



Universitat
de les Illes Balears

Evaluación de la capacidad olfativa de las aves marinas para detectar depredadores en las áreas de reproducción: el caso del paíño europeo

Margalida Castell Orell

Memoria del Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Ecología marina
de la

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Curso Académico 2018-2019

Fecha: 15/09/2019

Tutor del Trabajo: Ana Sanz-Aguilar

Evaluación de la capacidad olfativa de las aves marinas para detectar depredadores en las áreas de reproducción: el caso del paño europeo

Margalida Castell Orell

Universitat de les Illes Balears

Màster Universitari. Ecología Marina

Abstract

Olfaction is a key sense in many animals, from invertebrates to vertebrates, through which they can get information about their environment and carry out different functions. Within birds, seabirds from the order Procellariiformes have an especially developed sense of smell. However, it is unknown whether they can detect potential predators through olfaction or not. Procellariiformes, as other insular organisms, have evolved without predators and are highly vulnerable to introduced predators. Rats are the most introduced invasive mammals on islands where they negatively impact seabirds' breeding success and even adult survival (in small seabirds). In the Mediterranean, black rats were introduced on islands and islets by romans more than 2000 years ago and procellariiform seabirds could have enough time to develop antipredatory behaviours. The fact that some seabird species have recently colonized different islands where rats had been eradicated, may indicate the ability of seabirds to detect a safe breeding area. The aim of this project was to experimentally test if the European storm petrel (*Hydrobates pelagicus*, the smallest European seabird) can detect rats using olfactory cues. We used an Y maze labyrinth with two options of selection: *Rattus rattus* scent and no scent to test the behaviour of 56 different adult European storm petrels at Benidorm Island. Our results showed that storm petrels did not avoid rat scent: 40% of individuals chose the arm with rat scent and 60% chose the control arm (N=20). Individual characteristics (reproductive experience and body condition) did not influence individual's behaviour in terms of making a choice or choosing the arm with rat scent. The low percentage of individuals that made a choice was not probably related with a potential freezing response caused by the predator odour. Thus, our results corroborate that European storm petrels are not able to detect black rats through olfaction and confirm the previous evidences found for other bird species which evolved on free-predator islands. Given the extreme vulnerability of insular ecosystems to introduced mammal predators, it is important to raise awareness among society about the importance of keeping the ecosystems free of invasive species and carrying out the corresponding management measures. Moreover, by eradicating rats from islets birds could recolonize new breeding areas and prospectors which visit potential still invaded breeding sites may reduce their mortality probabilities.

Índice

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Material y métodos..... | 5 |
| 2.1 Especie de estudio..... | 5 |
| 2.2 Recolección de muestras para los experimentos de olfacción..... | 5 |
| 2.3 Captura de paños y procedimiento experimental..... | 8 |
| 2.4 Diseño experimental | 9 |
| 2.5 Análisis estadístico | 11 |
| 3. Resultados | 11 |
| 4. Discusión..... | 14 |
| 4.1 Implicaciones para la conservación del paño | 16 |
| 5. Agradecimientos..... | 18 |
| 6. Bibliografía..... | 19 |

1. Introducción

La olfacción es un sentido clave para muchos animales, desde invertebrados (Dicke and Grostal, 2001) hasta vertebrados (Kats and Dill, 1998). Mediante la olfacción los animales obtienen información de su entorno: les permite encontrar alimento (Shinn and Dole, 1978; Kielty *et al.*, 1996; Kinney and Antill, 1996; Nevitt, 1999; Wolf, 2000; Howell and Alarcón, 2007; Amo, Rodríguez-Gironés and Barbosa, 2013), reconocer y/o señalar fronteras territoriales para alertar y/o detectar a competidores (Harrington, 1976; Jaeger, 1981; Krueger and Flauger, 2010; Martín and López, 2014), detectar depredadores (David and Donald, 1978; Kats and Dill, 1998; Dicke and Grostal, 2001; Dixson, Pratchett and Munday, 2012), reconocer a individuos conéspecificos (Kristensen *et al.*, 2001; Plenderleith *et al.*, 2005; Mehlis, Bakker and Frommen, 2008; Leclaire *et al.*, 2013) o incluso evaluar la calidad y el estado de salud de posibles parejas (Munger, 2009; Charpentier *et al.*, 2010).

Sin embargo, la importancia del sentido del olfato en las aves ha pasado desapercibida a lo largo de la historia (Kats and Dill 1998). Tradicionalmente se pensaba que las aves utilizaban principalmente los sentidos de la vista y del oído (Wenzel, 1973; Beecher, 1988). No obstante, en el año 1966 se descubrió que las aves del orden Procellariiformes poseen un aparato respiratorio muy desarrollado, lo que sugirió la existencia de la capacidad de olfacción en las aves (Bang, 1966). Además, en los últimos años se ha demostrado que numerosas especies de aves usan señales olfativas en diversas circunstancias y con distintas finalidades (Hagelin, 2007; Hagelin and Jones 2007; Balthazart and Taziaux, 2009; Caro, Balthazart and Bonadonna, 2015). Las aves pueden utilizar la olfacción para encontrar alimento. Por ejemplo, el zopilote cabecirrojo, *Cathartes aura*, es capaz de dirigirse a las corrientes de aire ascendente que arrastran olores y de esta manera localizar carroña (Stager, 1964); aves del orden Passeriformes utilizan el olfato para hallar los árboles con más insectos herbívoros en sus hojas (Mäntylä *et al.*, 2008); el lori gárrulo, *Lorius garrulus*, distingue el olor del néctar de diferentes plantas para alimentarse (Roper, 2003); y aves del orden Procellariiformes son capaces de localizar áreas de alimento en medio del océano mediante la señal química del dimetilsulfuro (DMS) (Dell'Ariceia *et al.*, 2015; Nevitt, 2002), molécula que se produce por la descomposición del dimetilsulfoniopropionato (DMSP) cuando el zooplancton se alimenta del fitoplancton (Dacey and Warkeham, 1986). Por otra parte, la olfacción en aves puede tener un papel a la hora de seleccionar plantas para el

mantenimiento/decoración de sus nidos (Petit *et al.*, 2002; Gwinner and Berger, 2008). Por ejemplo, el herrerillo común, *Cyanistes caeruleus ogilastreae*, selecciona plantas aromáticas específicas para decorar el nido y es capaz de determinar mediante señales odoríferas el momento de rellenarlo con nuevo material vegetal (Petit *et al.*, 2002); y el estornino pinto, *Sturnus vulgaris*, detecta plantas mediante la olfacción y adorna sus nidos con ellas (Gwinner and Berger, 2008). Además, algunas especies usan la olfacción para localizar sus nidos o colonias de cría, como las aves Procellariiformes que son capaces de encontrar su nido (madriguera) durante la noche gracias a la olfacción (Grubb, 1974; Minguéz, 1997; Bonadonna and Bretagnolle, 2002; Bonadonna, Benhamou and Jouventin, 2003; Bonadonna and Nevitt, 2004) e incluso de guiarse en medio del océano hacia sus colonias de cría (Jouventin and Weimerskirch 1990; Gagliardo *et al.*, 2013; Dell’Ariccia *et al.*, 2015). A su vez, algunas aves pueden usar la olfacción para distinguir a sus familiares (Bonadonna and Sanz-Aguilar 2012; Amo *et al.*, 2012; Caspers *et al.*, 2013; Casper, Gagliardo and Krause, 2015) y/o reconocer a sus parejas (Zelano and Edwards, 2002; Bonadonna and Nevitt, 2004; Soini *et al.*, 2007). Finalmente, se ha demostrado que varias especies de aves pueden usar la olfacción para detectar a mamíferos depredadores. Por ejemplo, el mérgulo empenachado, *Aethia cristatella*, presenta respuestas evasivas ante olores de diferentes mamíferos (Hagelin, Jones and Rasmussen, 2003); el camachuelo mejicano, *Haemorhous mexicanus*, es capaz de detectar heces de gato mientras está buscando comida (Roth, Cox and Lima, 2008); y el herrerillo común, *Cyanistes caeruleus*, y el carbonero común, *Parus major*, que rechazan volver a entrar a cajas nido tratadas con olor de mustélidos (Amo *et al.*, 2008; Amo, Visser and Oers, 2011). Teniendo en cuenta estos hallazgos, entre muchos otros, es lógico deducir que las señales químicas son esenciales en la vida de muchas aves. Y dentro de las aves, las aves marinas del orden procellariiformes tienen un olfato especialmente desarrollado. Sin embargo, para este grupo de aves se desconoce si son capaces de detectar a potenciales depredadores mediante la olfacción.

La vida de las aves marinas del orden procellariiformes (albatros, pardelas, petreles, fúlmares y paíños) transcurre entre el océano donde se alimentan, y las islas o islotes donde se reproducen (Warham, 1990). Al igual que otros organismos insulares, las aves marinas de este orden son especialmente vulnerables a la introducción de depredadores en sus hábitats de cría (Berger *et al.*, 2001; Gittleman and Gompper, 2001). Esto se debe a que la evolución de estas especies se ha desarrollado en ausencia de mamíferos depredadores, lo que ha originado una falta de comportamientos antidepredatorios

(Moors and Atkinson 1984; Furness and Monaghan, 1987; Blackburn *et al.*, 2004). De hecho, la introducción de mamíferos depredadores en islas ha desencadenado la extinción de diversas poblaciones y especies de aves (Pimm, Moulton and Justice, 1994; Steadman 1995). Los mamíferos introducidos están presentes en el 55% de las islas donde se reproducen 42 especies de aves marinas clasificadas como amenazadas en la Lista Roja de la IUCN (Spatz *et al.*, 2014). Y en el caso de los petreles, amenazan a 78 especies, un 62.90% del total de especies en este grupo (Rodríguez *et al.*, 2019). Entre las especies de depredadores introducidos en islas, las ratas son las más comunes, extendiéndose en aproximadamente un 80% de los archipiélagos (Atkinson, 1985). En los años 80, las ratas se encontraban presentes en la mayoría de las grandes islas mediterráneas (de más de 10 ha) y en la mitad de las islas e islotes de menor tamaño (Guyot, 1989). Sin embargo, en las últimas décadas se han llevado a cabo numerosos planes de conservación y erradicaciones de mamíferos introducidos, especialmente ratas, actuando en más de 1200 islas con un éxito del 85% a nivel mundial (Jones *et al.*, 2016).

Las ratas, *Rattus spp.*, debido a su amplia distribución (Atkinson, 1985), son las especies invasoras que afectan en mayor medida a las aves marinas, principalmente reduciendo su éxito reproductor debido a la depredación que ejercen sobre huevos y pollos (Thibault, 1994; Igual *et al.* 2007). Ante esta depredación, algunas especies muestran comportamientos dispersivos. La pardela cenicienta, *Calonectris diomedea*, como respuesta al fracaso reproductor cambia de nido, pero lo hace a nidos cercanos donde la presión depredadora es similar (Igual *et al.*, 2007). En el caso de las especies más pequeñas las ratas también depredan sobre los adultos, afectando a la supervivencia adulta e impidiendo su coexistencia (Jones *et al.*, 2008; Croxall *et al.*, 2012). Así pues, mientras algunas especies de aves marinas de tamaño mediano-grande coexisten con las ratas en sus colonias reproductoras (Igual *et al.*, 2007; Martin, Thibault and Bretagnolle, 2000), especies como el paño europeo, *Hydrobates pelagicus*, la más pequeña de las aves marinas europeas (28 gramos; Cramp and Simmons, 1977), sólo se reproduce en lugares libres de ratas (Mínguez and Vigil 1995; Martin *et al.*, 2000; de Leon *et al.*, 2005). Sin embargo, tras desratizaciones recientes de islas e islotes se ha observado que los paños han comenzado a colonizar rápidamente. Es el caso de las islas Shiant en Escocia, donde la subespecie atlántica de la paño europeo, *H. pelagicus pelagicus*, fue escuchada en madrigueras un año después de que las islas fueran desratizadas (Barret, 2017). En el Mediterráneo también se han constatado colonizaciones de islas por parte de la subespecie mediterránea de paño europeo, *H. pelagicus melitensis*, tras acciones de desratización.

En la Isla de Montecristo (Italia) los paños se detectaron 11 años después de haber sido desratizada (Cozzo *et al.*, 2014). En 2018 se confirmó la reproducción de la especie en las Illes Malgrats (David García, comunicación personal) y en las islas dels Conills y de ses Rates del archipiélago de Cabrera (Conselleria de Medi Ambient, Agricultura i Pesca, 2018), desratizadas en 2006-2007.

El hecho de que se estén produciendo colonizaciones (o recolonizaciones) de islotes tras su desratización no es exclusivo del paño, sino que se ha observado en otras aves (Miskelly and Fraser, 2006).

Así pues, y dado que nunca se ha corroborado la capacidad de aves marinas como el paño para detectar y/o evitar depredadores mamíferos, se desconoce si las colonizaciones exitosas que observamos hoy en día son el resultado de una selección activa de nuevas zonas de reproducción tras la prospección y el conocimiento de la ausencia de depredadores en esos lugares. En el caso de las islas e islotes mediterráneos, la presencia de rata negra, *Rattus rattus*, data de la era romana y, por tanto, las aves marinas mediterráneas han coexistido con la especie durante al menos 2000 años, representando un tiempo relativamente largo durante el cual podrían haber aparecido estrategias comportamentales o un aprendizaje para la evasión de dicha especie. Por el contrario, si los paños son incapaces de detectar la presencia de ratas, como sugieren algunos estudios en otras especies de su familia (Igual *et al.*, 2007), podrían estar produciéndose muertes al intentar colonizar continuamente islas e islotes con presencia de este depredador.

Demostrar la capacidad/incapacidad de aves marinas para detectar ratas es de gran importancia, dado que la presencia de estos depredadores representa una gran amenaza para las aves marinas y especialmente para el paño europeo. En esta investigación se pretende demostrar de forma experimental la capacidad o incapacidad del paño europeo para detectar la rata negra mediante la olfacción. Para ello se ha realizado un experimento de olfacción mediante un laberinto en forma de Y con dos opciones de selección: un brazo con olor a rata y el otro sin él. Si los paños reconocieran y evitaran el olor a rata, esperaríamos una mayor selección del brazo control del laberinto. Por el contrario, en el caso de no reconocerlo, se produciría una elección azarosa de los brazos del laberinto.

2. Material y métodos

2.1 Especie de estudio

El paíño europeo (orden: Procellariiformes, familia: Hydrobatidae) con un tamaño medio de 14-19 cm y un peso medio en la fase reproductiva de 28 gramos es el ave más pequeña de este orden (Cramp and Simmons, 1977). Se distinguen dos subespecies de paíño: *melitensis* (Schembri, 1843), presente en la zona mediterránea, y *pelagicus*, en la costa atlántica europea (Cagnon *et al.*, 2004). Sus colonias de cría se localizan en islas e islotes y la actividad en ellas es estrictamente nocturna para evadir los depredadores diurnos (Oro *et al.*, 2005; Watanuki, 1986) como las gaviotas patiamarillas, *Larus michahellis*. El paíño es una especie longeva capaz de vivir hasta 35 años. Pone un único huevo de grandes dimensiones (6.77±0.6 gramos; 23.5% con respecto al peso medio corporal de un adulto), que es incubado durante 40 días por ambos progenitores (Sanz-Aguilar *et al.*, 2019). Los pollos son alimentados durante unos 65 días, momento en el que abandonan sus colonias. Por las noches, un gran número de individuos jóvenes no-reproductores visitan las diferentes colonias de cría (Scott *et al.*, 1970; Okill and Bolton, 2005). Este hecho es conocido como prospección de las colonias de cría, tiene lugar a mediados/finales de la estación reproductora (Cadiou, 2016) y podría tratarse de un mecanismo para obtener información de la productividad de la zona y seleccionar el futuro sitio de reproducción (Furness and Baillie, 1981; Boulinier and Lemel 1996). El reclutamiento, o primera reproducción, suele darse cuando los individuos tienen entre 3 y 5 años (Okill and Bolton, 2005; Sanz-Aguilar *et al.*, 2009a) aunque puede ser diferente en cada colonia (Sanz-Aguilar *et al.*, 2009a), y pueden llegar a darse casos excepcionales de reclutamientos en paíños de 1 y 2 años (Lo valvo and Massa. 2000; Sanz-Aguilar *et al.*, 2019).

Finalmente, estudios previos han demostrado que el paíño europeo tiene un gran sentido del olfato que permite que los pollos reconozcan su nido (Minguez, 1996) e identifiquen otros individuos (Bonadonna and Sanz-Aguilar, 2012).

2.2 Recolección de muestras para los experimentos de olfacción

Para poder testar el olor a rata, se recogieron muestras de pelo de rata negra los días 23, 24 y 27 de mayo de 2019 (ver siguiente sección). Se seleccionó la especie *R. rattus* ya que esta especie está presente en islotes mediterráneos. Las ratas se capturaron mediante trampas tipo Sherman con atrayente ubicadas en diferentes zonas del municipio de Esporles (Baleares). Las trampas Sherman (Sherman Traps Inc. Tallase, USA) son de aluminio, son plegables y miden 23 x 7,5 x 8,5 cm. El animal, atraído por el cebo, entra

por uno de los extremos de la trampa a través de una plataforma que está conectada con la puerta y una vez que ha pisado esta plataforma, se queda atrapado. El cebo se compuso de crema de cacahuete y avena mezclado para formar una bola del tamaño de una pelota de golf.

En el momento que se detectaba un individuo en el interior de una trampa, se colocaba una bolsa de tela en un extremo de ésta y se abría la puerta para que el animal se dirigiera hacia la bolsa. Posteriormente, de una manera rápida y segura para el animal y para el manipulador, se sacaba la cabeza del animal de la bolsa y se le acercaba un bote de cristal que contenía éter, haciendo que el animal inhalara el gas unos segundos para anestesiarlo. Se usaron guantes de cuero para disminuir el riesgo de posibles mordeduras de los animales y mascarillas. Una vez que el animal se encontraba inconsciente, se procedía a cortarle el pelo del abdomen y de la espalda. Tras la manipulación se liberaba en el mismo lugar donde había sido capturado. El pelo se conservó refrigerado en la nevera dentro de papel de aluminio y este dentro de tubos Falcon.

Las especies de *Rattus spp* capturadas se identificaron en base a diferencias morfométricas (Fig. 1). *R. rattus* presenta una cola más larga que el cuerpo, orejas grandes y hocico puntiagudo, mientras que *R. norvegicus* presenta una cola más corta que el cuerpo, orejas pequeñas y hocico biselado. Se colocaron un total de 29 trampas durante 3 días, que atraparon 6 individuos de *R. rattus* y 3 individuos de *R. norvegicus* (Mapa 1).

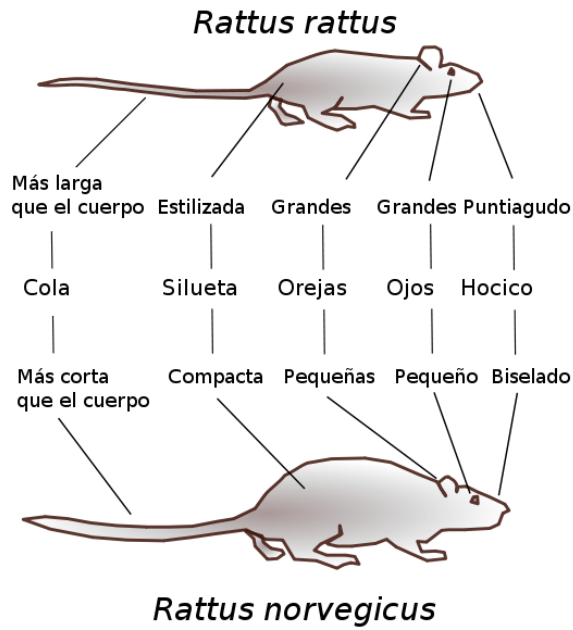
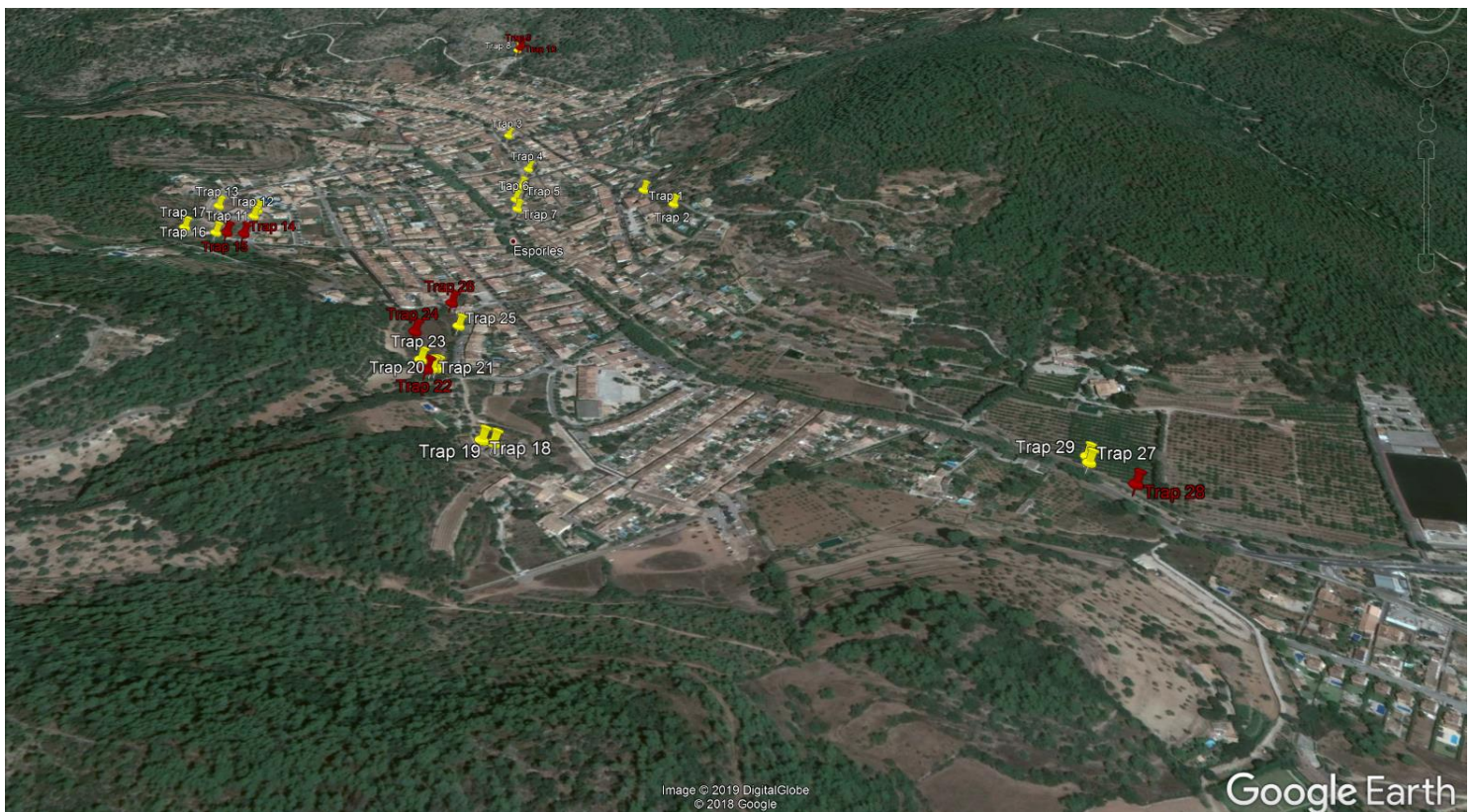


Fig. 1. Diferencias morfométricas entre *Rattus rattus* y *Rattus norvegicus* utilizadas para identificar a los individuos capturados. ©Karim-Pierre Maalej derivative work: Retama, via Wikimedia commons.



Mapa 1. Distribución de las trampas colocadas. En rojo se observan las trampas en las que se capturaron ratas. En amarillo las trampas en las que no se capturaron ratas.

2.3 Captura de paños y procedimiento experimental

En primer lugar se seleccionó el Far del Cap de Ses Salines, situado en el punto más meridional de Mallorca ([39°15'55"N 3°03'12"E](#)), para llevar a cabo la captura de paños y el experimento durante la última semana de mayo de 2019. El lugar se seleccionó ya que datos históricos de anillamiento de *Hydrobates pelagicus* proporcionados por el Grup Balear d'Ornitologia i Defensa de la Naturalesa (GOB) sugerían que la localización y la fecha eran óptimas para capturar numerosos individuos de la especie en este enclave (Tabla 1).

Tabla 1. Datos proporcionados por el Grup Balear d'Ornitologia i Defensa de la Naturalesa (GOB). Se muestra el número de individuos de *Hydrobates pelagicus* y la fecha de anillamiento en el Far del Cap de Ses Salines (capturados con redes).

| DAY | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | May | June | May | June | May | June | May | June |
| 1 | | 26 | | 23 | | 20 | | |
| 2 | | 93 | | 1 | | | | |
| 3 | | 78 | | 24 | | 19 | | 3 |
| 4 | | | | 6 | | 39 | | 19 |
| 5 | | | | 54 | | 9 | | |
| 6 | | 22 | | 83 | | 35 | | |
| 7 | | 24 | | | | | | |
| 8 | | 3 | | 6 | | 3 | | |
| 9 | | 29 | | 86 | | 76 | | |
| 10 | | | | 90 | | 76 | | |
| 11 | | 3 | | 10 | | | 28 | |
| 12 | | 27 | | 35 | | 25 | | |
| 13 | | 5 | | 37 | | | 8 | |
| 14 | | 10 | | 2 | | 2 | 18 | |
| 15 | | | | 23 | | 29 | | |
| 16 | | 7 | | 4 | | | | |
| 17 | | 33 | | 37 | | | | |
| 18 | | | | 74 | | | | 12 |
| 19 | | 7 | 9 | 51 | | | | 3 |
| 20 | | 14 | 41 | 24 | 10 | 2 | | 56 |
| 21 | | 36 | | | 91 | | 36 | |
| 22 | | 31 | 12 | 5 | 52 | | 214 | |
| 23 | | 1 | 35 | 33 | 10 | | 35 | 3 |
| 24 | | 43 | 105 | 2 | | | | 39 |
| 25 | | 19 | 3 | 39 | 15 | 21 | | 4 |
| 26 | | | 8 | 1 | 135 | | | 39 |
| 27 | | 31 | 14 | 26 | 83 | | | |
| 28 | | 11 | 98 | | 16 | | | |
| 29 | | 19 | 62 | 22 | 93 | | | |
| 30 | 39 | | 46 | | | 3 | | |
| 31 | 54 | | | | 4 | | 3 | |

Para la captura de paños se utilizaron 3 redes japonesas de 15, 15 y 8 metros en combinación con el uso de un reclamo con vocalizaciones de la especie, procedimiento similar al llevado a cabo entre 2003-2006. Las redes se colocaron durante 5 noches consecutivas (del 27 de mayo al 31 de mayo) entre el anochecer (21:00 pm) y el amanecer (05:30 am). Se visitaron cada 15 minutos con el objetivo de reducir el estrés de los animales si caían en ellas.

Debido a la falta de un número suficiente de individuos capturados (ver resultados), se repitió el experimento entre el 10 y el 12 de junio de 2019 en la isla Benidorm. El paño se reproduce por toda la isla, pero se concentra en grandes densidades en dos colonias. La colonia principal o “Cueva grande” contaba con 150 nidos accesibles en la presente temporada de cría. Se capturaron 56 individuos reproductores de dichos nidos para llevar a cabo el experimento de olfacción. Sólo se seleccionaron individuos de esta colonia ya que en la segunda colonia “cueva pequeña”, los individuos estaban siendo marcados con dispositivos GPSs y la mayoría ya habían sido capturados. Para este experimento, por tanto, se seleccionaron individuos no capturados previamente, a fin de no aumentar su estrés. El laberinto se posicionó en la entrada izquierda de la cueva por ser una zona con baja densidad de nidos y donde el suelo es relativamente horizontal (Fig. 2a).

2.4 Diseño experimental

La prueba de olfacción se llevó a cabo en un laberinto en forma de Y (Y-maze). El laberinto, de acero inoxidable, se compone de 3 brazos simétricos de 35 cm de longitud, 11 cm de anchura y 8 cm de altura con un ángulo de separación entre cada brazo de aproximadamente 120° (Fig. 2a). Un primer brazo corresponde a la entrada donde se introduce el ave (Fig. 2b). En los otros 2 brazos se posicionan los olores que son arrastrados hacia la entrada del laberinto gracias a unos ventiladores conectados a una fuente de alimentación (Fig. 2c). Los olores, el pelo de rata en una placa de Petri cubierta por una gasa y una placa de Petri cubierta de gasa (sin pelo) (Fig. 2d), se colocaron al final de 2 de los brazos. Se añadieron rejillas de ventilación entre el espacio que ocupaban las placas de Petri y la parte del laberinto donde se podían mover los individuos para que estos no pisaran las placas y no contaminaran las muestras a testar (Fig. 2e). El brazo de entrada, en el que se posicionaba a los animales presentaba un compartimento con una barrera que se mantenía cerrada 20 segundos mientras los ventiladores estaban en funcionamiento para que el animal se calmara mientras circulaba el aire con los olores

(Fig. 2f). Pasado ese tiempo se apagaban los ventiladores y se abría la barrera para que el animal tuviera la opción de “escapar” eligiendo uno de los dos brazos. El experimento se realizó a ciegas para que no hubiera influencias por parte del observador: un investigador colocaba los olores de forma aleatoria tirando una moneda y otro diferente esperaba y detectaba el movimiento de las aves mediante el sonido que hacen al caminar dentro del laberinto. El laberinto se lavó completamente después de cada prueba con metanol (90%) para eliminar cualquier residuo odorífico.

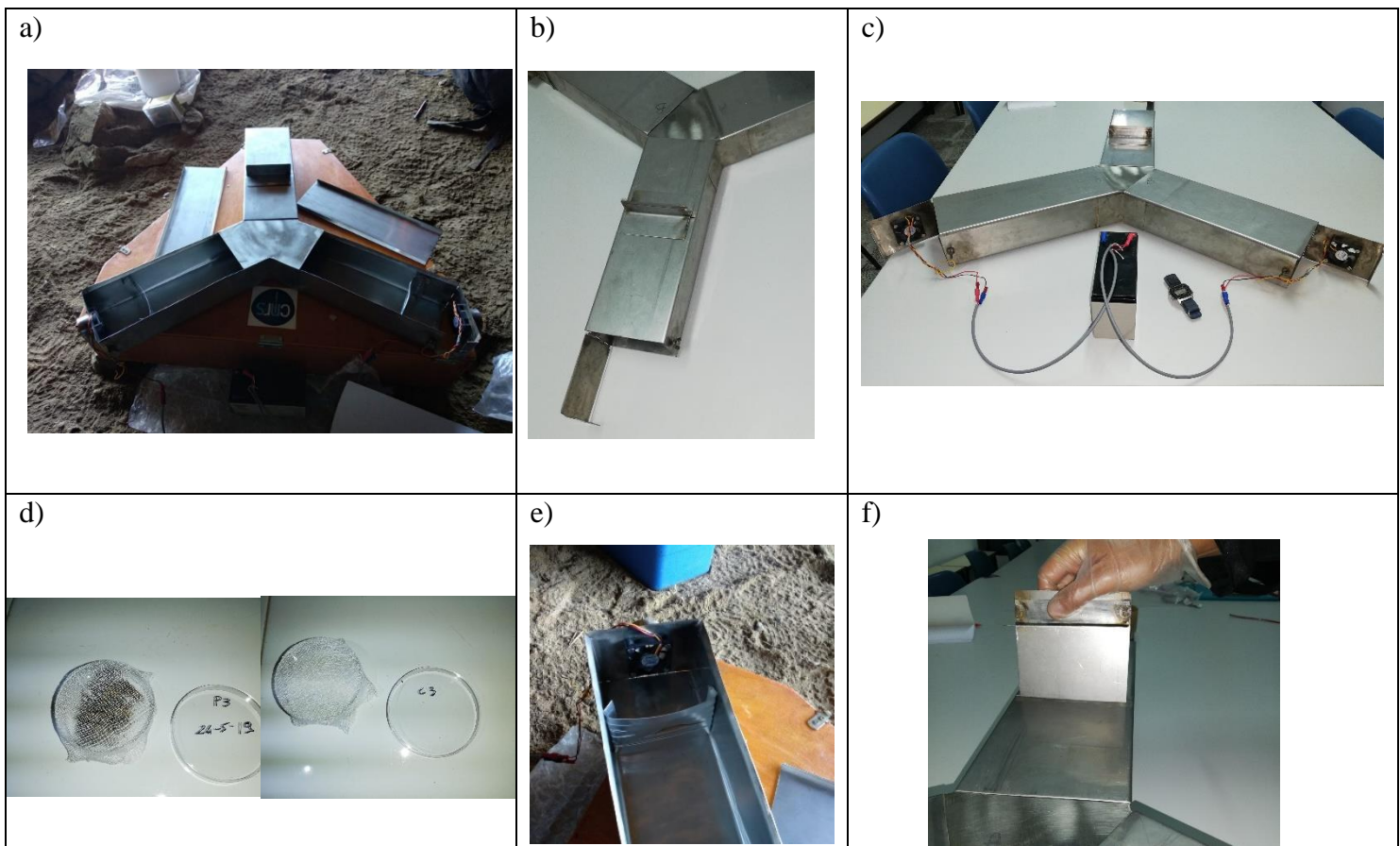


Fig. 2.
 Fig. 2a. Posicionamiento del laberinto en la cueva de Benidorm.
 Fig. 2b. Entrada al laberinto por donde se introduce el ave.
 Fig. 2c. Ventiladores para remover el aire dentro del laberinto conectados a una fuente de alimentación.
 Fig. 2d. Olores introducidos en el laberinto. Izquierda pelo de rata en una placa de Petri cubierta por una gasa. Derecha una placa de Petri cubierta de gasa (sin pelo/sin olor).
 Fig. 2e. Rejillas de ventilación.
 Fig. 2f. Compartimento del brazo de entrada con una barrera (cerrada mientras los ventiladores estaban en funcionamiento para que el animal se calmara mientras circulaba el aire con los olores).

En base a resultados anteriores de experimentos de olfacción llevados a cabo en la isla de Benidorm (Bonadonna and Sanz-Aguilar, 2012; Dell'Aricecia *et al.*, 2015), el tiempo máximo en el que los animales podían permanecer dentro del laberinto fue fijado en 5 minutos. Además, después de cada prueba, se midió la longitud del tarso con un calibre y se pesó a los individuos con una balanza. En base a los registros históricos de anillamiento (1993-2019) en la isla de Benidorm, se determinó la experiencia reproductora de los individuos, es decir, si se trataba de individuos experimentados, capturados en años anteriores, o por el contrario se trataba de individuos capturados como reproductores por primera vez. Se evaluó si la condición física y/o experiencia reproductora podrían influir en el comportamiento de los individuos.

2.5 Análisis estadístico

Las preferencias por un olor u otro en el laberinto en Y, o por uno de los dos brazos laterales (izquierdo o derecho), fueron analizadas usando un test binomial. Se comprobó si existían diferencias en el tiempo de elección (tiempo que un individuo tarda en llegar al extremo de uno de los brazos) según las preferencias usando el test U de Mann-Whitney para muestras independientes. Finalmente, se evaluó si la condición física y/o la experiencia reproductora y el peso, podrían influir en el comportamiento de los individuos (elección o no y en el caso de que eligieran, selección del olor a rata o control) mediante un modelo lineal generalizado binomial (GLM binomial). Todos los datos fueron analizados con el software R core team 2018.

3. Resultados

Los datos obtenidos en Ses Salines no se analizaron debido a que el número de paños capturado fue muy pequeño (N=5). Se testaron los 5 individuos, de los cuáles un único individuo realizó una elección: eligió escapar por el brazo con el olor control y tardó 20 segundos.

En la colonia de Benidorm se analizó el comportamiento de un total de 56 individuos. De estos individuos únicamente 20 se movieron e hicieron una elección dentro del laberinto, suponiendo un 35,71% del total de individuos testados, mientras que un 64.29% de los individuos permanecieron en el brazo de entrada sin desplazarse a las ramas con los dos olores (Figura 2). Ninguna de las variables testadas para explicar la proporción de individuos que realizaron una elección durante el experimento fue

significativa, de hecho, el mejor modelo indicó una probabilidad de elección constante (Tabla 2 y Tabla 3).

Tabla 2. Selección de modelos para evaluar el efecto de la experiencia reproductora y la condición corporal en la probabilidad de elección (selección de olor vs. no selección). DF= grados de libertad; AICc= criterio de información de Akaike corregido por el tamaño muestral efectivo; Δ AIC diferencia entre el modelo en cuestión y el modelo con el AICc más bajo. El mejor modelo se indica en negrita. * interacción. + modelo aditivo.

| Modelo | | DF | Devianza | AICc | Δ AIC |
|----------|-------------------------------------------|----------|--------------|---------------|--------------|
| 1 | Elección~Condición corporal * Experiencia | 4 | 71.72 | 80.501 | 5.430 |
| 2 | Elección~Condición corporal + Experiencia | 3 | 71.81 | 78.268 | 3.200 |
| 3 | Elección~ Experiencia | 2 | 72.572 | 76.798 | 1.730 |
| 4 | Elección~Condición corporal | 2 | 72.027 | 76.243 | 1.170 |
| 5 | Elección~Constante | 1 | 7.997 | 75.071 | 0.000 |

Tabla 3. Coeficientes y p valores para cada variable predictiva de cada modelo (selección de olor vs. no selección). * interacción.

| Modelo | Variable | Estima | Error estándar | Z valor | P valor |
|----------|----------------------------------|---------------|----------------|---------|---------|
| 1 | Condición corporal | 4.934 | 7.879 | 0.626 | 0.531 |
| | Experiencia | 0.274 | 0.698 | 0.393 | 0.694 |
| | Condición corporal * Experiencia | -2.569 | 8.659 | -0.297 | 0.767 |
| 2 | Condición corporal | 2.823 | 3.263 | 0.865 | 0.387 |
| | Experiencia | 0.312 | 0.688 | 0.454 | 0.650 |
| 3 | Experiencia | 0.431 | 0.591 | 0.641 | 0.521 |
| 4 | Condición corporal | 3.128 | 3.201 | 0.977 | 0.328 |
| 5 | Constante | -0.588 | | | |

De los 20 individuos que realizaron elecciones, 8 escogieron el brazo control y 12 el brazo con olor a rata, es decir, no hubo diferencias significativas en su elección (test binomial de dos colas, $p = 0,5034$) (Fig 2). El tiempo medio de elección fue de 1 minuto y 20 segundos (en un rango de 3 segundos a 4 minutos y 46 segundos). El tiempo medio de elección para el brazo control (sin olor a rata) fue 1 minuto y 30 segundos (en un rango de 4 segundos a 4 minutos con 46 segundos), el tiempo medio de elección para el brazo con olor a rata fue 1 minuto y 12 segundos (en un rango de 3 segundos a 4 minutos con 46 segundos) (Test U de Mann-Whitney, $p = 1$). Los individuos no presentaron preferencia por ninguno de los dos laterales: 10 individuos eligieron el brazo izquierdo y 10 el brazo derecho (test binomial de dos colas, $p = 1$). Ninguna de las variables testadas influyó significativamente en la selección de un olor determinado (Tabla 4 y Tabla 5).

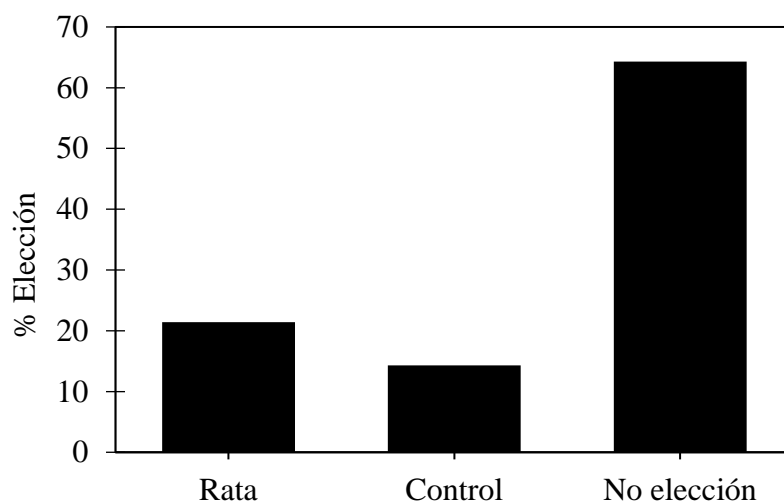


Fig. 2. Histogramas representando los resultados de elección de rata, control o no elección testando un total de 56 paños.

Tabla 4. Selección de modelos para evaluar el efecto de la experiencia reproductora y la condición corporal en la probabilidad de elección de olor a rata frente a la elección de olor control. DF= grados de libertad; AICc= criterio de información de Akaike corregido por el tamaño muestral efectivo; Δ AIC diferencia entre el modelo en cuestión y el modelo con el AICc más bajo. El mejor modelo se indica en negrita. * interacción. + modelo aditivo.

| Modelo | DF | Deviance | AICc | Δ AIC |
|----------------------------------------|----------|---------------|---------------|--------------|
| 1 Olor~Condición corporal* Experiencia | 4 | 26.356 | 37.023 | 7.880 |
| 2 Olor~Condición corporal+ Experiencia | 3 | 26.428 | 33.928 | 4.790 |
| 3 Olor~Condición corporal | 2 | 26.898 | 31.604 | 2.460 |
| 4 Olor~ Experiencia | 2 | 26.429 | 31.135 | 1.990 |
| 5 Olor~constante | 1 | 26.920 | 29.143 | 0.000 |

Tabla 5. Coeficientes y p valores para cada variable predictiva de cada modelo (selección olor a rata vs. selección olor control). * interacción.

| Modelo | Variable | Estima | Error estándar | Z valor | P valor |
|----------|--------------------------------|--------------|----------------|---------|---------|
| 1 | Condición corporal | 3.344 | 13.746 | 0.243 | 0.808 |
| | Experiencia | -0.977 | 1.418 | -0.689 | 0.491 |
| | Condición corporal*Experiencia | -3.968 | 14.751 | -0.269 | 0.788 |
| 2 | Condición corporal | -0.109 | 4.992 | -0.022 | 0.983 |
| | Experiencia | -0.842 | 1.278 | -0.659 | 0.510 |
| 3 | Experiencia | -0.847 | 1.259 | -0.673 | 0.501 |
| 4 | Condición corporal | -0.729 | 4.887 | -0.149 | 0.881 |
| 5 | Constante | 0.405 | | | |

4. Discusión

Los resultados de esta investigación indicaron que el paño europeo no es capaz de detectar a las ratas negras mediante la olfacción. Sin embargo, un alto porcentaje de paños no realizó una elección dentro del laberinto ante la presencia de olor a rata (64,24%). Este bajo porcentaje de elección podría indicar una respuesta de miedo/paralización ante la presencia de olor a rata en el laberinto (Miller and Blaich 1986; Steen *et al.*, 1988; Miller, Hicinbothom and Blaich, 1990). Estudios anteriores realizados en la Isla de Benidorm muestran que un 63.15% y un 71.29% de los individuos testados sí realizaron una elección dentro del laberinto (Tabla 6; Bonadonna and Sanz-Aguilar 2012; Dell'Ariccía *et al.*, 2015). Sin embargo, en dichos estudios, los paños se enfrentaban a la selección de olores presentes en la colonia. Bonadonna and Sanz-Aguilar (2012) demostraron que el paño europeo es capaz de reconocer a sus familiares mediante la olfacción y Dell'Ariccía *et al.* (2015) demostraron que el paño europeo no se basa en la olfacción para detectar su nido. Además, al mismo tiempo que se realizaba el presente estudio, también se testó la capacidad del paño para detectar el olor a DMS (datos no publicados), molécula por la que otras especies del orden Procellariiformes se sienten atraídas y son capaces de detectar para localizar áreas de alimento en medio del océano (Dell'Ariccía *et al.*, 2014; Nevitt, 2002). En el caso de los paños, al igual que sucedió con el experimento de detección de olor a rata, el porcentaje de individuos que no respondieron al olor de DMS (permanecieron en el brazo de la entrada y no se desplazaron hacia ninguno de los dos brazos laterales) fue muy elevado, un 71,43% de un total de 70 individuos testados (Tabla 6). Dado que el DMS es una molécula potencialmente atractora, no debería existir una reacción de miedo frente al olor a la misma, lo que sugiere que el bajo porcentaje de elección dentro del laberinto en el presente experimento no se debió a una respuesta por miedo al detectar el olor a rata, *freezing response*. Además, en el caso de tratarse de una respuesta de miedo, se esperaría que dicha respuesta fuera especialmente evidente en individuos sin experiencia reproductora previa, es decir, aquellos que no están habituados a la manipulación anual (captura y lectura de anillas) que se lleva a cabo en la Isla de Benidorm. A su vez, en caso de tratarse de una respuesta de miedo, individuos con diferente condición física podrían presentar respuestas diferenciadas.

Sin embargo, los resultados indican que ni la experiencia ni la condición física influenciaron la respuesta de los individuos. Por lo tanto, las diferencias existentes entre

los resultados de los estudios de Bonadonna and Sanz-Aguilar (2012), Dell'Ariccia *et al.* 2015 y los experimentos de detección de rata y DMS llevados a cabo durante la temporada 2019, sugieren que la motivación de los paños es mayor cuando se les ofrecen olores presentes en la colonia reproductora (Tabla 6).

Tabla 6. Tabla comparativa de los resultados de elección/no elección entre los experimentos de Bonadonna and San-Aguilar (2012), Dell'Ariccia *et al.* (2015) y los experimentos llevados a cabo en junio de 2019.

| | | Elección | No elección | Total | % Sí Elección |
|-----------------------------------------|---------------|-----------------|--------------------|--------------|----------------------|
| Bonadonna and Sanz-Aguilar (2012) | Cueva Grande | 8 | 4 | 12 | 66,67 |
| | Cueva pequeña | 16 | 10 | 26 | 61,54 |
| | Total | 24 | 14 | 38 | 63,15 |
| Dell'Ariccia et al (2015) | Cueva pequeña | 38 | 15 | 53 | 71,69 |
| Experimento de detección de rata (2019) | Cueva grande | 20 | 36 | 56 | 35,71 |
| Experimento de detección de DMS (2019) | Cueva grande | 20 | 50 | 70 | 28,57 |

A pesar de la baja tasa de respuesta (selección de olor) obtenida en el presente estudio, nuestros resultados muestran similitudes con los obtenidos en estudios anteriores: 1) no existe una preferencia por un lateral determinado del laberinto en forma de Y (Dell'Ariccia *et al.*, 2015); y 2) el tiempo medio de elección en el presente estudio (1'20") fue muy similar al calculado por Bonadonna and Sanz-Aguilar (2012) (1'5"). En el caso de que existiera una fuerte respuesta de miedo, los individuos podrían reaccionar de dos maneras: permaneciendo inmóviles o bien tratando de escapar rápidamente. Los resultados muestran que el tiempo medio de elección para los individuos que respondieron al estímulo eligiendo un olor no difirió en gran medida al determinado por Bonadonna and Sanz-Aguilar (2012). Por lo tanto, la explicación más plausible indica que los paños no son capaces de detectar el olor a rata negra ni existe una respuesta específica de miedo ante la presencia de dicho olor, pero tampoco muestran motivación para moverse dentro del laberinto cuando se les ofrecen olores que no se encuentran en su colonia de cría.

Nuestros resultados confirman, por tanto, las evidencias anteriores en otras especies de procelarifórmes y otras especies de aves que han evolucionado en islas libres de depredadores que sugieren que estas especies no son capaces de reconocer y/o

desarrollar respuestas antidepredatorias eficaces ante la presencia de ratas en las colonias de cría (Igual *et al.* 2007; Stanbury and Briskie 2015; Tabak *et al.*, 2014). Es el caso de la pardela cenicienta, que adopta una estrategia “trampa” maladaptativa en respuesta a la depredación: cuando no cría con éxito debido a la depredación de su huevo o pollo se traslada a otro nido, pero siempre a unos pocos metros del anterior y en zonas con la misma presión por parte de ratas en lugar de dispersarse hacia otras partes de la colonia con menor densidad de ratas (Igual *et al.*, 2007). Además, las ratas son capaces de depredar sobre aves de gran tamaño, como los pollos de albatros *Phoebastria immutabilis* sin que estos respondan ante el depredador (Kepler, 1967). Finalmente, Stanbury and Briskie (2015) demostraron que algunas aves nativas de Nueva Zelanda como *Acanthisitta chloris* y *Turdus philomelos* no presentan ningún cambio en su comportamiento cuando se les introduce olor a orina de rata en el nido, mientras que especies introducidas como *Sturnus vulgaris* (que sí ha coevolucionado con ratas) son capaces de detectarlo y no entrar en el nido. Parece pues confirmarse la inexistencia de reconocimiento de ratas por parte de especies de aves que no han coevolucionado con ellas, aunque en algunos casos como en islas mediterráneas fueron introducidas hace más de 2000 años (Martín *et al.*, 2000).

4.1 Implicaciones para la conservación del paíño

Se debe tener en cuenta que nuestros resultados demuestran que el paíño europeo no es capaz de detectar la presencia de ratas mediante la olfacción, que los islotes donde se han llevado a cabo desratizaciones han sido rápidamente colonizados (Barret, 2017; Cozzo, 2014; David García, comunicación personal; Conselleria de Medi Ambient, Agricultura i Pesca, 2018; Gobierno de Cantabria, 2008; Gobierno de Cantabria, 2017), y que como los adultos son susceptibles a la depredación por ratas solo pueden colonizar con éxito lugares libres de este mamífero (Mínguez and Vigil, 1995; Martin, *et al.*, 2000; de León *et al.*, 2005). Por lo tanto, la especie podría estar intentando colonizar nuevos espacios constantemente y podrían estar produciéndose muertes de individuos jóvenes que al realizar la prospección intentan colonizar zonas invadidas.

El hecho de que el paíño europeo no sea capaz de detectar a sus depredadores debería considerarse como una motivación adicional a la hora de llevar a cabo desratizaciones en islas o islotes cercanas a colonias de cría existentes y/o con potencial para su reproducción.

El paíño europeo no es la única especie que se vería beneficiada por las desratizaciones, ya que las ratas son capaces de alimentarse de numerosos taxones de

fauna y flora (Towns, Atkinson and Daughtery, 2006; Canale *et al.*, 2019). Además, algunas aves marinas ven mermado su éxito reproductor en presencia de este mamífero (Iguar *et al.* 2007; Seto and Conant, 1996; Corre *et al.*, 2015). En conclusión, la eliminación de las ratas en islas e islotes favorecería a estos ecosistemas en su totalidad porque las ratas se alimentan de numerosas familias de aves, invertebrados no voladores, anfibios, reptiles y plantas (Towns, Atkinson and Daughtery, 2006; Canale *et al.*, 2019, Tabak *et al.*, 2014; Canale *et al.*, 2019; Kuschel and Worthy, 1996; Wilson *et al.*, 2003; Campbell and Atkinson, 2002; Whitake, 1978).

Por lo tanto, dada la extrema vulnerabilidad de los ecosistemas insulares ante la introducción de ratas y otros depredadores mamíferos (Tabak *et al.*, 2014; Canale *et al.*, 2019; Kuschel and Worthy, 1996; Allen *et al.*, 1994; Campbell and Atkinson, 2002; Whitake, 1978; Shiels *et al.*, 2014; Banks and Smith, 2015; Courchamp *et al.*, 2011), es importante concienciar a la ciudadanía de la importancia de mantener estos ecosistemas libres de especies invasoras y llevar a cabo las correspondientes medidas de gestión.

5. Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi tutora Ana Sanz-Aguilar por el gran esfuerzo que ha realizado para que se pudiera llevar a cabo este proyecto, por las numerosas enseñanzas que me ha ofrecido a lo largo de este proyecto y por el apoyo y la confianza que ha depositado en mí en todo momento. Particularmente me gustaría darle las gracias a Francesco Bonadonna que nos prestó el laberinto y nos dio consejos para el proyecto, fue una gran oportunidad que pudiera estar en el faro los días del experimento para aprender de su experiencia.

No podría olvidarme de agradecer la ayuda que nos ofrecieron Lucía Latorre y Manolo Igual para obtener el pelo de rata, no sé cómo nos las hubiéramos ingeniado sin vosotros. También me gustaría agradecer a Ana, a Andreu Rotger y a Toni Mulet por llevar a cabo el experimento en la isla de Benidorm. Además, me gustaría dar las gracias al personal de Serra Gelada, a Enrique Marco y a José Luis Linares por su ayuda trasladando el laberinto por la isla. También me gustaría dar las gracias a Excursiones Marítimas Benidorm y a Balearia por el transporte.

De la misma manera, me gustaría agradecer a todas las personas que vinieron al faro a ayudar en diferentes momentos a lo largo de la semana: Giacomo Tavecchia, Alfonso Sola, María Martín, Pere Vicens, Xavi Llabrés, Roger Jovani, Massilva Rahmoun, Carmen Guerra, Alex Villa, Miquel Gomila y Marga Barceló. Aunque por desgracia algunos de ellos no tuvieron la oportunidad de ver ningún paño, las noches se hicieron más cortas en su compañía y espero que nuestros caminos se puedan volver a cruzar en algún momento de la vida. Además, también me gustaría darle las gracias a Cati por dejarnos los altavoces.

También me gustaría dar las gracias a mis amigos de toda la vida por animarme, darme consejos o simplemente por estar allí siempre, de cerca o a distancia. Aunque también me gustaría mencionar y dar las gracias a amistades más recientes como María por su apoyo constante desde antes de este trabajo desde el año 2017, a Joan por comprenderme al estar él escribiendo su trabajo de fin de máster a la vez, a Marta y a Alicia. Asimismo, me gustaría agradecer el apoyo de mis compañeros de máster, en especial a Laura y a Roberto y nuestras conversaciones en Menorca sobre lo que nos deparará el futuro. Finalmente, me gustaría agradecer a mi familia, a mi familia política y a Dani por preocuparse por mis inquietudes y por haber estado a mi lado en los buenos y malos momentos a lo largo de este año de máster.

6. Bibliografía

Amo, L., Galvan, I., Tomás, G., Sanz, J.J. (2008). Predator odour recognition and avoidance in a songbird. *Functional Ecology*. 22, pp. 289-293.

Amo, L., López-Rull, I., Pagán, I., Macías-García, C. (2012). Male quality and conspecific scent preferences in the house finch, *Carpodacus mexicanus*. *Animal Behaviour*. 84(6), pp.1483-489.

Amo, L., Rodríguez-Gironés, M. and Barbosa, A. (2013). Olfactory detection of dimethyl sulphide in a krill-eating Antarctic penguin. *Marine Ecology Progress Series*. 474, pp.277-285.

Amo, L., Visser, M. E., and Oers, K. V. (2011). Smelling Out Predators is Innate in Birds. *Ardea*. 99(2), 177-184.

Atkinson, I., (1985). "The spread of commensal species of *Rattus* to oceanic islands and their effects on island avifaunas," in *Conservation of Island Birds*, ed. P. Moors (Cambridge: International Council for Bird Preservation), pp. 35-81.

Balthazart, J. and Taziaux, M. (2009). The underestimated role of olfaction in avian reproduction? *Behavioural Brain Research*. 200: pp.248-259.

Bang, B.G. (1966). The olfactory apparatus of tubenosed birds (Procellariiformes). *Acta Anatomica*. 65, pp.391-415.

Barret, J. (2017) RSPB Scotland partnership project celebrates churring storm petrels on the Shiant. Retrieved from <https://www.rspb.org.uk/about-the-rspb/about-us/media-centre/press-releases/project-celebrates-churring-storm-petrels-on-the-shiants/>

Beecher, M. D. (1988). Kin recognition in birds. *Behavior Genetics*. 18(4), pp.465-482.

Berger, J., Stacey, P.B., Bellis, L., Johnson, M.P. (2001). A mammalian predator-prey imbalance: grizzly bear and wolf extinction affect avian neotropical migrants. *Ecological Applications*. 11, pp. 947-960.

Blackburn, T. M. (2004). Avian Extinction and Mammalian Introductions on Oceanic Islands. *Science*. 305(5692), pp. 1955-1958.

Bonadonna, F. and Bretagnolle, V. (2002). Smelling home: a good solution for burrow-finding in nocturnal petrels? *Journal of Experimental Biology*. 205: pp. 2519-2523.

Bonadonna, F. and Nevitt, G.A. (2004). Partner-specific odor recognition in an Antarctic seabird. *Science*, 306, p. 835.

Bonadonna, F. and Sanz-Aguilar, A. (2012). Kin recognition and inbreeding avoidance in wild birds: the first evidence for individual kin-related odour recognition. *Animal behaviour*, 84(3): pp. 509-513.

Bonadonna, F., Benhamou, S., and Jouventin, P. (2003). Orientation in “Featureless” Environments: The Extreme Case of Pelagic Birds. *Avian Migration*, pp. 367-377.

Boulinier, T., Lemel, J.-Y. (1996). Spatial and temporal variations of factors affecting breeding habitat quality in colonial birds: some consequences for dispersal and habitat selection. *Acta Oecologica*, 17, pp. 531-552.

Cadiou, B. (2016). New data about the secret life of the wandering prebreeding European storm petrels at colonies. Poster. *Seabird Group 13th International Conference*, 6-9 September 2016, Edimburgh, UK.

Cagnon, C., Lauga, B., Hémery, G., Mouches, C. (2004). Phylogeographic differentiation of storm petrels (*Hydrobates pelagicus*) based on cytochrome b mitochondrial DNA variation. *Marine Biology*, 145. pp. 1257-1264.

Canale, D. E., Dio, V. D., Massa, B., Mori, E. (2019). First successful eradication of invasive Norway rats *Rattus norvegicus* from a small Mediterranean island (Isola delle Femmine, Italy). *Folia Zoologica*, 68(1), pp. 21-26.

Caro, S.P., Balthazart, J. and Bonadonna, F. (2015). The perfume of reproduction in birds: chemosignaling in avian social life. *Hormones and behaviour*, 68, pp. 25-42

Caspers, B. A., Gagliardo, A., and Krause, E. T. (2015). Impact of kin odour on reproduction in zebra finches. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(11), pp. 1827-1833.

Caspers, B. A., Hoffman, J. I., Kohlmeier, P., Krüger, O., Krause, E. T. (2013). Olfactory imprinting as a mechanism for nest odour recognition in zebra finches. *Animal Behaviour*, 86(1), pp. 85-90.

Charpentier, M. J., Crawford, J. C., Boulet, M., Drea, C. M. (2010). Message ‘scent’: lemurs detect the genetic relatedness and quality of conspecifics via olfactory cues. *Animal Behaviour*, 80(1), pp.101-108.

Conselleria de Medi Ambient, Agricultura i Pesca. (2018). Es detecten noves colònies de nonetes per primera vegada a les Illes Balears. *Nota Informativa*. Retrieved from <http://www.caib.es/pidip2front/jsp/ca/fitxa-convocatoria/stronges-detecten-noves-cologravenies-de-nonetes-per-primera-vegada-a-les-illes-balearsstrong>

Corre, M. L., Danckwerts, D., Ringler, D., Bastien, M., Orłowski, S., Rubio, C. M., ... Micol, T. (2015). Seabird recovery and vegetation dynamics after Norway rat eradication at Tromelin Island, western Indian Ocean. *Biological Conservation*, 185, pp. 85–94.

Courchamp, F., Caut, S., Bonnaud, E., Bourgeois, K., Angulo, E., Watari, Y. (2011). Eradication of alien invasive species: surprise effects and conservation successes. In: Veitch, C. R., Clout, M. N., and Towns, D. R. (eds.). *Island invasives: eradication and management*, pp. 285-289. IUCN, Gland, Switzerland.

Cozzo *et al.* (2014). Uccello delle tempeste a Montecristo. Retrieved from <https://www.restoconlife.eu/2015/06/20/uccello-delle-tempeste-a-montecristo/>

Cramp, S., and Simmons, K. E. L. (1977). The birds of the Western Palearctic, vol. 1. *Oxford University Press*, Oxford.

Croxall, J.P., Butchart, S.H.M., Lascelles, B., Stattersfield, A.J., Sullivan, B., Symes, A., *et al.* (2012). Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation*, 22, pp. 1-34.

Dacey, W.H. and Wakeham, S.G., (1986). Oceanic dimethylsulfide: Production during zooplankton grazing on phytoplankton. *Science*, 233, pp. 1314-1316.

David F., H. and Donald H., O. (1978). Snake Species Discrimination and the Role of Olfactory Cues in the Snake-Directed Behavior of the California Ground Squirrel. *Behaviour*, 65(1-2), pp.115-123.

De León, A., Mínguez, E., Harvey, P. V., Meek, E., Crane, J., Furness, R. W. (2005). Factors affecting breeding distribution of European Storm-petrels in Orkney and Shetland. *Bird Study*. Press.

Dell'Araccia, G., Blanc, L., Bonadonna, F., Sanz-Aguilar, A. (2015). Mediterranean storm petrels rely on nest position for homing after migration: a test with artificial nestboxes. *Animal behaviour*, 107, pp. 97-104.

Dicke, M. and Grostal, P. (2001). Chemical Detection of Natural Enemies by Arthropods: An Ecological Perspective. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), pp.1-23.

Dixson, D., Pratchett, M. and Munday, P. (2012). Reef fishes innately distinguish predators based on olfactory cues associated with recent prey items rather than individual species. *Animal Behaviour*, 84(1), pp.45-51.

Furness, R. W. and Monaghan, P. (1987). Seabird ecology. *Blackie*, Glasgow, p. 164.

Furness, R.W., and Baillie, S.R. (1981). Factors affecting capture rate and biometrics of storm petrels on St Kilda. *Ringing & Migration*, 3: pp. 137-148.

Gagliardo, A., Bried, J., Lambardi, P., Luschi, P., Wikelski, M., and Bonadonna, F. (2013). Oceanic navigation in *Corys* shearwaters: evidence for a crucial role of olfactory cues for homing after displacement. *Journal of Experimental Biology*, 216(15), pp. 2798-2805.

Gittleman, J. L. and Gompper, L.E. (2001). ECOLOGY AND EVOLUTION: Enhanced: The Risk of Extinction--What You Dont Know Will Hurt You. *Science*, 291(5506), pp. 997-999.

Gobierno de Cantabria (2008). Seguimiento de la población del paíño europeo *Hydrobates pelagicus* en Cantabria. *Informe inédito de Aves Cantábricas SL* para la Consejería de Desarrollo Rural, Ganadería, Pesca y Biodiversidad.

Gobierno de Cantabria (2017). Seguimiento de la población de paíño europeo *Hydrobates pelagicus* en Cantabria. *Asistencia Técnica de Aves Cantábricas SL* a la Dirección General del Medio natural de la Consejería de Medio Rural, Pesca y Alimentación del Gobierno de Cantabria.

Gobierno de Cantabria (2018). Memoria Técnica Justificativa del Plan de Recuperación del paíño europeo *Hydrobates pelagicus* en Cantabria. *Asistencia Técnica de Aves Cantábricas SL* a la Dirección General del Medio natural de la Consejería de Medio Rural, Pesca y Alimentación del Gobierno de Cantabria.

Grubb, T. C. (1974). Olfactory navigation to the nesting burrow in Leach's petrel (*Oceanodroma Leucorrhoa*). *Animal Behaviour*, 22(1), pp.192-202.

Guyot, I. (1989). Les îlots satellites de la Corse. Patrimoine naturel et conservation. AGENC, Bastia, p. 50.

Gwinner, H., and Berger, S. (2008). Starling males select green nest material by olfaction using experience-independent and experience-dependent cues. *Animal Behaviour*, 75(3), pp.971-976.

Hagelin, J. C. and Jones I. L. (2007). Birds odors and other chemical substances: a defense mechanism or overlooked mode of intraspecific communication. *The Auk*, 124(3), pp.741-761.

Hagelin, J.C. (2007). The citrus-like scent of crested auklets: reviewing the evidence for an avian olfactory ornament. *Journal of ornithology*, 148(2), pp.195-201.

Hagelin, J.C., Jones, I.L., and Rasmussen, L.E.L. (2003). A tangerine-scented social odour in a monogamous seabird. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*. 270, 1323-1329.

Harrington, J. (1976). Recognition of Territorial Boundaries by Olfactory Cues in Mice (*Mus musculus* L.). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 41(3), pp.295-306.

Howell, A. and Alarcón, R. (2007). *Osmia* bees (Hymenoptera: Megachilidae) can detect nectar-rewarding flowers using olfactory cues. *Animal Behaviour*, 74(2), pp.199-205.

Igual, J., Forero, M., Gomez, T., Oro, D. (2007). Can an introduced predator trigger an evolutionary trap in a colonial seabird? *Biological Conservation*, 137(2), pp. 189-196.

Jaeger, R. G. (1981). Dear enemy recognition and the costs of aggression between salamanders. *The American Naturalist*, 117(6), pp.962-974.

Jones, H.P., Holmes, N.D., Butchart, S.H.M., Tershy, B.R., Kappes, P.J., Corkery, I. *et al.* (2016). Invasive mammal eradication on island results in substantial conservation gains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 113, pp. 4033-4038.

Jones, H.P., Tershy, B.R., Zavaleta, E.S., Croll, D.A., Keitt, B.S., Finkelstein, M.E., Howald, G.R., (2008). Severity of the effects of invasive rats on seabirds: a global review. *Conservation Biology*, 22, pp.16-26.

Jouventin, P., and Weimerskirch, H. (1990). Satellite tracking of Wandering albatrosses. *Nature*, 343(6260), pp. 746-748.

Kats, L. and Dill, L. (1998). The scent of death: Chemosensory assessment of predation risk by prey animals. *Écoscience*, 5(3), pp.361-394.

Kepler, C.B. (1967). Polynesian rat predation on nesting Laysan Albatrosses and other Pacific seabirds. *The Auk* 84: pp. 426-430.

Kielty, J., Allen-Williams, L., Underwood, N., Eastwood, E. (1996). Behavioral responses of three species of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) to olfactory cues associated with prey and habitat. *Journal of insect behavior*, 9, pp. 237-250.

Kinney, N. and Antill, R. (1996). Role of olfaction in the formation of preference for high-fat foods in mice. *Physiology & Behavior*, 59(3), pp. 475-478

Kristensen, H., Jones, R., Schofield, C., White, R., Wathes, C. (2001). The use of olfactory and other cues for social recognition by juvenile pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 72(4), pp. 321-333.

Krueger, K. and Flauger, B. (2010). Olfactory recognition of individual competitors by means of faeces in horse (*Equus caballus*). *Animal Cognition*, 14(2), pp. 245-257.

Kuschel, G. and Worthy, T. H. (1996): Past distribution of large weevils (Coleoptera: Curculionidae) in the South Island, New Zealand, based on Holocene fossil remains. *New Zealand Entomologist*, 19, pp. 15- 22.

Leclaire, S., Nielsen, J., Thavarajah, N., Manser, M., Clutton-Brock, T. (2012). Odour-based kin discrimination in the cooperatively breeding meerkat. *Biology Letters*, 9(1), pp. 1-4.

LoValvo, F., Massa, B. (2000). Some aspects of the population structure of storm petrels *Hydrobates pelagicus* breeding on a Mediterranean island. *Ringing & Migration*, 20, pp. 125-128.

Mäntylä, E., Alessio, G. A., Blande, J. D., Heijari, Juha, Holopainen JK, Laaksonen, T., Piirtola, P., Kiemola, T., (2008). From plants to birds: Higher avian predation rates in trees responding to insect herbivory. *PLoS ONE*, 3(7), pp. 9821-9829.

Martin, J. L., Thibault, J. C. and Bretagnolle, V. (2000). Black rats, island characteristics, and colonial nesting birds in the Mediterranean: consequences of an ancient introduction. *Conservation Biology* 14, pp. 1452-1466.

Martín, J., and López, P. (2014). Pheromones and chemical communication in lizards. In J. L. Rheubert, D. S. Siegen, and S. E. Trauth, (Eds.), *The Reproductive Biology and Phylogeny of Lizards and Tuatara* (pp. 43-77). Boca Raton, FL: CRC Press.

Mehlis, M., Bakker, T. and Frommen, J. (2008). Smells like sib spirit: kin recognition in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) is mediated by olfactory cues. *Animal Cognition*, 11(4), pp. 643-650.

Miller, D. B., and Blaich, C. F. (1986). Alarm call responsivity of mallard ducklings: III. Acoustic features affecting behavioral inhibition. *Developmental Psychobiology*, 19: pp. 291-301.

Miller, D. B., Hicinbothom, G., and Blaich, C. F. (1990). Alarm call responsivity of mallard ducklings: multiple pathways in behavioural development. *Animal Behaviour*, 39(6), pp. 1207-1212.

Mínguez, E. (1996). Olfactory nest recognition by British storm-petrel chicks. *Animal Behaviour*, 53, pp. 701-707.

Mínguez, E. and Vigil, A. (1995). Approche de la distribution du pétrel tempête, *Hydrobates pelagicus*, reproducteur dans la région cantabrique. *Alauda* 63, pp. 299-305.

Miskelly, C.M. and J.R. Fraser. (2006). Campbell Island snipe (*Coenocorypha* undescribed sp.) recolonise subantarctic Campbell Island following rat eradication. *Notornis*, 53(4), pp. 353-359.

Moors, P.J. and Atkinson, I.A. (1984) . Predation on seabirds by introduced animals, and factors affecting its severity. *International Council for Bird Preservation Technical Publication*, 2, pp. 667-690

Munger, S. (2009). Noses within noses. *Nature*, 459(7246), pp.521-522.

Nevitt, G.A., Veit, R.R., Kareiva, P. (2002). Dimethyl sulphide as a foraging cue for Antarctic Procellariiform seabirds. *Nature*, 376, pp. 680-682.

Nevitt, GA. (2000). Olfactory foraging by antarctic procellariiform seabirds: life at high Reynolds Numbers. *Biological Bulletin*, 198, pp. 245-253.

Okill, J.D., Bolton, M. (2005). Ages of Storm Petrels *Hydrobates pelagicus* prospecting potential breeding colonies. *Ringing & Migration*, 22: pp. 205-208.

Oro, D., De León, A., Mínguez, E., Furness, R.W. (2005). Estimating predation on breeding European storm-petrels (*Hydrobates pelagicus*) by yellow-legged gulls (*Larus michahellis*). *Journal of Zoology*, 265, pp. 421-429.

Petit, C., Hossaert-McKey, Perret, P., Blondel, J., Lambrechts, M.M. (2002). Blue tits use selected plants and olfaction to maintain an aromatic environment for nestlings. *Ecology letters* 5, pp. 585-589.

Pimm, S. L., Moulton, M. E. and Justice, L. J.. (1994). Bird extinctions in the central Pacific. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, Biological Sciences* 344, pp. 27–33

Plenderleith, M., Oosterhout, C., Robinson, R. and Turner, G. (2005). Female preference for conspecific males based on olfactory cues in a Lake Malawi cichlid fish. *Biology Letters*, 1(4), pp. 411-414.

Rodríguez, A., Arcos, J.M., Bretagnolle, V., Dias, M.P., Holmes, N.D., Louzao, M., Provencher, J., Raine, A.F., Ramírez, F., Rodríguez, B., Ronconi, R.A., Taylor, R.S., Bonnaud, E., Borrelle, S.B., Cortés, V., Descamps, S., Friesen, V.L., Genovart, M., Hedd, A., Hodum, P., Humphries, G.R.W., Le Corre, M., Lebarbenchon, C., Martin, R., Melvin, E.F., Montez vecchi, W.A., Pinet, P., Pollet, I.L., Ramos, R., Russell, J.C., Ryan, P.G., Sanz-Aguilar, A., Spatz, D.R., Travers, M., Votier, S.C., Wanless, R.M., Woehler, E., Chiaradia, A. (2019). Future Directions in Conservation Research on Petrels and Shearwaters. *Frontiers in Marine Science*, 6, pp. 1-27.

Roper, T.J., (2003). Olfactory discrimination in Yellow-backed Chattering Lories *Lorius garrulus flavopalliatu*s: first demonstration of olfaction in Psittaciformes. *Ibis*. 145, pp. 689-691

Roth, T.C., Cox, J.G. and Lima, S.L. (2008). Can foraging birds assess predation risk by scent? *Animal behaviour*. 76, pp. 2021-2027.

Sanz-Aguilar, A., Massa, B., Lo Valvo, F., Oro, D., Mínguez, E., Tavecchia, G. (2009a). Contrasting age-specific recruitment and survival at different spatial scales: a case study with the European storm petrel. *Ecography*, 32, pp. 637-646.

Sanz-Aguilar, A., Zuberogitia, I., Sallent, Á., Picorelli, V., Navedo, J.G., Garaita, R. (2019). Paíño europeo – *Hydrobates pelagicus*. En: *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. López, P., Martín, J., González-Solís, J. (Eds.). *Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid* Retrievef from: <http://www.vertebradosibericos.org/>

Schembri, M. (1843). *Catálogo ornitológico del grupo di Malta*. Anglo-Maltese, Malta.

Scott, D. (1970) The breeding biology of the Storm Petrel *Hydrobates pelagicus*. *Tesis doctoral*. Universidad de Oxford, UK.

Seto, N. W. H., and Conant, S. (1996). The Effects of Rat (*Rattus rattus*) Predation on the Reproductive Success of the Bonin Petrel (*Pterodroma hypoleuca*) on Midway Atoll. *Colonial Waterbirds*, 19(2), p. 171.

Shiels, A. B., Pitt, W. C., Sugihara, R. T., Witmer, G. W. (2014). Biology and Impacts of Pacific Island Invasive Species. 11. *Rattus rattus*, the Black Rat (Rodentia: Muridae). *Pacific Science*, 68(2), pp. 145-184.

Shinn, E., and Dole, J. (1978). Evidence for a Role for Olfactory Cues in the Feeding Response of Leopard Frogs, *Rana pipiens*. *Herpetologica*, 34(2), pp. 167-172. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/3891669>

Soini, H.A., Schrock, S.E., Bruce, K.E., Wiesler, D., Ketterson, E.D., Novotny, M.V. (2007) Seasonal variation in volatile compound profiles of preen gland secretions of the dark-eyed junco (*Junco hyemalis*). *Journal of Chemical Ecology*, 33, pp. 183-198.

Spatz, D. R., Newton, K. M., Heinz, R., Tershy, B., Holmes, N. D., Butchart, S. H. M., Croll, D. A. (2014). The Biogeography of Globally Threatened Seabirds and Island Conservation Opportunities. *Conservation Biology*, 28(5), pp. 1282-1290.

Stager, K. E. (1964). The role of olfaction in food location by the turkey vulture (*Cathartes aura*). L.A. County Museum Contributions in Science, No. 81.

Stanbury, M., and Briskie, J. V. (2015). I smell a rat: Can New Zealand birds recognize the odor of an invasive mammalian predator? *Current Zoology*, 61(1), pp. 34-41.

Steadman, D.W. Prehistoric extinctions of Pacific island birds: biodiversity meets zooarchaeology. *Science*. 267, pp. 1123-1131.

Steen, J.B., Gabrielsen, G.W., Kanwisher, J.W. (1988). Physiological aspects of freezing behavior in willow ptarmigan hens. *Acta Physiologica Scandinavica*, 134, pp. 299-304.

Tabak, M., Sally, P., Ken, P., Jacob, R.G., Carlos, R. (2016). The ghost of invasives past: Rat eradication and the community composition and energy flow of island bird communities. *Ecosphere*, 7(8), pp. 1-9.

Thibault, J.C. (1994). Nest-site tenacity and mate fidelity in relation to breeding success in Corys Shearwater *Calonectris diomedea*. *Bird Study*, 41(1), pp. 25-28.

Towns, D.R., Atkinson, I.A., and Daugherty, C.H. (2006). Have harmful effects of introduced rats on islands been exaggerated? *Biological invasions*. 8. pp. 863-891.

Watanuki, Y. (1986). Moonlight avoidance behavior in Leach's Storm-petrels as a defense against Slaty-backed Gulls. *The Auk*, 103, 14-22.

Warham J. 1990. The petrels. *Acadademic Press*, London.

Wenzel, B. M. (1973). Chemoreception. in *Avian Biology*, vol. 3 (D. S. Farner, J. R. King, and K. C. Parkes, Eds.). *Academic Press*, New York, pp. 389-415.

Wilson, D., Lee, W., Webster, R., Allen, R. (2003). Effects of possums and rats on seedling establishment at two forest sites in New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*, 27(2), pp. 147-155.

Wolf, S., Keitt, B., Aguirre-Muñoz, A., Tershy, B., Palacios, E., Croll, D. (2006). Transboundary seabird conservation in an important North American marine ecoregion. *Environmental Conservation*, 33, pp. 294-305

Zelano, B., and Edwards, S. V. (2002). An Mhc Component to Kin Recognition and Mate Choice in Birds: Predictions, Progress, and Prospects. *The American Naturalist*, 160(S6), pp. s225-s237.