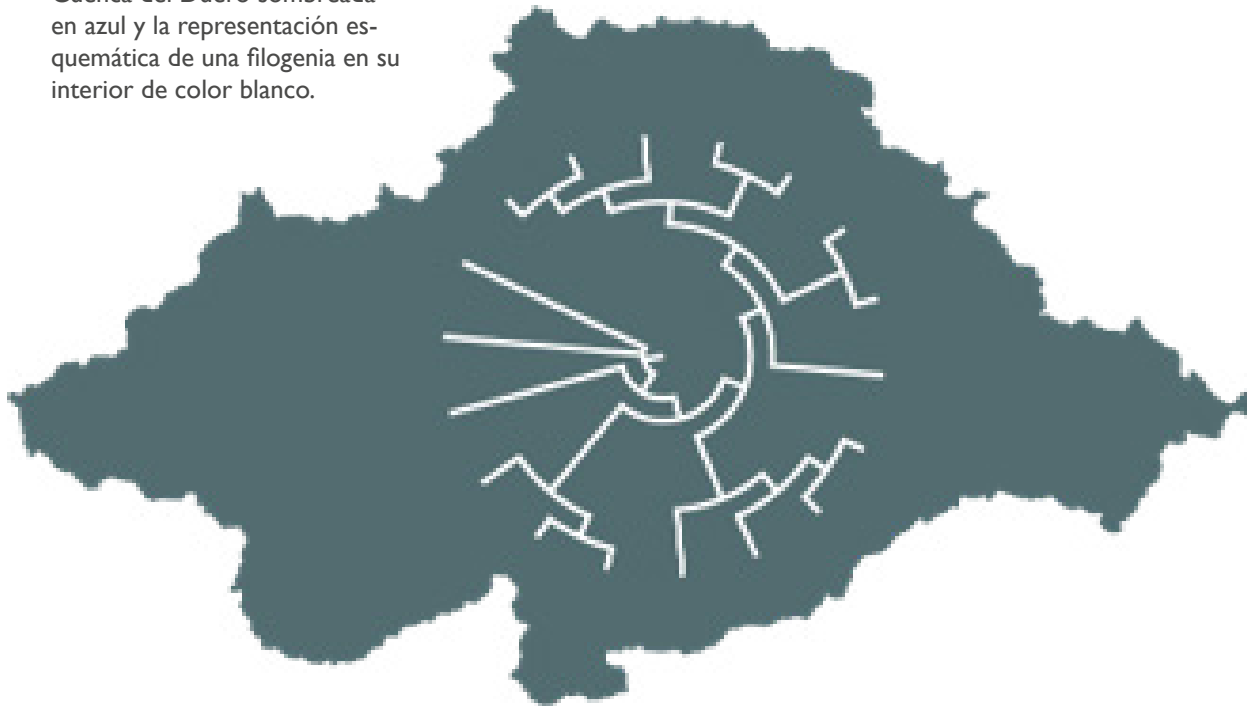




para pensar que su origen en la península ibérica fue consecuencia de una introducción artificial en las cuencas catalanas y en la parte baja de la cuenca del Ebro, donde, además, detectamos una zona de hibridación entre *P. dragarum* y *P. septimaniae*. Para las especies *C. vettonica* y *A. salmantinum* descubrimos una fuerte estructura genética poblacional, la cual no se correspondía con la configuración actual de las cuencas hidrográficas y establecimos las diferentes Unidades Operativas de Conservación para cada especie, discutiendo sobre la conservación de

cada una de ellas. Además, para todas las especies explicamos los diferentes procesos hidrogeomorfológicos y climáticos del pasado que podrían haber condicionado la estructura genética actual detectada. Por último, el monitoreo de peces ibéricos de agua dulce a través de ADN ambiental usando *metabarcoding* fue más eficiente para la detección de especies que los métodos tradicionales, resultando en una técnica potente y no invasiva de seguimiento para la biodiversidad de la ictiofauna continental ibérica.

Cuenca del Duero sombreada en azul y la representación esquemática de una filogenia en su interior de color blanco.



MNCN accesible



Ver con las manos

Escuchar con la mirada

Aprender sin limitaciones

Sentir con los recuerdos

Convivir sin limitaciones