



Ministerio de
 las Culturas,
 las Artes y el
 Patrimonio
Gobierno de Chile



MUSEO DE HISTORIA
NATURAL DE VALPARAÍSO

ANALES

del Museo de Historia Natural de Valparaíso

ISSN 0716-0178 / An.Mus.Hist.Nat.Valpso Vol. 31, 2018/ Valparaíso, Chile.

“POLIZONES AÉREOS”: VIDA MICROBIANA SOBRE Y A TRAVÉS DE LAS OLAS

“AIR STOWAWAYS”: MICROBIAL LIFE ON AND THROUGH THE WAVES

Scarlett E. Delgado* & Camila González-Arcancibia**

RESUMEN: Esta revisión analiza el efecto que tienen los microorganismos sobre la recepción olfatoria y el reconocimiento de su hábitat en el caso de las aves marinas. Reconocer dónde estamos y con quién es importante en todas las especies, pero en mayor medida en aquellas que migran grandes distancias y cuya vida transcurre en solitario. Un caso destacable entre este grupo de animales son las aves pelágicas, como los albatros, quienes pueden migrar kilómetros, pero siempre regresan al mismo nido con la misma pareja. En 2017 un grupo de investigadores propuso que las bacterias que pueblan los animales pueden influenciar el reconocimiento olfatorio, idea aún nueva y que puede dar luces para entender el olfato más allá de las aves.

PALABRAS CLAVE: Olfato, Microbiota, Migración, Aves, Mar

ABSTRACT: This review analyzes the effect that microorganisms have on the olfactory reception and recognition of their habitat in the case of the seabirds. Recognizing where we are and with whom is important for all species but, to a greater extent, in those who migrate great distances and whose life is spent in solitude. A notable case in this group of animals is the pelagic birds such as albatrosses, which may migrate for miles but always return to the same nest with the same partner. In 2017, a group of researchers proposed that the bacteria that populate animals can influence olfactory recognition, an idea that is still new and that can shed light on the understanding of olfaction beyond the case of birds.

KEYWORDS: Sense of smell, microbiota, migration, birds, sea.

* Programa de Doctorado en Neurociencias, Universidad de Valparaíso. Centro Interdisciplinario de Neurociencia de Valparaíso. CINV, Millennium Institute, Universidad de Valparaíso. Pasaje Harrington 287, Playa Ancha Valparaíso. Laboratorio de Biocomplejidad y Comportamiento. Ingeniera en Biotecnología Molecular, Universidad de Chile. scarlett.delgado@postgrado.uv.cl

** Programa de Doctorado en Neurociencias, Universidad de Valparaíso. Centro Interdisciplinario de Neurociencia de Valparaíso. CINV, Millennium Institute, Universidad de Valparaíso. Pasaje Harrington 287, Playa Ancha Valparaíso. Laboratorio de Neuroquímica y Neurofarmacología. Bioquímico, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Recibido: 31 de agosto 2018 - Aceptado: 22 de octubre 2018

INTRODUCCIÓN

La migración no es una conducta poco común en el reino animal, un sin número de especies migra o moviliza desde su hábitat normal a zonas lejanas de apareamiento que pueden tener características completamente diferentes (temperatura, humedad, entre otras) (Chapman *et al.*, 2011; Bauer y Klaassen, 2013), como es el caso de los salmones que viven en el mar y que desovan o se reproducen en los ríos. ¿Cómo una especie se orientan? ¿Cómo reconocen el lugar donde nacieron? ¿Cómo pueden reconocer el camino de regreso?, estas son algunas de las preguntas centrales que muchos investigadores han tratado de resolver por años. Si bien, peces, aves y mamíferos presentan estas conductas, lo cierto es cada especie posee sus propias y especiales habilidades para orientarse, lo que sucede es que no siempre las vemos. En la presente revisión, nos concentraremos en evaluar la participación de microorganismos en conductas olfatorias en una familia de aves en la cual el sentido del olfato sería importante en la migración como guía, fenómeno que fue destacado recientemente en el trabajo de Pearce y colaboradores del 2017.

En general, los sentidos estrellas para guiar este tipo de reconocimiento son la visión y el olfato, éste último y según lo que sabemos, en menor medida en las aves. Hasta la fecha la historia aceptada es que si bien los ancestros de las aves modernas, o dinosaurios, poseían en su mayoría un excelente sentido del olfato (Zelenitsky *et al.*, 2008), esta característica no persiste en las aves actuales, quienes no dependen del olfato como otros animales del filo cordados (grupo que incluye además a peces, mamíferos, reptiles y anfibios), pero es posible que ese no sea el caso para todas las familias y/o especies de aves.

DESARROLLO

Interesantemente, un trabajo reciente ha mostrado, que el orden de aves *Procellariiformes* puede utilizar su olfato y señales entregadas por las bacterias que viven en su cuerpo para reconocer individuos y ubicaciones diferentes. Esta conducta se vuelve crucial durante migraciones que realizan en época de apareamiento,

miento, ya que estas aves que viven en solitario siempre anidan en el mismo lugar y se encuentran con la misma pareja (Pollonara *et al.*, 2015; Reynolds *et al.*, 2015; Pearce *et al.*, 2017).

El nombre de este orden de aves proviene de “*Procella*” que en latín significa “tormenta” y “forme” que quiere decir “forma” por lo que su nombre puede interpretarse como aves que poseen “la forma de la tormenta”, un nombre bastante intrigante si consideramos que estas aves pasan la mayor parte de su vida en el mar. Algo más interesante aún es que el nombre común asignado por pescadores ingleses a estas especies de aves es “*petrel*”, diminutivo de Pedro, un honor que fue recibido por estas aves hace siglos debido a su costumbre de “caminar sobre las aguas mientras vuelan” (Foley, 2005).

Para adentrarnos en este grupo debemos saber que incluye a cuatro familia como la *Diomedidae* (albatros), *Procellariidae* (petreles), *Hydrobatidae* (paiños) y *Pelecanoididae* (petreles buceadores); todas compuestas por aves de tamaño medio a grande, y que incluyen a las especies de aves vivas que tienen el récord mundial por la mayor envergadura de alas, como es el albatros real del sur (*Diomedea epomophora*) y el albatros errante (*Diomedea exulans*), cuyas alas extendidas pueden alcanzar los 3,5 metros de largo (Jaramillo *et al.*, 2005).

Para comprender el comportamiento de las aves marinas debemos saber que estas se clasifican en dos grupos, las **aves costeras**, que viven y se alimentan en zonas de la costa, y las **aves pelágicas**, que se alimentan y viven gran parte de su vida en vastas extensiones superficiales del océano interior. Ejemplos de ambos grupos son las aves *Charadriiformes* (comúnmente conocidas como gaviotas) y las *Procellariiformes* (como los albatros), respectivamente. Es importante notar que el retorno de las aves pelágicas a las costas se debe en gran medida a su reproducción (Shealer, 2002).

Las aves *Procellariiformes* no solo cambian su ambiente durante su reproducción, sino que viven prácticamente solos en el mar abierto,

por lo que las características de su ambiente son muy cambiantes, día a día enfrentan el oleaje y los vientos de alta mar y la poca disponibilidad de agua dulce, junto a otras múltiples adversidades. Estas condiciones a su vez ejercen potentes fuerzas selectivas en estas aves, regulando su comportamiento, ecología y demografía (Schreiber y Burger, 2002). Conocer el nicho, el tipo de vida y conductas que tienen las aves es importante en su conservación, y para las aves de la familia Procellariiformes, es central sus conductas.

Dentro las conductas que destacan en esta familia de aves se encuentra un fuerte comportamiento de filopatría, el cual se refiere a cuando un animal vuelve a su lugar de nacimiento para reproducirse y anidar por años (Chown et al., 1998). Además, son animales monógamos (Bried et al., 2003) y de largo y dedicado cuidado parental, lo que quiere decir que ambos padres cuidarán por largos períodos a sus crías y una vez que se forma una pareja de aves en la juventud, éstas siempre volverán a reunirse (Albores-Barajas et al., 2015), elementos cruciales en su sobrevivencia y éxito reproductivo (Weimerskirch et al., 2000). Cabe destacar que, si un albatros muere, su pareja nunca más vuelve a reproducirse.

Estas aves migran a lo largo de la costa chilena, siendo nuestro país parte importante en su hábitat reproductivo, más aún si consideramos que el mayor componente de biodiversidad para las aves costeras de Chile lo componen las aves que migran a lo largo de la Corriente de Humboldt (Birdlife, 2004; Birdlife, 2017), estas aves dependen de sus zonas reproductivas y de encontrarse con su pareja. Todo lo anterior sumado a la carencia de políticas gubernamentales que protejan la biodiversidad de nuestras costas y sus aves es porque nuestro país ha sido considerado el segundo "hot spot" (o "punto caliente") más afectado a nivel mundial por la actividad del hombre respecto de las aves de alta mar (Croxall et al., 2012).

Respecto de los microorganismos, entre ellos bacterias, hongos y virus, que habitan tanto a vertebrados como invertebrados, definidos como *microbiota*, y en donde la composición de familias de bacterias que la componen difiere entre especies y entre individuos (www.gutmicrobiotaforhealth.com).

Estas diferencias están determinadas por un amplio número de factores, entre los que se encuentran el tipo de nacimiento, el ambiente en donde se desarrolla un individuo, y las interacciones sociales que tiene durante las primeras etapas de la vida (Iizumi et al., 2017). Además, la composición de la microbiota, en tanto a abundancias de poblaciones de bacterias presentes en el cuerpo de los animales, varía a lo largo de la vida del hospedero, y dependerán del sexo, la edad y el hábitat, entre otros factores determinantes (Grenham et al., 2011).

El trabajo de Pearce consistió en la caracterización de la composición y la estructura de las comunidades bacterianas asociadas con la glándula uropigial y del parche de piel mediante biología molecular, procedimientos que permitieron la comparación entre poblaciones bacterianas presentes en los lugares de anidación de las aves, a fin de demostrar la similitud entre el animal con el nido donde nació. En el caso particular de las aves terrestres, se había descrito que la composición de su microbiota depende principalmente de las bacterias presentes en el lugar de incubación, el ambiente que rodea al nido, y el parche de incubación de los padres (Pearce et al., 2017); éste último tendría un papel análogo en el canal de parto en humanos (Grice y Segre, 2011), ya que corresponde al primer contacto que tienen las crías con el exterior al momento de nacer, es decir, la primera exposición a microorganismos después de abandonar el ambiente estéril dentro del huevo.

Al mismo tiempo, en petreles, el reconocimiento entre pares, y en consecuencia de la pareja, es influenciado por la composición de la microbiota de la glándula uropigial, la que se encuentra en la región dorsal de la cola, cuya función es secretar aceites que son distribuidos por las mismas aves en todo su cuerpo y cuya microbiota es adquirida durante el contacto con el mar (Montalti et al., 2005; Pearce et al., 2017). Respecto de las diferencias estas fueron asociadas al sexo del ave, a la respuesta inmune y al reconocimiento de microorganismos patógenos.

Pearce y colaboradores (2017) observaron en detalle que la contribución de las diferentes

familias de microorganismos (*como las bacterias productoras de odorantes Pseudomonadaceae, Methylobacteriaceae y Moraxellaceae*), concluyendo que la mayor contribución de carga bacteriana de las aves de alta mar provendría de la piel de los padres y del lugar de anidación y apareamiento pero que la selección de esta y la mantención durante la vida estaba asociada al sexo del animal y a la selección por parte del sistema inmune; resultado que contrasta con los obtenidos hasta la fecha para aves terrestres y otros animales.

DISCUSIÓN

Ha sido sugerido que en el reconocimiento social el olfato juega un papel fundamental, ya que constituye un factor relevante en el reconocimiento entre pares, sin embargo, a la fecha es muy poco lo que se sabe sobre las características del sistema olfatorio de las aves y semioquímicos propios de estas (que corresponden a olores que median las conductas sociales, como las feromonas), menos aún cómo es que la microbiota que habitan el cuerpo de un hospedero (Scarpellini *et al.*, 2015), afecta la recepción de odorantes y semioquímicos; el componente microbiano ha mostrado un efecto en la regulación de diversas funciones fisiológicas en los seres vivos, y cuya disrupción se encuentra asociada a patologías de distinta índole en el reino animal, desde metabólicas a neuropsiquiátricas (Iizumi *et al.*, 2017; Collins y Bercik, 2009).

Una dificultad adicional es la necesidad de conocer en profundidad la estructura anatómica que detecta pistas olfativas en las aves marinas, ya que en principio éstas aves han sido indicadas erróneamente como incapaces de detectar odorantes o semioquímicos (Balthazard y Taziaux, 2009), por lo que la forma en que los microrganismos de la microbiota pueden afectar la transducción sensorial para señalizar en el sistema olfatorio de los animales, aún no se encuentra esclarecido (Pearce *et al.*, 2017).

Esto es lo que recientemente hemos aprendido sobre la regulación de la composición de la microbiota de aves pelágicas. No obstante, aún es insuficiente, ya que el contacto de las aves pelágicas con la superficie terrestre

es escaso y éste se remite principalmente a la reproducción. También es importante considerar la forma de vida de estas aves, ya que hasta la fecha, no había sido un factor a analizar y por lo mismo las aves *Procellariiformes* podrían exhibir una mayor diversidad microbiana que las aves terrestres o costeras, y esta misma característica, lo que podría delimitar y homogeneizar la variedad de microorganismos que componen la microbiota de las aves marinas (Pearce *et al.*, 2017), un factor crítico si consideramos cómo las actividades humanas contaminan no solo con productos nocivos el mar, sino que también con bacterias asociadas a la actividad humana, provenientes principalmente por desechos biológicos desechados al mar (Halliday y Gast, 2011). Por esto, es de especial interés determinar si es que la composición de la microbiota tiene alguna influencia en los mecanismos aviales de direccionamiento durante los períodos de migración o las interrelaciones que tengan que ver con apareamiento y cuidado parental de las crías, ya que puede entregar pistas cruciales de cómo estas aves pueden orientarse y reconocerse entre sí (Pearce *et al.*, 2017).

Algo que tenemos en común con muchas aves es la reducción del sistema que detecta semioquímicos - a pesar de que los ancestros de ambos poseían estos órganos - cuyo fin es reconocer a otros individuos de nuestra especie. Por qué este sistema a involucionado y desaparecido en la historia evolutiva es aún un misterio que nos habla de nuestro pasado y que a la fecha ha planteado diferentes explicaciones, una de ellas sugiere que la perdida de estos órganos puede estar asociada a la presencia de otras claves de reconocimiento entre sexos, como el dimorfismo sexual (Suárez *et al.*, 2011), pero aún no es claro si otros factores también participarían. Mientras más información tengamos de otras especies que han pasado por historias similares como este grupo de aves que eligen y utilizan su microbiota para reconocerse, más podríamos entender cómo funcionan los sistemas olfatorios de distintas especies y nosotros mismos, pensando en todo lo que aún desconocemos del sistema olfatorio humano, y cómo éste pequeño órgano podría participar de nuestras decisiones sociales, y que aún no podemos responder, esto sin mencionar a la microbiota.

Desde el punto de vista de la conservación, entender la influencia de la microbiota en el reconocimiento social y espacial puede contribuir a generar conciencia que no solo cómo nuestra basura afecta, sino que también lo harían los microorganismos que desechamos en el mar, complicando aún más la conservación de aves que se encuentran amenazadas por el actuar humano (Bolton, 2004). A la fecha, los esfuerzos de conservación de las aves en Chile han estado centrados en las aves costeras que vemos con mayor regularidad, estos han promovido la reducción de la perturbación de las áreas costeras e islas donde este tipo de aves nidifican. Este ha sido el centro y también ha mejorado las condiciones de vida de las aves de alta mar, sin embargo, la mayor tasa de muerte de los albatros y petreles ocurre en alta mar a manos de las embarcaciones que realizan la conocida pesca de arrastre (Birdlife, 2004; Burgos, 2012).

En base a esto, la protección que hemos generado hasta la fecha es insuficiente y por lo demás tiene poca relación con lo que ahora conocemos de las aves *Procellariiformes*. Si deseamos mantener la estabilidad de la fauna de nuestras costas este es un punto que debemos considerar con el fin de generar reglamentos y protocolos más estrictos para pesca industrial. Este factor es de vital importancia en una región como Valparaíso que es una zona importante para la vida y conservación de estas especies, y al mismo tiempo es un foco de actividad pesquera. Todo lo anterior, vuelve importante la identificación de nichos susceptibles a ser regulados para mejorar la sobrevida de estas aves y del mar (Burgos, 2012). Las aves *Procellariiformes* cumplen una función ecológica en la conservación de nuestras costas, sin embargo, la actividad humana es su principal causa de muerte, quizás si disminuimos los efectos negativos que la pesca tiene sobre ellos, no solo estas especies se verán favorecidas sino que podría contribuir a evitar el colapso de nuestros mares, esfuerzos que no solo contribuirán a la conservación de las aves, sino de toda la cadena trófica (Burgos, 2012). No en vano los petreles fueron indicados como la materialización del patrono de la pesca, San Pedro (Foley, 2005).

CONCLUSIÓN

En la actualidad, si bien la información existente nos sugiere un efecto de la microbiota en la regulación de conductas en aves, este es un campo abierto para investigar en profundidad la neuroanatomía, fisiología sensorial y ecología de las aves *Procellariiformes* en pos del cuidado de estas especies y de nuestras costas, ya que la microbiota no solo regula este tipo de conductas en el hospedero, sino que también, es capaz de regular procesos fisiológicos (tanto metabólicos como neurológicos), por lo que podría tener una importante participación en conductas de distintos animales y podría guiarnos a comprender la naturaleza de estas en una gran variedad de especies migratorias.

AGRADECIMIENTOS:

El presente trabajo tiene su origen en el curso de escritura que el Dr. Andrés Chávez dicta para el Programa de Doctorado en Ciencias mención Neurociencias de la Universidad de Valparaíso, gracias a su apoyo, al del programa, al de Centro Interdisciplinario de Neurociencias de Valparaíso y al Museo de Historia Natural de Valparaíso es que fue posible que nuestro trabajo llegara a ustedes. Además, queremos agradecer a la Comisión Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología (CONICYT) quienes financian nuestro trabajo. Por último, pero no menos importante, a nuestros respectivos tutores de tesis quienes han apoyado nuestro interés por realizar difusión de ciencia con las herramientas que tenemos y que estamos adquiriendo. A todos, simplemente muchas gracias.

BIBLIOGRAFÍA

- Albores-Barajas, Y., Massa, B., Tagliavia, M., and Soldatini, C.** 2015. Parental care and chick growth rate in the Mediterranean Storm-petrel *Hydrobates pelagicus melitensis*. *Avocetta* 39: 29-35
- Bauer, S., Klaassen, M.** (2013). Mechanistic models of animal migration behaviour—their diversity, structure and use. *Journal of Animal Ecology*, 82(3), 498-508.

- BirdLife International.** 2004. State of the World's Birds 2004: Indicators for our changing world, pp 43. Disponible desde http://datazone.birdlife.org/userfiles/docs/SOWB2004_en.pdf. Revisado 14-12-2017
- BirdLife International.** 2017. Country profile: Chile. Disponible desde <http://www.birdlife.org/datazone/country/chile>. Revisado 14-12-2017
- Bolton, M., Medeiros, R., Hothersall, B., Campos, A.** 2004. The use of artificial breeding chambers as a conservation measure for cavity-nesting procellariiform seabirds: a case study of the Madeiran storm petrel (*Oceanodroma castro*). *Biological Conservation*, 116(1): 73-80.
- Burgos, K.** 2012. Dinámica espacial de la riqueza y abundancia de aves marinas con problemas de conservación en la costa de Valparaíso, Chile central. Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.
- Bried, J., Pontier, D., Jouventin, P.** 2003. Mate fidelity in monogamous birds: a re-examination of the Procellariiformes. *Animal Behaviour*, 65(1), 235-246.
- Chapman, B. B., Brönmark, C., Nilsson, J. Å., Hansson, L. A.** 2011. The ecology and evolution of partial migration. *Oikos*, 120(12), 1764-1775.
- Collins, S. M., Bercik, P.** 2009. The relationship between intestinal microbiota and the central nervous system in normal gastrointestinal function and disease. *Gastroenterology*, 136(6), 2003-2014.
- Croxall, J. P., Butchart, S. H., Lascelles, B. E. N., Stattersfield, A. J., Sullivan, B. E. N., Symes, A., Taylor, P. H. I. L.** 2012. Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*, 22(1), 1-34.
- Foley, M. P.** 2005. Why do Catholics eat fish on Friday? the Catholic origin to just about everything. pp 92. *Palgrave Macmillan*.
- Grenham, S., Clarke, G., Cryan, J. F., Dinan, T. G.** 2011. Brain-gut-microbe communication in health and disease. *Frontiers in physiology*, 2, 94.
- Grice, E. A., Segre, J. A.** 2011. The skin microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 9(4), 244-253.
- "Gut Microbiota for Health, Public Information Service from European Society of Neurorastroenterology and Motility."** Disponible desde www.gutmicrobiotaforhealth.com Revisado 14-08-2018
- Halliday, E., Gast, R. J.** 2010. Bacteria in beach sands: an emerging challenge in protecting coastal water quality and bather health. *Environmental science & technology*, 45(2): 370-379.
- Iizumi T, Battaglia T, Ruiz V, Perez Perez GI.** 2017. Gut Microbiome and Antibiotics. Archives of Medical Research [Epub ahead of print].
- Jaramillo, Á., Burke, P., Beadle, D.** 2005. Aves de Chile. *Lynx Edicions*.
- Montalti, D., Gutiérrez, A. M., Reboreda, G., Salibián, A.** 2005. The chemical composition of the uropygial gland secretion of rock dove *Columba livia*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 140(3): 275-279.
- Pearce, D. S., Hoover, B. A., Nevitt, G. A., Docherty, K. M., Jennings, S.** 2017. Morphological and genetic factors shape the microbiome of a seabird species (*Oceanodroma leucorhoa*) more than environmental and social factors. *Microbiome*, 5(1): 146.
- Pollonara, E., Luschi, P., Guilford, T., Wikelski, M., Bonadonna, F., Gagliardo, A.** 2015. Olfaction and topography, but not magnetic cues, control navigation in a pelagic seabird: displacements with shearwaters in the Mediterranean Sea. *Scientific reports*, 5: srep16486

- Reynolds, A. M., Cecere, J. G., Paiva, V. H., Ramos, J. A., Focardi, S.** 2015. Pelagic seabird flight patterns are consistent with a reliance on olfactory maps for oceanic navigation. *Proc. R. Soc. B* 282(1811): 20150468.
- Scarpellini, E., Ianiro, G., Attili, F., Bassanelli, C., De Santis, A., Gasbarrini, A.** 2015. The human gut microbiota and virome: potential therapeutic implications. *Digestive and Liver Disease*, 47(12), 1007-1012.
- Shealer, D.** 2002. Foraging Behavior and Food of Seabirds. pp.137- 178. In: Schreiber, E.A. y J. Burger. (eds). *Biology of marine birds*. CRC Press, Washington.717pp.
- Suárez, R., Fernández-Aburto, P., Manger, P. R., Mpodozis, J.** 2011. Deterioration of the Gao vomeronasal pathway in sexually dimorphic mammals. *PLoS One*, 6(10), e26436.
- Weimerskirch, H., Barbraud, C., Lys, P.** 2000. Sex differences in parental investment and chick growth in wandering albatrosses: fitness consequences. *Ecology*, 81(2): 309-318.
- Zelenitsky, D. K., Therrien, F., Kobayashi, Y.** 2009. Olfactory acuity in theropods: palaeobiological and evolutionary implications. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 276(1657), 667-673.

