



SÍNTESIS Y REVISIÓN CRÍTICA DEL USO DE BIO-REGISTRADORES PARA AVES MARINAS EN SUDAMÉRICA

SYNTHESIS AND CRITICAL REVIEW OF THE USE OF BIO-LOGGERS FOR SEABIRDS IN SOUTH AMERICA

Flavio Quintana¹, Rory Wilson² & Agustina Gómez-Laich^{3*}

¹Instituto de Biología de Organismos Marinos (IBIOMAR), Laboratorio de Predadores Tope Marinos, CONICET. Puerto Madryn, Chubut, Argentina

²Biosciences Department, Swansea Lab for Animal Movement, School of Biosciences, Geography and Physics, Swansea University. Swansea, UK

³Departamento de Ecología, Genética y Evolución & Instituto de Ecología Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEB), CONICET, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

*agomezlaich@ege.fcen.uba.ar

RESUMEN: El desarrollo y utilización de complejos registradores electrónicos de movimiento y comportamiento animal, con múltiples sensores que registran datos a más de 50 Hz, produjo destacados avances en el conocimiento de la ecología de muchas especies de aves marinas. Sin embargo, en Sudamérica, la mayoría de los estudios se enfocan en una primera línea de conocimiento, relacionada casi exclusivamente con el uso del espacio. El mayor grado de desarrollo de este tipo de tecnología y del análisis de los datos derivados, han sido aplicados solo en unas pocas especies y sitios de estudio. Si bien la combinación del uso de sofisticados sensores (i.e., acelerómetros y magnetómetros) y el desarrollo de programas innovadores para el análisis y la visualización de los datos a partir de métricas novedosas han abierto nuevos escenarios de investigación a escala fina de los movimientos y comportamientos, estas herramientas están aún subutilizadas. Este trabajo ofrece una síntesis de la variedad de herramientas tecnológicas, de sus alcances y las métricas disponibles para el estudio de la ecología del movimiento animal. A su vez, presenta una revisión crítica del uso de bio-registradores en aves marinas y reflexiona sobre la necesidad de profundizar en el conocimiento de la ecología de este grupo en la región.

PALABRAS CLAVE: *aves marinas, bio-registradores, Sudamérica, telemetría*

ABSTRACT: The development and use of complex electronic recorders of animal movement and behavior, with multiple sensors that record data at more than 50 Hz, produced outstanding advances in the knowledge of the ecology of many seabird species. However, in South America, most studies focus primarily on spatial usage, representing only a preliminary level of knowledge. The highest level of technological development and data analysis has been applied to only a few species and study sites. Although the combination of the use of sophisticated sensors (i.e., accelerometers and magnetometers) and the development of innovative programs for data analysis and visualization based on novel metrics have opened new scenarios for fine-scale research on movements and behaviors, these tools are still underutilized. This paper provides a synthesis of the variety of technological tools, their scope and the metrics available for the study of animal movement ecology. At the same time, it presents a critical review of the use of bio-recorders in seabirds and reflects on the need to deepen the knowledge of the ecology of this group in the region.

KEYWORDS: *biologgers, GPS, seabirds, South America, telemetry*

Nuestro sentido primario es la visión y, sin dudas, ha sesgado nuestra forma de describir e interrogar a la naturaleza. Estudios recientes utilizando imágenes de series de uranio mediante ablación láser muestran que la observación y registro de animales en la naturaleza se remonta a unos 50 000 años, aproximadamente (Oktaviana et al. 2024). Sin embargo, la sistematización y documentación de este tipo de observaciones corresponde a épocas más recientes como las de las civilizaciones egipcia (3100 a.C.) y griega (s. VIII a.C.) (Teske 1997). Desde entonces, la observación directa de los animales ha sido una herramienta fundamental para su estudio, ofreciendo descripciones con mayor o menor grado de expresión académica, filosófica o artística.

La observación directa del comportamiento y movimiento animal, con registros sistemáticos adaptados a las preguntas de interés biológico y adecuadamente contenidos en un marco teórico, es, aún en la actualidad, una herramienta esencial en distintas disciplinas de la ecología. Sin embargo, quienes se adentren en estas líneas de investigación, deberán advertir que las limitaciones de nuestra capacidad visual pueden ser mejoradas por tecnologías relacionadas con el concepto de Telemetría (del griego *tele*, remoto, distante y *metros*, medición). Los métodos de medición remota facilitan la investigación del comportamiento animal, sin las limitaciones impuestas por la visibilidad del animal, terrenos difíciles, ubicaciones remotas, condiciones climáticas, las escalas geográficas del uso del espacio y la perturbación introducida por la presencia de un observador (Masello et al. 2023). Un bio-registrador (*bio-logger*, en inglés) (Naito 2004) es básicamente un dispositivo electrónico pequeño que se adhiere a un animal o se implanta en él para registrar datos biológicos y de comportamiento durante un período de tiempo. Estos dispositivos pueden recopilar (y en algunos casos transmitir) información como la posición geográfica, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, la actividad física, la motilidad gástrica y otros parámetros fisiológicos o ambientales. Los bio-registradores se utilizan comúnmente en investigaciones ecológicas, de conservación y estudios del comportamiento animal, proporcionando datos cruciales sobre los movimientos, los hábitos de alimentación y las interacciones de los animales en su entorno natural. Dada la enorme capacidad de almacenamiento de datos disponible en la actualidad, múltiples variables pueden ser evaluadas simultáneamente con tasas de registro y resolución increíblemente altas (i.e., 1000 veces por segundo y 16 bits) (Holton et al. 2021). Así, el bio-registro permite a los científicos obtener información de múltiples varia-

bles biológicas, del movimiento y del comportamiento de animales silvestres a lo largo de períodos de tiempo prolongados (Williams et al. 2020).

Como para la gran mayoría de los vertebrados, los avances en la tecnología electrónica han cambiado enormemente la forma en que estudiamos a las aves marinas, proporcionando información sin precedentes sobre su locomoción, fisiología, comportamiento, alimentación, migración, demografía y exposición a riesgos antropogénicos derivados de las actividades humanas tanto en tierra como en el mar (Williams et al. 2020). Este trabajo ofrece una síntesis de la variedad de herramientas tecnológicas de bio-registro, de sus alcances y las métricas disponibles para el estudio de la ecología del movimiento y comportamiento animal, con énfasis en las investigaciones realizadas en aves marinas en Sudamérica. Presentaremos tanto una revisión y síntesis crítica del uso de bio-registradores en este grupo de aves en la región, así como un breve resumen de las diferentes tecnologías (útil para quienes se inicien en la temática). Posteriormente, analizaremos brevemente los alcances y limitaciones de cada tecnología presentada refiriéndonos a ejemplos de investigaciones realizadas en especies que reproducen en Sudamérica. Finalmente, ofreceremos consideraciones científicas y éticas acerca del uso de bio-registradores.

LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para este trabajo se realizó una revisión sistemática de artículos científicos en aves marinas que reproducen en Sudamérica en los cuales se proporcionaba información sobre el empleo de algún dispositivo de bio-registro (i.e., VHF, GLS, transmisor satelital, GPS, registradores de múltiples sensores, etc.) (ver abajo). Como plataforma de búsqueda se utilizó Google Académico y durante la revisión utilizamos palabras clave y las siguientes fórmulas de búsqueda: 1) “nombre de la especie en inglés” AND (gps OR gls OR vhf OR satelital OR ptt OR acelerometer OR magnetometer OR tdr) y 2) “nombre de la especie en español” AND (gps OR gls OR vhf OR satelital OR ptt OR acelerómetros OR magnetómetro OR tdr).

La búsqueda solo incluyó artículos científicos y no consideró informes, capítulos de libro, tesis doctorales, etc. Solo se incluyeron trabajos donde las aves equipadas presentaban sitios de nidificación en países de Sudamérica (incluidas las Islas Malvinas). Se excluyeron sitios de nidificación de Antártida y e islas sub-antárticas. Los nombres comunes y científicos de

las especies mencionadas se obtuvieron de <https://birdsoftheworld.org/bow/home>. La base de datos quedó constituida por 247 artículos científicos.

DE LOS RADIO-TRANSMISORES A LOS SENSORES PORTÁTILES

Radio-transmisores

Los transmisores de radio VHF convencionales (Quan & Barnes 2005) han sido utilizados en aves marinas desde antes de 1990 básicamente para monitorear el patrón de presencia-absencia en la colonia y los movimientos de alimentación en aguas cercanas a los sitios de nidificación (Anderson & Ricklefs 1987). Si bien esta tecnología tiene severas limitaciones en precisión de ubicación y alcance (menos de 15-20 km desde un punto de observación elevado), ha sido útil para estudiar el comportamiento en el mar en aves marinas que se alimentan en aguas cercanas a la costa. En Sudamérica, la técnica ha sido tempranamente utilizada para la determinación de las áreas de alimentación y el análisis del comportamiento de buceo de las cuatro especies de cormoranes que reproducen en la costa de Patagonia, Argentina (Quintana 1999, 2001, Frere et al. 2002, Sapoznikow & Quintana 2002, 2003, Quintana et al. 2004, Retana & Quintana 2009) (Tabla 1). Esta tecnología también ha sido utilizada para determinar las áreas de alimentación y el uso del espacio marino-costero en dos especies de gaviotas (Yorio et al. 2004, 2005, Suarez & Yorio 2005, Beron et al. 2007, Suarez et al. 2012), tres especies de gaviotines (Bugoni et al. 2005, Gatto et al. 2019), el Prión Pico Fino *Pachyptila belcheri* (Quillfeldt et al. 2010) y el Pingüino de Humboldt *Spheniscus humboldti* (Culik et al. 1998, Taylor et al. 2001, 2004) (Tabla 1). En todos los casos, las aves portadoras de radio-transmisores deben ser monitoreadas desde puestos fijos de recepción (preferentemente elevados) equipados con antenas y un equipo radio receptor. A partir de cambios en la intensidad y otras características de la señal es posible identificar cuando las aves se encuentran en la colonia, volando, sobre la superficie del mar o debajo del agua (ver detalles en Wanless & Harris 1993). En los trabajos mencionados, fue posible determinar las áreas de alimentación en el mar y en algunos casos el tiempo de vuelo hacia y desde la colonia. La localización de las áreas de forrajeo puede ser determinada mediante métodos de triangulación, a partir de las direcciones provenientes de las señales emitidas por los radio-transmisores (ver Quintana et al. 2002). Al menos dos direcciones deben ser tomadas en forma simultánea desde los puestos de recepción equipados con antenas tipo *Yagi* (Quan & Barnes 2005).

Las áreas de alimentación pueden obtenerse como la intersección de los dos ángulos determinados por la dirección de las señales, con un error de 5-20° (ver Quintana et al. 2002).

En el caso de las aves marinas buceadoras, debido a que la señal de radio se interrumpe durante las inmersiones y se restaura cuando los individuos regresan a la superficie, es posible identificar una secuencia de buceos como una serie de cortes regulares de la señal (Quintana 1999). Así, es posible registrar el inicio y fin de cada una de las inmersiones y obtener métricas tales como el número de buceos, la duración de cada uno de ellos y de los intervalos de recuperación en superficie, y la tasa y eficiencia de buceo (Quintana 1999, Quintana et al. 2002, 2004, Frere et al. 2002, Retana & Quintana 2009).

La novedad tecnológica y la hegemonía de las posiciones

El uso de radio transmisores VHF tuvo una aplicación relativamente corta por dos razones principales: sus limitaciones de alcance (la mayoría de las especies de aves pueden alejarse varias decenas de kilómetros de las colonias, aun durante los viajes más cortos en la etapa de crianza de pichones) y, fundamentalmente por el advenimiento de dispositivos electrónicos más sofisticados, que utilizaban sensores específicos o tecnología satelital para determinar las posiciones (i.e., Lat., Long.) y los movimientos de las aves, independizándose de la tediosa búsqueda y recepción de señales de radio a través de antenas y equipos pesados.

Una tecnología ampliamente utilizada para obtener posiciones de aves marinas que se trasladan grandes distancias es la conocida como Sistema de Localización Global o GLS (por su nombre en inglés, *Geolocation System*). La geolocalización, utiliza cambios en los niveles de luz ambiente para estimar el amanecer, el atardecer y la duración del día permitiendo determinar la longitud y latitud donde se encuentra un animal en un momento dado (Wilson et al. 1992). La resolución espacial de las posiciones (una o dos por día) no es precisa (error medio de 185-200 km) (Phillips et al. 2004) pero puede ser ajustada cuando los GLSs se utilizan con sensores de temperatura. Los registros de temperatura superficial del agua de mar permiten el ajuste de las posiciones entre 1-2° (Teo et al. 2004, Shaffer et al. 2005). A pesar de sus limitaciones, esta tecnología tiene varias ventajas. El consumo de energía es mínimo, porque los datos se almacenan y no se transmiten, permitiendo el uso de baterías pequeñas y, por lo tanto, reduciendo el tamaño y peso general de todo el dispositivo (~ 1.5 g). A su vez, estos dispositivos pueden registrar datos durante un lapso de tiempo que va entre 2 y 10 años.

Tabla 1. Número de publicaciones científicas por Orden, Familia y Especie de aves marinas de Sudamérica en los que se menciona el uso de al menos un tipo de bio-registrador* para estudios de movimiento y/o comportamiento.
 (*) VHF: Radiotransmisor, GLS: Geolocalizador, PTT: Transmisor satelital, GPS: Geoposicionador satelital, DR: Dead-reckoner, TDR: Registrador de profundidad, ACC: Acelerómetro, RMS: Registrador de múltiples sensores.

Orden–Familia–Especie	VHF	GLS	PTT	GPS	DR	TDR	ACC	RMS
CHARADRIIFORMES								
Laridae								
Gaviota Austral	1			3			1	
Gaviota Cocinera				2				
Gaviota de Olog	4	1		1				
Gaviota Garuma				2				
Gaviota de las Galápagos		1						
Gaviotín Golondrina	1							
Gaviotín Pico Amarillo	1							
Gaviotín Real	1							
Gaviotín Peruano		1						
Stercorariidae								
Skúa Antártico		1						
PELECANIFORMES								
Pelecanidae								
Pelicano Peruano				1				
PHAETHONTIFORMES								
Phaethontidae								
Ave del trópico de Cola Blanca				3				
Ave del trópico de Pico Rojo		1		1				
PROCELLARIIFORMES								
Diomedeidae								
Albatros Cabeza Gris			1					
Albatros Ceja Negra		6	10	13		2	1	2
Albatros de las Galápagos			4	4			1	
Procellariidae								
Pardela Oscura		4		3		2		
Pardela Patas rosas			2	2		1		
Petrel de Anteojos			1					
Petrel de Trinidad		5						
Petrel Gigante del Sur			10	1				
Prión Pico Fino	1	6		1				
Yunco de Humboldt		1				1		
Hydrobatidae								
Oceanitidae								

Orden–Familia–Especie	VHF	GLS	PTT	GPS	DR	TDR	ACC	RMS
SPHENISCIFORMES								
Spheniscidae								
Pingüino de Galápagos				1		2		
Pingüino de Humboldt	3		5	3		7		1
Pingüino de Magallanes		7	22	26	2	27	5	24
Pingüino Papua			6	9		6	2	
Pingüino Penacho Amarillo		4	7	9		11		2
Pingüino Rey		2	7			3		
SULIFORMES								
Fregatidae								
Ave Fragata			1					
Rabihorcado Grande				1				
Phalacrocoracidae								
Biguá	1							
Cormorán Cuello Negro	6			2		1		
Cormorán de Galápagos				1		1		
Cormorán Gris	2					2		
Cormoran Guanay				4		5		
Cormorán Imperial	2	1		12	2	6	2	17
Sulidae								
Piquero de Nazca				4		1		
Piquero de Patas Azules					1	1		
Piquero de Patas Rojas				2				
Piquero Enmascarado				4		3		
Piquero Pardo				1				
Piquero Peruano		1		9	1	7		1

En Sudamérica este tipo de sensores de posición ha sido utilizado para estudiar los movimientos en el mar de al menos 15 especies de aves marinas (Tabla 1). Los trabajos pioneros fueron desarrollados por Wilson y colaboradores en el Pingüino de Magallanes *Spheniscus magellanicus* (Wilson et al. 1995) y se han extendido hasta la actualidad en esta (Wilson et al. 2002, 2005, Yamamoto et al. 2019, Barrionuevo et al. 2020, 2023, Dodino et al. 2021) y otras especies de pingüinos tales como el Pingüino Penacho Amarillo *Eudyptes chrysocome* (Ratcliffe et al. 2014, Thiebot et al. 2015, Oehler et al. 2018, Green et al. 2023) y el Pingüino Rey *Aptenodytes patagonicus* (Pütz 2002, Pütz & Cherel 2005) (Tabla 1). Esta tecnología también fue exitosamente utilizada en la Gaviota de las Galápagos *Creagrurus furcatus* (Cruz et.

al. 2013), la Gaviota de Olrog *Larus atlanticus* (Copello et al. 2020), el Gaviotín Peruano *Sternula lorata* (Ryan et al. 2022), el Skua Antártico *Stercorarius antarcticus* (Phillips et al. 2007), el Ave del Trópico Pico Rojo *Phaethon aethereus* (Nunes et al. 2022), el Albatros Ceja Negra *Thalassarche melanophris* (Granadeiro et al. 2011, 2014, 2018, Catry et al. 2013, Baylis et al. 2021, Beal et al. 2021), la Pardela Oscura *Ardenna grisea* (Hedd et al. 2012, Bonnet-Lebrun et al. 2020, Baylis et al. 2021, Beal et al. 2021), el Petrel de Trinidad *Pterodroma arminjoniana* (Krüger et al. 2016, Leal et al. 2017, 2021, Ramos et al. 2017, Nunes et al. 2022), el Prión Pico Fino (Quillfeldt et al. 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2019), el Yunco de Humboldt *Pelecanoides garnotii* (Fernández et al. 2023), el Cormorán Imperial *Leucocarbo atriceps*

(Harris et al. 2013) y el Piquero Peruano *Sula variegata* (Ludynia et al. 2010) (Tabla 1). La mayoría de los trabajos revela principalmente los movimientos post-reproductivos de las especies estudiadas, aunque, en algunos casos, se los ha asociado al comportamiento de buceo al incluir registros provenientes de sensores de profundidad (ver abajo) (Pütz & Cherel 2005, Ludynia et al. 2010, Yamamoto et al. 2019, Bonnet-Lebrun et al. 2020). Una excepción al uso de geolocalizadores para la determinación exclusiva de posiciones se refleja en la investigación realizado por Quillfeldt y colaboradores (2019) en priones y Harris y colaboradores (2013) en cormoranes imperiales. En ambos trabajos, los autores utilizan dispositivos GLS combinados con sensores de luz e inmersión para estudiar la dinámica de asistencia a la colonia (Quillfeldt et al. 2019) y la segregación sexual en la dinámica temporal de alimentación durante el periodo reproductivo y no reproductivo (Harris et al. 2013).

Desde el trabajo pionero de Jouventin y Weimerskirch (1990), ha habido una avalancha de estudios que utilizan telemetría por satélite (PTTs, por su nombre en inglés, *Platform Terminal Transmitters*) en aves marinas. Este tipo de transmisores utiliza el sistema Argos-CLS, que puede proporcionar hasta algunas decenas de posiciones por día dependiendo de los parámetros específicos de seguimiento, la cobertura satelital y las condiciones ambientales. La precisión de las localizaciones típicamente varía entre 150 y 1500 m dependiendo de la cantidad de satélites involucrados (i.e., cobertura satelital) (<https://www.argos-system.org/wp-content/uploads/2023/01/CLS-ArgosWeb-User-Manual.pdf>). En la actualidad, los instrumentos de transmisión satelital pueden llegar a pesar menos de 9 g, y algunos incorporan energía solar para reducir el tamaño de la batería y aumentar su vida útil. Dado que los datos de ubicación se transmiten y no se almacenan, la recuperación de estos dispositivos no es necesaria, y los convierte en una herramienta tecnológica clave para evaluar movimientos, uso del hábitat e incluso la dispersión post reproductiva de juveniles para los que la recuperación de los instrumentos es prácticamente imposible (Weimerskirch et al. 2006).

Al igual que en el resto del mundo, en Sudamérica esta tecnología ha sido principalmente utilizada en aves marinas pelágicas de gran porte (i.e., albatros y grandes petreles). En la región, los primeros trabajos sobre este grupo corresponden al Albatros de Galápagos *Phoebastria irrorata* (Fernández et al. 2001) y al Petrel Gigante del Sur *Macronectes giganteus* (Quintana & Dell’Arciprete 2002) (Tabla 1). A partir de entonces, las plataformas

satelitales fueron usadas en otras dos especies de albatros (i.e., Cabeza Gris *Thalassarche chrysostoma* y Ceja Negra) (Wakefield et al. 2011, Copello et al. 2013, 2014, 2016, Robertson et al. 2014, Augé et al. 2018, Opperl et al. 2018, Baylis et al. 2019, Beal et al. 2021, Paz et al. 2021) y una especie de pardela de mediano porte, la Pardela de Patas Rosas *Ardenna creatopus* (Guicking et al. 2001, Felis et al. 2019) y el Petrel de Anteojos *Procellaria conspicillata* (Bugoni et al. 2009) (Tabla 1). En Sudamérica, el Petrel Gigante del Sur del norte de Patagonia, Argentina (i.e., Islas Arce y Gran Robredo) ha sido una de las especies de Procelarififormes más estudiada a través de esta tecnología (Quintana & Dell’Arciprete 2002, Copello & Quintana 2009, Quintana et al. 2010, Copello et al. 2011, 2016, Blanco & Quintana 2014, Blanco et al. 2015, 2017, 2022a, Beal et al. 2021).

A pesar de que el uso de transmisores satelitales con antenas externas compromete significativamente el gasto de energía relacionado con el desplazamiento debajo del agua (i.e., un incremento de hasta el 150% de acuerdo a la velocidad de natación, la rigidez, el largo, el diámetro y la posición de la antena) (Wilson et al. 2004), este tipo de dispositivos ha sido (y sigue siendo) utilizado en varias especies de pingüinos. Así, solo para el Pingüino de Magallanes existen al menos 22 trabajos publicados en los que se han instrumentado individuos con este tipo de bio-registradores (Stokes et al. 1998, 2014, Boersma et al. 2007, 2009, 2015, Pütz et al. 2007, 2016, Boersma & Rebstock 2009, Skewgar et al. 2014, Rebstock & Boersma 2018, Rebstock et al. 2022a, Silva et al. 2022, entre otros) (Tabla 1). En la región, otras tres especies de pingüinos también fueron estudiadas mediante la colocación de plataformas satelitales: el Pingüino de Humboldt (Culik & Luna-Jorquera 1997a, 1997b, Culik et al. 2000, Boersma et al. 2007, Pütz et al. 2016), el Pingüino Papua *Pygoscelis papua* (Boersma et al. 2002, Clausen & Pütz 2003, Baylis et al. 2019, 2021, entre otros), el Pingüino Penacho Amarillo (Boersma et al. 2002, Pütz et al. 2006b, Raya Rey et al. 2007, entre otros) y el Pingüino Rey (Pütz et al. 2014, 2021, Baylis et al. 2015; entre otros) (Tabla 1).

Una alternativa tecnológica más ágil y precisa se desarrolló a partir del surgimiento de los dispositivos GPS, capaces de registrar hasta una posición geográfica por segundo (i.e., 1 Hz) con precisión de unos pocos metros de la ubicación real (Burger & Shaffer 2008). Por otra parte, los dispositivos GPS resultaron relativamente económicos comparados con los costos de las plataformas y los servicios satelitales antes mencionados. La miniaturización de los GPS (en la

actualidad existen dispositivos de 1 g) (De Pascalis et al. 2021) fue otra de las ventajas que ampliaron marcadamente su uso en muchas especies de aves marinas (e.g. Grémillet et al. 2004). Su resolución espacial, permitió indagar en el estudio de movimientos a escala fina, revelar detalles sin precedentes de la velocidad horizontal de desplazamiento (i.e., distancia recorrida por unidad de tiempo) y el comportamiento de búsqueda de alimento de áreas restringidas (Harris et al. 2014a). Sin embargo, a pesar de su potencial para el estudio de movimientos finos (debido a la alta frecuencia de registros), su uso ha estado prácticamente restringido a la determinación de trayectorias a mayor escala y la determinación de áreas de uso en el mar (i.e., patrones de uso horizontal del espacio).

En Sudamérica, el uso de dispositivos GPS ha sido ampliamente difundido abarcando 28 especies de aves marinas pertenecientes a nueve familias y cinco órdenes: el Pelicano Peruano *Pelecanus thagus* (Zavala-ga et al. 2011), el Prión de Pico Fino (Quillfeldt et al. 2022), el Petrel Gigante del Sur (Blanco et al. 2022a), la Fragata Grande *Fregata minor* (Nourani et al. 2022), dos especies de aves del trópico (Santos et al. 2019, Nourani et al. 2022), dos especies de albatros (Awkerman et al. 2005, 2014, Granadeiro et al. 2011, 2014, 2018, Arata et al. 2014, Robertson et al. 2014, Campioni et al. 2017, Nourani et al. 2022, entre otros), dos especies de pardelas (Adams et al. 2019, Baylis et al. 2019, 2021, Carle et al. 2019, Bonnet-Lebrun et al. 2020), cuatro especies de gaviotas (Masello et al. 2013, Augé et al. 2018, Kasinsky et al. 2018, 2021, Opper et al. 2018, Ravasi et al. 2019, Aguilar-Pulido et al. 2021, Catoni et al. 2021, Petracci et al. 2024), cuatro especies de cormoranes (Wilson et al. 2008b, 2012, Masello et al. 2010, Yorio et al. 2010, Quintana et al. 2011, Harris et al. 2012, 2014a, 2014b, 2016a, 2016b, Weimerskirch et al. 2012, Boyd et al. 2015, Roy et al. 2022), cinco especies de piqueros (Weimerskirch et al. 2010, Zavala-ga et al. 2010a, 2010b, 2012, Bertrand et al. 2012, Boyd et al. 2014, 2015, Lerna et al. 2020a, 2020b, Mendez et al. 2020, Howard et al. 2021, Clark et al. 2022, Nourani et al. 2022, Nunes et al. 2022, McKee et al. 2023) y cinco especies de pingüinos (Wilson et al. 2005, 2015, Steinfurth et al. 2008, Masello et al. 2010, Raya Rey et al. 2010, 2013, Yorio et al. 2010, 2011, 2021, Sala et al. 2012, 2014, 2015, 2017, Ludynia et al. 2013, Gómez-Laich et al. 2015, Ciancio et al. 2016, Rosciano et al. 2016, 2018, 2022, Harris et al. 2020, 2023, Quispe et al. 2020, Blanco et al. 2022a, Quintana et al. 2022, Rebstock et al. 2022b, entre otros) (Tabla 1).

En su mayoría, las publicaciones mencionadas

acerca del uso de dispositivos GPS en aves marinas de Sudamérica, también se enfocan en una primera línea de conocimiento, relacionada con la ubicación de los animales y el uso del espacio. Sin embargo, existen otras herramientas metodológicas, de análisis y nuevas métricas que permiten profundizar en el estudio de los movimientos y comportamiento de las aves marinas de la región. Según esta revisión, dichas alternativas tecnológicas y metodológicas no son de uso extendido. Un intento de respuestas al por qué de este fenómeno podría basarse en el desconocimiento de tecnologías alternativas, en el desacuerdo respecto a su uso, en un mayor costo económico o, simplemente en juzgar inútil su aplicación. Con la agilidad y fluidez de la información de los tiempos actuales, es difícil pensar que quien trabaja con bio-registradores no conozca la existencia de herramientas diferentes a aquellas que solo permiten ubicar a un animal en el espacio. Por otra parte, no existen publicaciones que fundamenten críticas sustanciales referidas al uso de sensores complementarios o alternativos a los que registran posición y, el costo económico total de dichos dispositivos, en algunos casos podría ser más alto que el de los registradores con múltiples sensores alternativos y más complejos. Finalmente, lo que sí parece adecuado pensar es que los estudios (o los objetivos de la investigación) sobre movimiento y comportamiento animal no necesariamente requieran de una mayor complejidad tecnológica, ni en lo referido al registro ni al análisis de los datos. En definitiva, la tecnología es solo una herramienta de investigación más y no el objetivo de estudio en sí. Todo depende de la pregunta, el contexto teórico en el que encuadramos nuestro trabajo y/o en los objetivos planteados. A nuestro entender, para quien hace uso de bio-registradores en aves marinas o cualquier otro grupo animal, resulta esencial comprender, a priori, cuales son los alcances de los datos y resultados obtenidos, las limitaciones y errores de la tecnología utilizada y el nivel real de conocimiento alcanzado acerca del fenómeno estudiado.

En el mundo científico del bio-registro (y en la ciencia en general), cuando todo parece satisfacer nuestra curiosidad sobre un fenómeno natural y nos disponemos a disfrutar de un cálido espacio de confort, siempre aparecen nuevas y/o mejores herramientas tecnológicas que nos vuelven a desvelar ante la posibilidad de profundizar en el conocimiento adquirido con las herramientas precedentes, aun cuando, en ocasiones, lo nuevo se basa en conceptos y principios más antiguos. Así, aunque inicialmente un registro de datos a 1 Hz (i.e., GPS, ver arriba) puede parecer un exceso de información, dependiendo de

la escala en la que se produzcan los movimientos que queremos estudiar, podríamos estar perdiendo parte o incluso la mayoría de los datos relevantes. En algunos casos, en tan solo un segundo pueden suceder múltiples eventos que permanecen invisibles, aún bajo una prometedora frecuencia de muestreo de 1 Hz. El registro de posiciones en el espacio a lo largo del tiempo a través de la técnica de *dead-reckoning* es un ejemplo claro de ello.

Los *dead-reckoners* (DR, instrumentos de navegación por estima o cálculo de rumbo) registran cada cambio en el azimut (o dirección) varias veces por segundo a medida que un animal se mueve y permiten recrear sus trayectorias a partir de la suma de vectores direccionales y la velocidad estimada (Benvenuti et al. 1998). Dado que las velocidades (terrestres u horizontales) varían con la velocidad del viento y la dirección del vuelo, este método funciona mejor en especies de aves no voladoras como los pingüinos con un rango de velocidades de traslado más limitado ($1-3 \text{ m s}^{-1}$) (Wilson et al. 1991). A pesar de su extrema precisión en la determinación del movimiento de traslado, los DR han sido muy poco utilizados en estudios de movimiento de aves marinas en Sudamérica y los pocos trabajos publicados han sido realizados por Wilson y colaboradores en el Pingüino de Magallanes (Wilson et al. 2003, 2007), el Cormorán Imperial (Quillfeldt et al. 2011) y dos especies de piqueros (Zavalaga et al. 2008, Ludynia et al. 2010) (Tabla 1). Una refinación de la técnica de navegación por estima ha sido incorporada en un nuevo diseño de bio-registrador llamado *Daily Diary* (Wilson et al. 2008a) (ver abajo).

El registro de la profundidad

A partir de los deslumbrantes trabajos seminales de Kooyman (1965) sobre las técnicas para medir la capacidad de buceo de las focas de Weddell *Leptonychotes weddellii*, el uso de registradores de profundidad o *time-depth recorders* (TDR, por sus siglas en inglés) se hizo extensivo en muchas otras especies de mamíferos marinos desde fines de la década de 1980 para luego extenderse a estudios con aves marinas. Básicamente, los TDR reducen la información sobre el comportamiento espacial tridimensional de los animales buceadores a solo dos dimensiones, profundidad y tiempo. Los registros son frecuentemente analizados a partir de programas (ej. MT-DIVE Jensen Software) (<https://www.jensen-software.com/mt-dive.html>) o paquetes específicos de Software de acceso libre (*R*) como *diveMove* (Luque 2024) que muestran gráficamente los datos de profundidad en función del

tiempo. Así, para cada inmersión es posible determinar los siguientes parámetros: tiempo de inicio y fin, duración y velocidad de las fases de descenso, fondo y ascenso, profundidad máxima alcanzada, y duración de cada buceo. Con el tiempo, el uso exclusivo de registradores de profundidad ha sido reemplazado y extendido por la incorporación de sensores de profundidad a los dispositivos GPS.

En Sudamérica, los registradores exclusivos de duración y profundidad de buceo han sido principalmente utilizados en cinco especies de pingüinos (Luna-Jorquera & Culik 1999, Mills 2000, Taylor et al. 2001, 2004, Schiavini & Raya Rey 2004, Hennicke & Culik 2005, Pütz et al. 2006a, Raya Rey et al. 2009, Masello et al. 2010, Gherardi-Fuentes et al. 2019), aunque la mayoría de las publicaciones (al menos 11) refiere al Pingüino de Magallanes (Peters et al. 1998, Simeone & Wilson 2003, Walker & Boersma 2003, Wilson 2003a, 2003b, Wilson et al. 2003, Raya Rey et al. 2012, Scioscia et al. 2016, entre otros) (Tabla 1). Su uso también se extendió a estudios específicos del comportamiento de buceo del Cormorán Imperial (Wilson & Quintana 2004, Quintana et al. 2007, Retana & Quintana 2009, Quillfeldt et al. 2011) (Tabla 1). Como se mencionó, la incorporación de sensores de profundidad a los dispositivos GPS, amplió el abanico de especies estudiadas en relación al comportamiento de alimentación de otras familias de aves marinas de la región tales como: Procellariidae (Adams et al. 2019, Bonnet-Lebrun et al. 2020, Baylis et al. 2021) y Suliidae (Weimerskirch et al. 2010, 2012, Zavalaga et al. 2010a, 2010b, Bertrand et al. 2012, Boyd et al. 2015, Lerma et al. 2020a, 2020b, Roy et al. 2022) (Tabla 1).

Los acelerómetros y magnetómetros como herramientas para la profundización del conocimiento del movimiento y comportamiento animal

Lo descrito hasta el momento, refleja una cierta hegemonía establecida por los dispositivos de posición (principalmente PTT y GPS) en el estudio del movimiento y comportamiento de las aves marinas que reproducen en Sudamérica. Esta observación es tan cierta para la región como para el resto del mundo. Si bien la posición geográfica de un animal es una fuente de información importante, resulta inútil para cualquier análisis en la tercera dimensión del espacio (i.e., altura y profundidad) y solo revela aspectos que apenas exploran la superficie del conocimiento referido a la ecología del movimiento y/o comportamiento. Por otro lado, en líneas generales, quienes se inician en esta disciplina desconocen (o conocen parcialmen-

te) los alcances (y las limitaciones) de la información recolectada por otro tipo de sensores diferente a los exclusivamente habilitados para obtener la posición de un animal en el espacio.

El objetivo de esta sección es introducir en forma breve, dos sensores ampliamente utilizados para estudiar el comportamiento y movimiento animal: los acelerómetros y los magnetómetros, y presentar las potencialidades y limitaciones de la información brindada por cada uno de ellos. Los acelerómetros tri-axiales, miden el cambio de velocidad de un cuerpo (o parte de él) que los porta y permiten cuantificar tanto la postura corporal como el movimiento a escala fina y precisa (Wilson et al. 2008a). La información provista por los acelerómetros corresponde a dos componentes principales: la aceleración estática, que permite calcular los ángulos de rolido y cabeceo y la aceleración dinámica que se relaciona con la frecuencia e intensidad del movimiento en los tres ejes del espacio (Fig. 1). El primer estudio en utilizar acelerómetros (en solo dos dimensiones) para determinar comportamientos fue realizado por Yoda y colaboradores (1999), en pingüinos de Adelia *Pygoscelis adeliae*. Este trabajo pionero fue capaz de mostrar si los animales estaban erguidos o en posición horizontal, si estaban caminando o saltando, y si se deslizaban o permanecían inmóviles.

Los sensores de aceleración han sido generalmente utilizados en forma combinada con otro tipo de sensores (ej. posición, profundidad, etc.) y nos referiremos a estos trabajos más adelante (ver Registradores multi-sensores). Sin embargo, el uso exclusivo de diminutos y livianos (< 3 g) sensores de aceleración en dos y tres dimensiones (i.e., como único dispositivo), constituye una poderosa herramienta a la hora de estudiar a escala fina la orientación y el movimiento de un cuerpo o parte de él. Un ejemplo claro de la profunda y detallada escala de análisis que es posible alcanzar con el uso de acelerómetros, lo constituye el

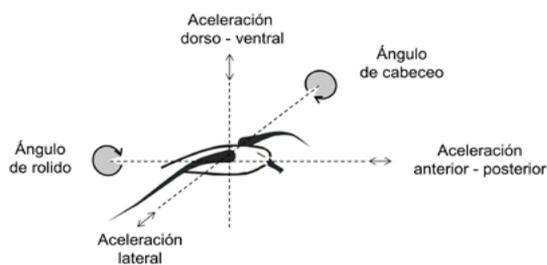


Figura 1. Diagrama ilustrando la relación entre la medición de la aceleración en cada una de las tres dimensiones, el ángulo de cabeceo y el ángulo de rolido con los movimientos corporales de un Albatros Ceja Negra (*Thalassarche melanophris*).

estudio realizado por Wilson y colaboradores (2017) en dos especies de aves marinas buceadoras: el Pingüino de Magallanes y el Cormorán Imperial. En este trabajo, los autores utilizaron sensores miniaturizados de aceleración ($4 \times 10 \times 40$ mm, < 3 g) colocados sobre la espalda y la cabeza de las aves y analizaron las diferencias de movimiento entre las respectivas partes del cuerpo en relación al balance energético durante la alimentación de ambas especies. Siguiendo una línea metodológica similar, Del Caño y colaboradores (2021) analizaron los movimientos a escala fina del cuerpo y la cabeza de pingüinos de Magallanes durante los buceos de alimentación, con el fin de determinar eventos de captura de presas mediante el uso de registros de aceleración (Fig. 2). En la actualidad, los mismos autores han desarrollado y utilizado, sensores miniaturizados de aceleración que, colocados sobre la cabeza de adultos y pichones de Cormorán Imperial, permitieron estudiar en detalle los comportamientos de solicitud, entrega, y cantidad de alimento transferido de padres a pichones durante los eventos de alimentación (Del Caño et al. 2024). Resulta evidente que el uso de acelerómetros como único bio-registro, o en forma combinada con otro tipo de sensores, es útil para identificar e incluso cuantificar con precisión, comportamientos y movimientos extremadamente sutiles y discretos. Por otra parte, también pueden develar comportamientos novedosos difíciles de registrar y cuantificar a simple vista o mediante registradores menos específicos. Recientemente, Guilford y colaboradores (2022) utilizaron sensores de aceleración en tres dimensiones y evidenciaron que sumergirse y realizar una búsqueda activa de presas puede ser una adaptación conductual significativa para algunas especies de albatros.

Una métrica importante, derivada de los sensores de aceleración, es el gasto energético que resulta de un movimiento y/o comportamiento realizado (Wilson et al. 2020). La determinación del gasto energético es importante incluso en cuestiones relacionadas a la conservación ya que constituye una medida clara de cuánto los animales deben esforzarse para alimentarse y sobrevivir, lo que obviamente varía con las circunstancias ambientales. La aceleración dinámica puede ser utilizada como un proxy del gasto energético a través de dos métricas: el ODBA (*Overall Dynamic Body Acceleration*) y el VeDBA (*Vectorial Dynamic Body Acceleration*). Si bien ambas medidas están fuertemente correlacionadas, el ODBA se utiliza principalmente cuando se quiere relacionar la información de acelerometría con gasto energético medido en términos de consumo de oxígeno (Qasem et al. 2012).

Trabajos experimentales realizados con pingüinos de Magallanes y Penacho Amarillo han mostrado un alto coeficiente de correlación (>0.8) entre ODBA y consumo de oxígeno, mientras las aves caminaban a diferentes velocidades sobre una cinta de entrenamiento aeróbico (Halsey et al. 2009, 2011). Claramente, la relación entre ODBA y gasto metabólico es actividad dependiente (Gómez-Laich et al. 2011) y, la utilidad de la acelerometría como indicador del gasto energético disminuye cuanto mayor es la proporción de actividades que implican inversión energética pero no involucran movimiento (ejemplo, la termorregulación) (Wilson et al. 2020). Los trabajos que hacen uso de la aceleración como indicador del gasto energético de aves marinas de la región son escasos y se limitan al Pingüino de Magallanes (Wilson et al. 2010, Sala et al. 2015), el Cormorán Imperial (Shepard et al. 2009, Gómez-Laich et al. 2011, Wilson et al. 2012, Gómez-Laich et al. 2013, 2022), el Pingüino Papua (Masello et al. 2017) y el Piquero Peruano (Clark et al. 2022) (Tabla 1). En 2012, Wilson y colaboradores, presentaron el

concepto de Paisaje Energético (*Energy Landscape*), un concepto innovador que hace referencia al costo energético que enfrentan las aves al alimentarse en una u otra zona del océano (Wilson et al. 2012). Los paisajes energéticos tienen el potencial de explicar por qué individuos de una población particular forrajean donde lo hacen y, además, establece conexiones entre el comportamiento de forrajeo, el éxito reproductivo, la dieta consumida e, incluso, los parámetros poblacionales. A pesar de la importancia de este concepto, solo ha sido considerado en una especie de pingüino *Pygoscelis papua* en Islas Malvinas (Masello et al. 2017).

Por su parte, los magnetómetros (i.e., sensores de campo magnético) colocados sobre un cuerpo permiten determinar la orientación del mismo respecto al campo magnético terrestre (Cotter 1978). Estos sensores, en comparación a los acelerómetros, son menos sensibles a la posición del cuerpo donde se los coloca, pero más sensibles a errores de medición generados por distorsiones magnéticas (Gebre-Egziabher et al.

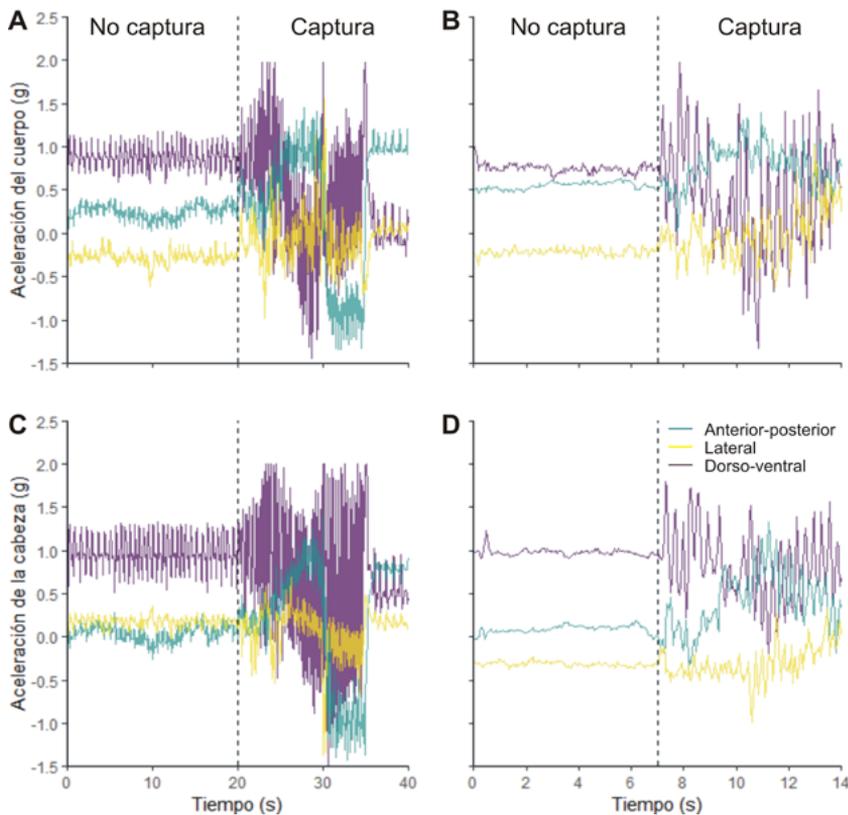


Figura 2. Registros de aceleración de los canales anterior-posterior, lateral y dorso-ventral del cuerpo y de la cabeza de un Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) durante un periodo control y durante la captura de una presa en la fase de fondo de un buceo (A y C) y en la fase de ascenso de un buceo (B y D). *Figura extraída de Del Caño et al. 2021.*

2006). El uso combinado y de manera simultánea de sensores de aceleración y campo magnético (ver abajo dispositivos *Daily Diary*) permite una reconstrucción sumamente detallada de una trayectoria con registros que pueden superar los 100 datos por segundo (100 Hz). A diferencia de otras tecnologías de reconstrucción de trayectorias como la telemetría satelital (PTT

y GPS), este método no requiere la transmisión de una señal, por lo tanto, como se mencionó anteriormente, mediante navegación por estima (cálculo de rumbo) es posible reconstruir en forma detallada, la trayectoria de un animal que se encuentra bajo tierra, debajo del agua (Fig. 3), o en ambientes completamente cubiertos de vegetación densa que limitarían o impedirían la transmisión de cualquier tipo de señal. Williams y colaboradores (2017) identificaron patrones de movimiento de varias especies de animales, incluido el Pingüino de Magallanes, con el uso de magnetómetros tri-axiales. En Sudamérica, la incorporación de magnetómetros combinados con sensores de aceleración ha sido utilizada solo para estudiar movimientos a escala fina de pingüinos de Magallanes desplazándose en tierra y agua (Gunner et al. 2021a, 2021b, Quintana et al. 2022) (Tabla 1).

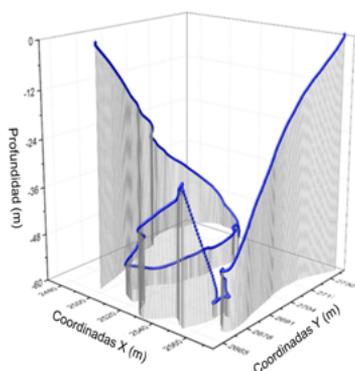


Figura 3. Perfil de buceo y trayectoria debajo del agua de un Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) alimentándose frente a las costas de Argentina. *Figura adaptada de Wilson et al. 2008*

Si bien el desarrollo tecnológico actual permite una frecuencia muy alta (> 100 Hz) de registro de datos de aceleración y campo magnético, a medida que dicha frecuencia aumenta, disminuye la cantidad de horas que un dispositivo puede registrar debido a las restricciones impuestas por los tamaños de las baterías. Por otra parte, la capacidad de almacenamiento en las memorias de los bio-registradores está sometida al compromiso y la necesidad de mantener los dispositivos lo más pequeños y livianos posibles (ver abajo, efectos de los bio-registradores). Para optimizar la relación entre la precisión en la identificación o determinación del movimiento o comportamiento y la frecuencia de registros es aconsejable seguir la regla de Nyquist o *Sampling Theorem* (Shannon 1949). La misma establece que la frecuencia de toma de datos debe ser al menos el doble que la frecuencia del movimiento o comportamiento a estudiar (e.g. Yu et al. 2023).

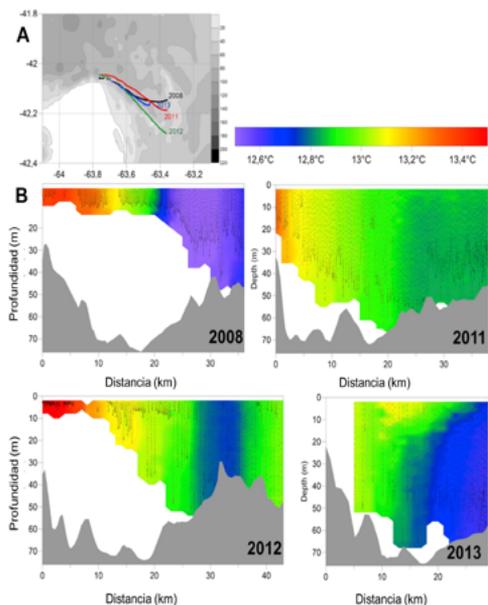


Figura 4. Perfiles de temperatura y profundidad de la columna de agua explorada por pingüinos de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) durante los buceos de alimentación de cuatro temporadas reproductivas. A) Localización espacial de las secciones de cuatro viajes de alimentación seleccionados durante diferentes años. B) Perfiles de temperatura, i.e., secciones verticales de temperatura vs. distancia a la posición más occidental. La zona en gris corresponde a la topografía del fondo del área explorada. Los puntos negros representan la posición de los registros obtenidos por los dispositivos. *Figura extraída de Sala et al. 2017.*

Registradores multi-sensores, el caso del Daily Diary

Como se mencionó anteriormente, tanto en Sudamérica como en el resto del mundo, los registradores de posición han sido utilizados en una amplia variedad de aves marinas. Su uso se concentró fundamentalmente en el estudio de los patrones de uso del espacio horizontal y su aplicación a cuestiones de conservación, como la determinación de áreas marinas protegidas (Lascelles et al. 2012) y más específicamente, de áreas marinas de importancia para las aves (Falabella et al. 2009, Dellacasa et al. 2018). Sin embargo, si bien importante, el manejo exclusivo de este tipo de registros no es suficiente para considerar las causas subyacentes de las amenazas a las que las

poblaciones están expuestas ya que por su complejidad podrían no resultar evidentes en el corto plazo. Por lo tanto, el registro simultáneo de una serie de variables biológicas importantes a partir del uso de registradores multi-sensores (RMS), no solo esclarece la interpretación de los fenómenos biológicos, sino que puede acelerar y mejorar la utilidad de las medidas de conservación (e.g. Sequeira et al. 2019). Esto advierte fuertemente acerca de la necesidad e importancia del uso simultáneo de dispositivos electrónicos capaces de registrar múltiples parámetros para obtener una imagen más completa del comportamiento, la ecología y los requerimientos de las especies estudiadas.

Los *Daily Diaries* (DD, *sensu* R.P. Wilson) (Wilson et al. 2008a) son sofisticados instrumentos que fueron concebidos para estudios integrales sobre comportamiento y ecología de vertebrados, incluyendo peces, reptiles, aves y mamíferos. Sin embargo, en sus primeras versiones, estos dispositivos multi-sensores fueron diseñados y utilizados en investigaciones sobre pingüinos, principalmente en el Pingüino de Magallanes (e.g. Wilson et al. 2001, Wilson 2004) (Tabla 1). El Cormorán Imperial es otra especie, cuyo comportamiento, movimiento y energética fueron detallada y ampliamente estudiados a través de registradores multi-sensores tecnológicamente avanzados (Wilson et al. 2006, Gómez-Laich et al. 2008, 2012, Shepard et al. 2009, Quintana et al. 2011, Gómez-Laich et al. 2013, Bidder et al. 2014, Krishnan et al. 2022) (Tabla 1).

Básicamente, los DD miden cuatro elementos principales: la ubicación y el movimiento, el comportamiento, el gasto de energía y las características del ambiente donde los animales se desenvuelven (ver abajo). El DD utiliza el principio de navegación por estima para determinar los movimientos de los animales (ver arriba). Este cálculo requiere conocer una posición inicial (nominalmente la posición de liberación del animal equipado), y posteriormente, se utiliza el conocimiento de la velocidad del animal, la dirección y el cambio en la altura en cálculos vectoriales para derivar nuevas posiciones con respecto a las conocidas previamente (Wilson et al. 2007). El uso de la navegación por estima en lugar de la telemetría de transmisión para determinar la posición del animal (la metodología estándar utiliza telemetría acústica o de radio) permite que el DD funcione continuamente, independientemente de las condiciones, y así puede proporcionar datos sobre los movimientos sin importar si el portador del dispositivo está bajo el agua, bajo tierra, etc. (Fig. 3). En las trayectorias reconstruidas por navegación por estima, los

errores en la posición absoluta tienden a acumularse con el tiempo (aunque los errores en la posición relativa se reducen con una menor separación temporal de los datos), y el grado de estos errores depende críticamente de si el animal equipado es terrestre, volador o acuático (Wilson et al. 2008a).

En resumen, los DD constituyen un bio-registrador bastante más complejo que un GPS y presentan una combinación de sensores de movimiento dentro de un mismo dispositivo, que los convierte en una herramienta tecnológica precisa y eficiente para la determinación de comportamientos en base a la caracterización del movimiento o la falta de él (Wilson et al. 2008a). Así, los DD utilizan un acelerómetro de tres ejes (o dimensiones) en tándem con una brújula direccional (o magnetómetro) y permiten monitorear la aceleración, el movimiento corporal y la orientación del cuerpo de un animal en movimiento en tres dimensiones. Algunos ejemplos de este tipo de estudios en aves marinas de Sudamérica han sido citados recientemente y hasta el alcance de nuestro conocimiento, esta potente tecnología no ha sido utilizada en otras especies de aves marinas en la región.

Las características del ambiente

Las aves marinas pueden ser fácilmente utilizadas como plataformas biológicas de registro y monitoreo de variables ambientales cuando son equipadas con registradores que incluyen sensores capaces de medir las propiedades físicas y químicas del océano (Sala et al. 2017). En el contexto actual de cambio climático y la modificación rápida del hábitat, la comprensión de los factores ambientales que determinan los movimientos de las aves marinas y su distribución se torna crucial para predecir su capacidad de respuesta frente a las condiciones cambiantes y, en última instancia, las consecuencias ulteriores sobre la dinámica de las poblaciones (Nathan 2008, Fort et al. 2012).

Típicamente, los sensores de temperatura y luz han sido de los primeros incluidos en diferentes tipos de bio-registradores (ver Wilson et al. 2002 para una descripción detallada). A partir de los trabajos pioneros en aves marinas de Antártida (Wilson 1992), la idea de registrar las características del ambiente donde las aves marinas se alimentaban fue cobrando cada vez más entusiasmo en el ambiente científico e incluso alcanzó el ámbito de la conservación marina con intento de enfoque ecosistémico. Sin embargo, aunque este concepto haya ganado cierta popularidad, nunca se desarrolló una evaluación crítica de las características tecnológicas necesarias que lo hicieran

genuinamente factible, principalmente en relación a la calidad de los registros. Por otra parte, tampoco se ha examinado en profundidad qué características del comportamiento de las aves marinas podrían resultar claramente ventajosas para el registro de las características físicas del mar. Así, al equipar aves marinas como plataformas de muestreo del ambiente, es necesario tener en cuenta tres detalles principales: la precisión de las posiciones, la calidad de los datos ambientales registrados y la utilidad del régimen de muestreo que las aves proporcionan en virtud de su comportamiento (Wilson et al. 2002). Como se mencionó, hasta la fecha, la temperatura y la luz son los parámetros ambientales que se han monitoreado con mayor frecuencia a través de las aves marinas. Sin embargo, dados los avances actuales en tecnología de estado sólido, la situación ha comenzado a cambiar y otras características físicas y químicas del océano comienzan a ser registradas y cuantificadas (ver abajo).

En Sudamérica, existen muy pocos estudios publicados en los que se hayan equipado individuos con el fin de estudiar las características del ambiente

que utilizan y mucho menos su relación con la distribución y abundancia de las presas principales. Una excepción a esta regla puede encontrarse en Sala et al. 2017. En dicho trabajo, los autores utilizaron pequeños dispositivos colocados en 33 pingüinos de Magallanes a partir de los cuales obtuvieron más de 20 000 perfiles geolocalizados de temperatura en toda la columna de agua. Los registros de la temperatura superficial del mar, fueron comparados con aquellos obtenidos por sensores remotos satelitales. A su vez, los registros de temperatura en toda la columna de agua fueron utilizados para describir la dinámica y la variación interanual de las termoclinas dentro del frente de marea de Península Valdés, Argentina (Fig. 4). Interesantemente, los perfiles geolocalizados de profundidad y temperatura obtenidos a partir de los registros provenientes de bio-registradores, también han sido utilizados en modelos multidimensionales para estudiar la segregación espacio-temporal de las áreas de forrajeo de cuatro especies de aves marinas en colonias de las Islas Malvinas (Masello et al. 2010).

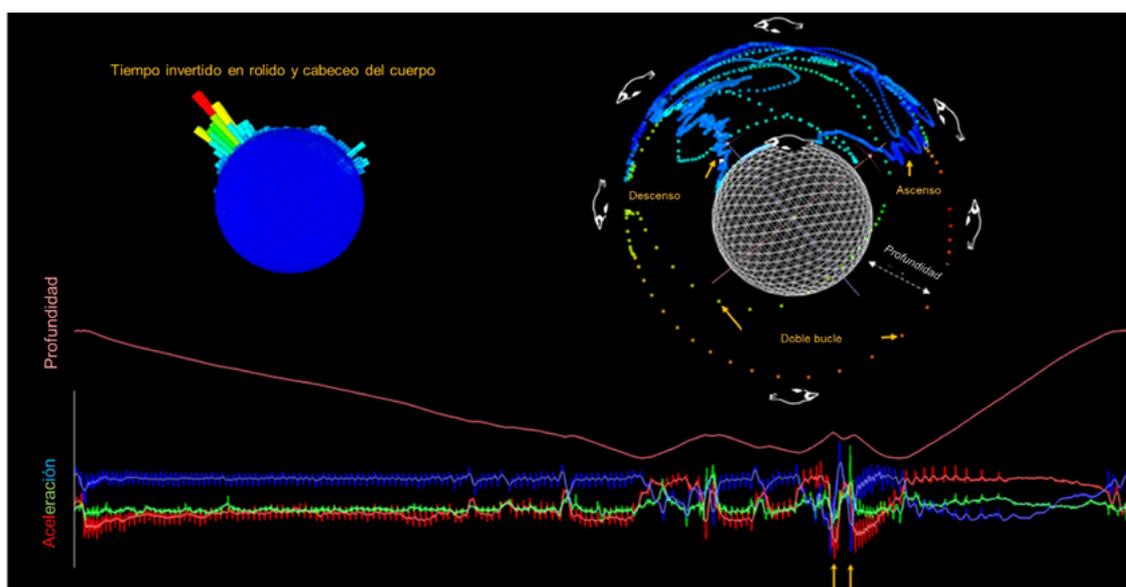


Figura 5. Ilustración sobre cómo las técnicas de visualización permiten identificar comportamientos. La figura muestra el perfil de profundidad de un buceo de un Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) (profundidad máxima 38.7 m, duración 107 s) y las señales de aceleración en tres dimensiones (azul, aceleración dorso-ventral; rojo, aceleración anterior-posterior; verde, aceleración lateral). La misma información puede ser representada por una g-esfera (a la derecha) donde se muestra la cantidad de tiempo que el animal presentó un determinado ángulo de rolido y de cabeceo (derivados de los datos de aceleración). Cuando el ave tiene el cuerpo horizontal (hacia arriba), los datos se sitúan en el polo norte. Con el cuerpo totalmente invertido, los datos se sitúan en el polo sur. Un ave que cabecea hacia abajo a 90° ocupa el extremo izquierdo de la esfera, mientras que un ave que cabecea hacia arriba a 90° ocupa el extremo derecho de la esfera. La profundidad se indica mediante la distancia radial desde la esfera. La secuencia temporal de la inmersión se indica con la línea de puntos (datos espaciados cada 0,025 s), comenzando en la superficie del agua (con el pingüino en el polo norte de la esfera). Los puntos de datos se colorean además según la desviación de la suma vectorial de los datos de aceleración con respecto a 1 g, donde colores más cálidos indican valores más altos, es decir cuando el ave gira rápidamente ("g más alto"). Las representaciones normales de una g-esfera muestran que los datos de las inmersiones de los pingüinos ocupan casi por completo la mitad superior de la esfera. Los puntos de datos que pasan dos veces por debajo de la esfera, indican que el pingüino hizo un doble giro de su cuerpo (doble bucle, indicado por dos flechas amarillas en los datos 2D de aceleración vs. tiempo). Este comportamiento no había sido observado nunca luego del examen de miles de inmersiones de pingüinos de Magallanes. La esfera de la izquierda representa la densidad de puntos en la g-esfera, indicando cuánto tiempo el ave pasó en diferentes ángulos de inclinación del cuerpo durante toda la inmersión.

Los dispositivos integrados al cuerpo ("wearable sensors")

Muchos de los sensores y de la tecnología portátil diseñada en la actualidad para los seres humanos, podrían ser adaptados a los organismos marinos para aumentar la capacidad de monitoreo de los océanos y obtener registros relacionados con la condición corporal (i.e., parámetros sanguíneos, variables fisiológicas, etc.) de los individuos instrumentados. Recientemente, Kaidorova y colaboradores (2023), han analizado el potencial de una variedad de tecnologías de sensores flexibles, adaptables e imperceptibles para ser modificadas para su uso en diversos animales marinos y han resaltado la necesidad de considerar simultáneamente sistemas de comunicación submarina compatibles para facilitar la recuperación de los datos provistos a partir de estas innovaciones tecnológicas. En este sentido, modernos sensores basados en nanomateriales pueden permitir la evaluación de cambios fisiológicos en animales marinos mediante la medición de parámetros internos, tales como hormonas y metabolitos (Xiao et al. 2016), así como la química de los fluidos corporales y tejidos (Saylan et al. 2019), además de la temperatura corporal (Davaji et al. 2017), la frecuencia respiratoria (Kano et al. 2017), la actividad cardíaca (Parpura 2016), la actividad neural (Kumar et al. 2017) y las actividades locomotoras (Chen et al. 2014). Por otra parte, el desarrollo reciente de nanosensores de fluorescencia implantables, sensores basados en micro-agujas, sensores epidérmicos tipo tatuaje, sensores multifuncionales de grafeno y los sistemas de piel magnética (ver Kaidorova et al. 2023) constituyen un enfoque prometedor para adquirir simultáneamente conjuntos de datos fisiológicos previamente inaccesibles en organismos marinos. Sin bien excitante, toda esta gama de sensores adheribles al cuerpo se encuentra aún bajo un escenario tecnológicamente desafiante debido a la brecha tecnológica actual de las herramientas desarrolladas para operaciones humanas en tierra y en el espacio en comparación con las del océano.

ANÁLISIS Y VISUALIZACIÓN DE DATOS PROVENIENTES DE BIO-REGISTRADORES

Un problema fundamental en el análisis de datos provenientes de registradores de múltiples sensores es cómo interpretar de la mejor manera tal riqueza de información y transformarla en resultados concretos y válidos. Muchas veces, lo que consideramos concreto y válido, representa solo un conocimiento parcial de una realidad posible y, en la mayoría de los casos nos conformamos con la indagación superficial del

tema de estudio, presionados por el deber de publicar, el agotamiento derivado de la innovación y la profundización del conocimiento, o porque simplemente creemos que los resultados obtenidos son suficientes y justifican su publicación ante escenarios de falta de datos o información referida al objeto o tema de estudio. Obviamente, las "estadísticas estándar" funcionan lo suficientemente bien, pero la complejidad de la información y por lo tanto de su análisis, puede dar lugar a pasar por alto resultados importantes. Una manera relativamente novedosa de abordar dicha complejidad es mediante una adecuada visualización de los datos, donde los parámetros pueden ser contrastados entre sí en gráficos multidimensionales que incorporan posición, color y tamaño, entre otras herramientas visuales, de modo que los resultados se vuelvan aparentes (Fig. 5). Por otra parte, es importante destacar que, dentro de los sofisticados programas de visualización, los datos crudos y sus derivados (como datos suavizados o diferenciales) pueden ser cambiados y examinados de manera efectiva e instantánea. Los seres humanos tienen una capacidad enormemente desarrollada para identificar tendencias visuales, por lo que este enfoque se presta a una inspección emocionante de los datos (Banissi et al. 2014). Este es un campo de análisis aún muy poco explorado en el rico dominio del bio-registro. La figura 5 muestra un claro ejemplo de la utilidad de las nuevas herramientas de visualización para la interpretación, análisis e incluso el descubrimiento de movimientos y/o comportamientos novedosos.

Otra poderosa herramienta particularmente útil para el análisis de grandes volúmenes de datos como aquellos provenientes de los bio-registradores (ej. aceleración), es el uso de los algoritmos provenientes del Aprendizaje de Máquinas o *Machine Learning*. Los trabajos con aves marinas de Sudamérica que aplican dicha herramienta son recientes y se limitan a solo dos especies: el Pingüino de Magallanes (Del Caño et al. 2021, ver arriba) y el Cormorán Imperial (Del Caño et al. 2024, ver arriba).

EL LADO OSCURO DE LOS BIO-REGISTRADORES Y SU USO RESPONSABLE

Si bien los dispositivos electrónicos colocados sobre las aves pueden proporcionar información increíble sobre la biología, movimiento y comportamiento de los animales portadores, el valor científico de esa información depende de que los animales se muevan y comporten de manera normal. Además, tenemos el

deber moral de minimizar cualquier perjuicio animal y maximizar su bienestar. En este análisis, deliberadamente ignoraremos el papel de los estresores relacionados a la captura y manipulación de los individuos a ser equipados con tecnología, aunque reconocemos su existencia e importancia (Wilson & McMahon 2006), y nos concentraremos en una síntesis referida al perjuicio derivado de los propios instrumentos. El objetivo específico es alertar a quienes se adentren en el uso de bio-registradores acerca de un uso consciente y responsable, tanto ética como científicamente.

El cuestionamiento básico para aquellos investigadores que pretendan estimar el efecto de los dispositivos es considerar, cómo su uso podría cambiar la biología de los animales. Frecuentemente, esto básicamente se resuelve comparando variables biológicas de individuos con y sin dispositivos. Algunos ejemplos en aves marinas incluyen el análisis de las duraciones de los viajes de alimentación, las tasas de aprovisionamiento y crecimiento de pichones, etc. (Vandenaabeele et al. 2011). Si bien válido, este enfoque se basa en las consecuencias más que en los mecanismos del efecto a estudiar y no resulta ideal ya que existe una variedad casi infinita de parámetros biológicos que podrían modificarse al equipar aves u otras especies con dispositivos de cualquier tipo. A nuestro entender, es más criterioso y aconsejable pensar primero de manera mecanicista acerca de los efectos de los dispositivos. Después, podremos aplicar nuestro razonamiento a los posibles cambios biológicos una vez que tengamos una idea más clara del impacto físico causado por los instrumentos.

Las leyes de la mecánica clásica (Newton mediante) nos indican que un punto de partida crítico es reconocer que es imposible instrumentar a un ave sin afectar su capacidad de operación. El desafío es cuantificar este cambio. Las aves marinas tienen que moverse en dos medios muy diferentes, aire y agua, y los efectos físicos de los dispositivos se manifiestan de manera diferente. Sin embargo, ya sea en el aire o bajo el agua, las aves marinas en movimiento se enfrentan a cuatro fuerzas principales: el peso, la sustentación, el empuje y el arrastre. Consideraremos primero el vuelo. Cuando un ave se involucra en vuelo nivelado, su peso debe ser equilibrado por la sustentación y esta sustentación se genera por el movimiento del aire sobre las alas. Cuanto más rápido se mueva el aire, mayor será la sustentación, de manera que, para contrarrestar su propio peso, un ave que vuela normalmente debe tener una velocidad de aire apropiada (Pennycuick 2008). Si esa ave se vuelve más pesada

debido a la sujeción (interna o externa) de cualquier dispositivo, debe volar más rápido para proporcionar una mayor sustentación y hacer frente al peso adicional. La velocidad proviene del empuje impartido por las alas y eso requiere energía. En resumen, las aves que vuelan más rápido usan más energía por unidad de tiempo (i.e., potencia). Además, una velocidad aumentada produce un incremento del arrastre, una fuerza que se opone a la dirección del movimiento. La potencia requerida para vencer el arrastre aumenta con el cubo de la velocidad. Esto resulta crítico desde el punto de vista energético ya que las aves que vuelan más rápido para proporcionar suficiente sustentación y compensar un dispositivo anexo a su cuerpo, rápidamente se encuentran con costos energéticos que aumentan desproporcionadamente. Esta situación empeora cuando los dispositivos se colocan en la parte externa del cuerpo ya que aumentan el arrastre por encima del generado por el propio cuerpo de las aves. Existen pocas mediciones del arrastre causado por dispositivos externos en aves vivas, pero Pennycuick y colaboradores (2012) señalaron que el arrastre total de los estorninos rosados en un túnel de viento aumentó en un 50% cuando tenían una protuberancia dorsal simple (virtualmente sin peso) de solo 6 mm. Los autores razonaron que el arrastre adicional se debió a que la protuberancia causaba la separación de la capa límite sobre la parte posterior y superior del cuerpo del ave. Por lo tanto, incluso los dispositivos externos más pequeños pueden causar un gasto energético adicional significativo.

Por otra parte, se espera que la resistencia también aumente con el aumento del área transversal de un dispositivo. Así, la altura de los instrumentos desempeña un papel clave y específico. Los dispositivos más altos provocan un aumento de la resistencia al encontrar velocidades más altas del flujo de aire en la medida que se alejan del cuerpo del ave (el flujo de aire inmediatamente adyacente al cuerpo del animal es más bajo debido a la 'fricción de la piel', y aumenta con la distancia). Esto es particularmente relevante para estudios de aves marinas buceadoras que utilizan dispositivos provistos de antenas externas (ver abajo), aunque el uso de antenas más delgadas y flexibles proyectadas hacia atrás puede ayudar a reducir este perjuicio (Wilson et al. 2004).

El efecto del peso de los instrumentos también varía con la posición en la que están colocados en el cuerpo. Al igual que con las aeronaves, el efecto de un peso adicional dado, depende de la distancia de ese peso al centro de gravedad. Nuevamente, esto está

bien descrito por conceptos simples de la física. Una medida de las fuerzas ejercidas por un dispositivo depende del torque (Nm), que es equivalente a la fuerza ejercida por dicho dispositivo (en Newtons) como resultado de su peso multiplicado por la distancia al centro de gravedad (en metros). Su equivalente se conoce como torque inducido por carga en la industria de la aviación (ver Vandenabeele et al. 2014). Así, resulta sencillo calcular el torque ejercido por un dispositivo como un porcentaje de la masa corporal y, dicha información podría ser proporcionada por los investigadores. Aunque es algo más complejo cuantificar el efecto del torque sobre la energética del vuelo, es razonable pensar que torques más altos resultarán en problemas crecientes de control de vuelo. Ejemplos claros de los efectos físicos del torque pueden observarse cuando los dispositivos son colocados en las plumas de la cola de las aves (esperando se produzca una resistencia total más baja que la de un instrumento montado en el centro del cuerpo (Bannasch et al. 1994). En este sentido, Vandenabeele et al. (2014) observaron que los alcatraces equipados en la cola cambiaron los típicos desplazamientos en planeo por vuelos con aleteo que resultan energéticamente mucho más costosos.

En el mundo del bio-registro existe un paradigma generalizado y mansamente aceptado referido al *status quo* del uso de registradores que representen menos del 5% de la masa corporal de los individuos portadores (Kenward 2001). Dicho paradigma, no tiene un basamento teórico robusto. De hecho, el modelado de los costos de vuelo en aves con y sin dispositivos indica claramente que esta regla no equivale a un incremento energético del vuelo del 3-5% y que rápidamente puede ascender al doble de ese valor (Vandenabeele et al. 2012). La aceptación sin miramientos de la normativa de menos del 5% no es razón suficiente para suponer la ausencia de efectos de los dispositivos sobre la operatividad de los individuos portadores.

Para las aves marinas que se desplazan bajo el agua, la situación cambia ligeramente. En primer lugar, el peso del instrumento generalmente se ve en gran parte compensado o anulado por el empuje provocado hacia la superficie por la columna de agua. Esto se debe a que la fuerza total ejercida hacia abajo por el instrumento (exceptuando otras posibles fuerzas generadas por la forma del mismo) está dada por la masa del dispositivo menos la fuerza de empuje hacia arriba, dada por el volumen del registrador multiplicado por la densidad del agua de mar. Así, la fuerza total ejercida hacia abajo puede ser fácilmente calculada (ver Vandenabeele et al. 2014) y su valor, referido en

las investigaciones realizadas. Cuando la densidad del dispositivo es exactamente la misma que la del agua de mar, no hay una fuerza total ejercida hacia abajo (ni hacia arriba). Todas las aves marinas bajo el agua, excepto algunos cormoranes, presentan una flotabilidad general positiva (Wilson et al. 1992), por lo que el uso de instrumentos más densos que el agua de mar puede incluso reducir el gasto energético del desplazamiento debajo del agua. Por otra parte, debajo del agua, donde las fuerzas ejercidas hacia abajo por los dispositivos se encuentran reducidas, también se anula en gran medida el problema de torque que mencionamos para las aves en vuelo (ver arriba). En contraposición, debajo del agua, los problemas de arrastre, tal como se describen para las aves voladoras, pueden ser severos. En este sentido, trabajos experimentales utilizando pingüinos como especies modelo, han demostrado que la colocación de instrumentos en el extremo posterior de la espalda (i.e., espalda baja) es la más adecuada, ya que el arrastre incremental causado por el dispositivo aumenta progresivamente detrás del punto de sujeción (Bannasch et al. 1994). Muchas aves marinas buceadoras nadan sorprendentemente rápido bajo el agua (los pingüinos son un claro ejemplo) (Watanabe et al. 2011), por lo que se espera que los problemas de arrastre debido a los registradores externos sean sustanciales. Debido a la forma y otras características de sus cuerpos, los buceadores de persecución presentan coeficientes de arrastre notablemente bajos. De hecho, los pingüinos tienen el coeficiente de arrastre más bajo que cualquier cuerpo medido, artificial o de otro tipo (Ainley & Wilson 2023), por lo que el incremento de la fuerza de arrastre derivada de un dispositivo puede tener efectos profundos en la energética de la natación (Ainley & Wilson 2023) y en las velocidades máximas que estas aves pueden alcanzar debajo del agua (Vandenabeele et al. 2015). Los efectos potenciales del arrastre deben ser analizados para ambos parámetros considerando las velocidades normales de nado, las velocidades de captura de presas, el tipo de presa y la distribución y abundancia de las mismas. Las aves marinas que se alimentan principalmente de presas bentónicas, como la mayoría de los cormoranes, se mueven relativamente despacio a lo largo del fondo (Wilson et al. 1988), extendiendo sus largos cuellos para capturar presas que intentan escapar (Wilson et al. 2017). Por ende, mientras se desplazan en el lecho marino, no experimentan un arrastre notablemente elevado, incluso con dispositivos adheridos (aunque lo experimentarán durante descensos y ascensos rápidos), dado que no alcanzan velocidades donde el incremento cúbico de la potencia con respecto a la velocidad

(como se mencionó anteriormente) sea significativo. Así, es razonable pensar que aquellas especies de aves marinas que bucean a altas velocidades, como los pingüinos que se desplazan más rápido que cualquier otro vertebrado marino (Ainley & Wilson 2023), estén especialmente afectadas por el aumento del arrastre causado por la portación de dispositivos externos. El incremento del arrastre no solo reduce la máxima velocidad de desplazamiento, lo que probablemente impida la captura de presas rápidas (Vandenabeele et al. 2015), sino que también aumenta el costo del movimiento, reduce la duración de las inmersiones y la profundidad máxima alcanzada (Ropert-Coudert et al. 2000). Ante un aumento del arrastre, las aves pueden mantener su potencia de nado normal disminuyendo la velocidad, como se ha observado en el caso del Pingüino Africano *Spheniscus demersus* (Wilson et al. 1986), o continuar nadando a velocidad normal, con mayor

gasto energético. Ambas opciones resultan en un mayor costo de transporte (Ainley & Wilson 2023) y hacen que la búsqueda de alimento sea menos eficiente en términos energéticos. Dado que la mayoría de los estudios realizados en aves marinas han sido realizados durante la temporada de crianza de pichones, cuando los adultos trabajan arduamente para alimentar a su descendencia, la interacción de la energética del movimiento con la accesibilidad de las presas puede ser crítica. Un estudio llevado a cabo en Argentina (Wilson et al. 2015) evaluó los impactos de dispositivos de diversos tamaños en la capacidad de los pingüinos de Magallanes para alimentar eficientemente a sus crías, señalando un aumento desproporcionado y acelerado de los efectos negativos de los dispositivos a medida que la abundancia de presas disminuía. Esto se relaciona con un trabajo realizado en el Océano Índico en el Pingüino Rey, que demostró un aumento de la mor-

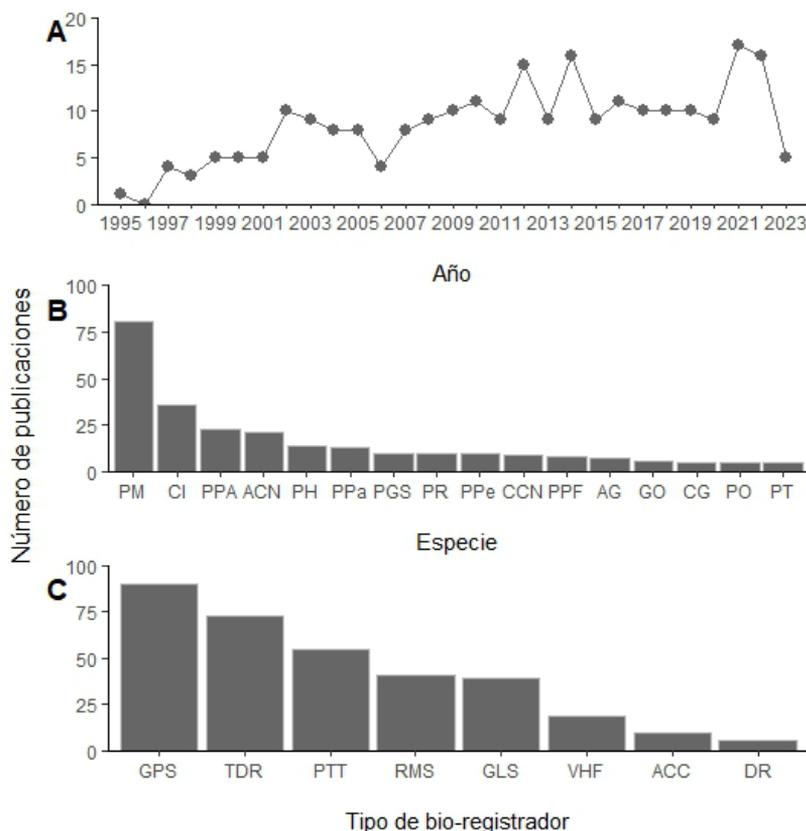


Figura 6. Número de artículos publicados entre 1995 y 2023 (A) donde se utiliza algún tipo de bio-registrador en aves marinas de Sudamérica, (B) por especie* y (C) por tipo de bio-registrador utilizado**. Los artículos dónde aparecen dos o más especies y en los que se utiliza más de un tipo de bio-registrador fueron contabilizados separadamente.

(*) solo se muestran las especies para las cuales se encontraron al menos 5 artículos (PM: Pingüino de Magallanes, CI: Cormorán Imperial, PPA: Pingüino Penacho Amarillo, ACN: Albatros Ceja Negra, PH: Pingüino de Humboldt, PPa: Pingüino Papúa, PGS: Petrel Gigante del Sur, PR: Pingüino Rey, PPe: Piquero Peruano, CCN: Cormorán Cuello Negro, PPF: Prión Pico Fino, AG: Albatros de Galápagos, GO: Gaviota de Olrog, CG: Cormorán Guanay, PO: Pardela Oscura, PT: Petrel de Trinidad).

(**) GPS: Geoposicionador satelital, TDR: Registrador de profundidad, PTT: Transmisor satelital, RMS: Registrador de múltiples sensores, GLS: Geolocalizador, VHF: Radiotransmisor, ACC: Acelerómetro, DR: Dead-reckoner.

talidad de adultos equipados con bandas en las aletas (también un tipo de dispositivo externo) relacionado con la disponibilidad de presas (Saraux et al. 2011). Finalmente, como se mencionó más arriba, las antenas externas generalmente provistas en los dispositivos satelitales (PTT) pueden provocar un incremento de más del 100% del gasto energético durante la natación, dependiendo de la velocidad del movimiento, las características y la posición de la antena (Wilson et al. 2004). A pesar de las pruebas contundentes presentadas por investigaciones publicadas hace 20 años y las numerosas recomendaciones emitidas por comités internacionales de cuidado y bienestar animal, todavía es común encontrar investigaciones que utilizan esta tecnología perjudicial en aves marinas buceadoras en la actualidad.

Además de los pocos trabajos mencionados recientemente, los estudios relacionados con los efectos de los bio-registradores (u otro tipo de marcación) sobre la operatividad y costo energético de las aves portadoras, son prácticamente inexistentes en la región. Una excepción a esta regla lo constituye una publicación reciente (Gómez-Laich et al. 2022) acerca del impacto, en términos energéticos y de eficiencia de natación, que puede causar el uso de anillos plásticos de marcación individual cuando son colocados en las patas de aves marinas que se propulsan con dichas extremidades durante el buceo. En este sentido, los autores mostraron que las aves anilladas, especialmente las hembras, exhibieron una mayor amplitud de pataleo que los individuos sin anillo y que la eficiencia de natación durante la fase de descenso del buceo se vio disminuida en un 4% (Gómez-Laich et al. 2022). Por otra parte, Ludynia et al. 2012 y Quillfeldt et al. 2012, han evaluado el impacto de la manipulación y la instrumentación con bio-registradores en el Pingüino de Penacho Amarillo y el Prión de Pico Fino, respectivamente.

Otro punto a considerar, aun cuando los efectos negativos sobre las aves sean minimizados, es cuál es el número mínimo de animales a instrumentar y obtener, a su vez, resultados representativos. En la mayoría de los casos, el número de animales equipados está sujeto principalmente a la disponibilidad de instrumentos adquiridos que, en general, depende de la cantidad de fondos disponibles para la investigación. Durante la adquisición y colocación de instrumentos, los aspectos éticos relacionados al bienestar animal no son generalmente considerados (Soanes et al. 2013). Así, cualquier análisis previo de la optimización del uso de tecnología se convierte en una herramienta útil para el uso eficiente de los fondos

y el tiempo invertido en la toma y análisis de datos y contempla, a su vez, aspectos éticos relacionados al bienestar animal, evitando una manipulación excesiva de individuos (Soanes et al. 2013). De acuerdo a nuestro conocimiento, en el campo de las investigaciones con aves marinas en Sudamérica, no existen aún estudios publicados que intenten determinar el número mínimo de animales a instrumentar para obtener resultados representativos.

Por último, una evaluación integral de cómo nuestras acciones afectan a las aves marinas que equipamos con diversos registradores debe considerar tanto las características físicas de los instrumentos y su colocación, como los aspectos biológicos propios de las aves y del entorno en el que se desenvuelven; y esto sin duda representa una tarea de gran complejidad.

PANORAMA SUDAMERICANO

El primer registro bibliográfico del uso de algún tipo de bio-registrador en aves marinas de Sudamérica corresponde a 1995. En esa oportunidad, Wilson y colaboradores (Wilson et al. 1995) colocaron dispositivos GLS (ver arriba) en 10 adultos reproductores de Pingüino de Magallanes de Península Valdés, Argentina. Esos registros indicaron que, durante la incubación, los adultos de la que se convertiría en una de las especies de aves marinas más y mejor estudiadas en Sudamérica (ver abajo), explotaban áreas marinas ubicadas, en promedio, a más de 100 km del sitio de nidificación. A partir de estos datos seminales, las investigaciones del movimiento y comportamiento en el mar de las aves marinas de Sudamérica se mantuvieron, en forma ininterrumpida, hasta la actualidad. A partir de la primera década del año 2000, el número de trabajos publicados aumentó considerablemente, alcanzando un máximo de 17 publicaciones en 2021 (Fig. 6A).

El continuo desarrollo en el tiempo de este tipo de investigaciones no se refleja en una paridad en el estudio de las especies de aves marinas de la región (Tabla 1). Así, la mayor cantidad de publicaciones con bio-registro, corresponden al Pingüino de Magallanes (N=81, 26%), seguido por el Cormorán Imperial (N=36, 11%) y el Pingüino Penacho Amarillo (N=23, 7%) (Fig. 6B), mientras que se encuentran escasos números de trabajos (entre 1 y 4) para especies de las familias, Phaethontidae, Fregatidae, Pelecanidae y Stercorariidae (Tabla 1). No se encontraron publicaciones del uso de bio-registradores para especies de las familias Hydrobatidae y Oceanitidae (Tabla 1). La mayoría de los trabajos han sido realizados en

colonias dentro del territorio argentino (N=176), Chile (N=30) y Perú (N=20).

El uso de dispositivos para determinar posiciones en el espacio (VHF, GLS, PTT y GPS) es abrumador. Del total de publicaciones revisadas (N=247), más del 80% utilizó dispositivos de posicionamiento satelital (i.e., PTT o GPS) para estudiar los movimientos y las áreas marinas de uso en dos dimensiones del espacio. La utilización de bio-registradores con mayor complejidad tecnológica y analítica (i.e., registradores multi-sensores) quedó reducida al 12% de los casos de estudio, focalizados casi exclusivamente en el Pingüino de Magallanes y el Cormorán Imperial. El uso de los registros de aceleración corresponde solo al 3% de los casos y los trabajos han sido desarrollados por unos pocos grupos de investigación en la región (Fig. 6C).

EPÍLOGO

Finalmente, el torbellino de oportunidades que proporcionan los bio-registradores colocados en las aves marinas nos brinda información que es fundamental para comprender los requerimientos de estas aves y posiblemente encontrar soluciones para protegerlas. Esto es importante porque, dadas las condiciones actuales de deterioro ambiental inducido por el hombre, estos increíbles animales van a necesitar toda la ayuda que podamos ofrecer. A nuestro entender, el uso de bio-registradores no debería, quedar librado al cumplimiento de agendas institucionales o personales y su consecuente trivialización de los asuntos científicos, sino que debería ser clave para un conocimiento profundo de la biología de las especies. Aunque las consideraciones éticas son primordiales, a veces es necesario lograr un equilibrio entre el uso de tecnologías potencialmente dañinas y la importancia de estudiar fenómenos biológicos novedosos en aras del conocimiento innovador. Sin embargo, en nuestra opinión, el uso de dichas tecnologías es injustificable cuando se trata de estudiar aspectos ampliamente conocidos y reportados a través de publicaciones científicas. Algunos estudios replican información ya conocida sobre las especies y se justifican principalmente por la divulgación pública de su relevancia para la conservación, sin tener en cuenta los efectos negativos potencialmente impartidos sobre individuos de las poblaciones que pretenden proteger. Así, el uso de bio-registradores en las aves marinas y otras especies, debería responder exclusivamente a un pensamiento meticuloso comprometido con la honestidad, la integridad y la búsqueda inalterada del co-

nocimiento científico y la conservación del ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo surge de la experiencia de los autores en el uso de bio-registradores en especies animales durante los últimos 30 años. En este recorrido, hemos contado con la colaboración de colegas, técnicos y estudiantes de diversas partes del mundo. A todos ellos, queremos expresar nuestro reconocimiento y profundo agradecimiento. Este artículo se terminó de escribir el miércoles 22 de mayo de 2024, Día Internacional de la Diversidad Biológica.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Adams J, Felis JJ, Czapaniskiy M, Carle RD, Hodum PJ (2019) Diving behavior of Pink-footed Shearwaters *Ardenna creatopus* rearing chicks on Isla Mocha, Chile. *Marine Ornithology* 47: 17-24. <http://doi.org/10.5038/2074-1235.47.1.1286>
- Aguilar-Pulido R, Catoni C, Luna-Jorquera G, Perucci M, Dell'omo G, Zavalaga C, Simeone A (2021) Distribución, características y situación actual de las colonias reproductivas de la gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*) en el desierto de Atacama, norte de Chile. *Revista Chilena de Ornitología* (Chile) 27: 21-36
- Ainley DG, Wilson RP (2023) The Aquatic World of Penguins: Biology of Fish-birds. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-33990-5>
- Anderson D, Ricklefs R (1987) Radio-tracking masked and blue-footed boobies (*Sula spp.*) in the Galapagos Islands
- Arata JA, Vila AR, Matus R, Droguett D, Silva-Quintas C, Falabella V, Robertson G, Haro D (2014) Use and exploitation of channel waters by the black-browed albatross. *Polar Biology* 37: 565-571. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1458-1>
- Augé AA, Dias MP, Lascelles B, Baylis AM, Black A, Dee Boersma P, Catry P, Crofts S, Galimberti F, Granaideiro JP, Hedd A, Ludynia K, Masello JF, Montevecchi W, Phillips RA, Pütz K, Quillfeldt P, Rebstock GA, Sanvito S, Staniland IJ, Stanworth A, Thompson D, Tierney M, Trathan PN, Croxall JP (2018) Framework for mapping key areas for marine megafauna to inform Marine Spatial Planning: The Falkland Islands case study. *Marine Policy* 92: 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.02.017>
- Awkerman JA, Cruz S, Proano C, Huyvaert KP, Uzcátegui GJ, Baquero A, Wikelski M, Anderson DJ (2014) Small range and distinct distribution in a satellite breeding colony of the critically endangered Waved Albatross. *Journal of Ornithology* 155: 367-378. <https://doi.org/10.1007/s10336-013-1013-9>
- Awkerman JA, Fukuda A, Higuchi H, Anderson DJ (2005) Foraging activity and submesoscale habitat

- use of waved albatrosses *Phoebastria irrorata* during chick-brooding period. *Marine Ecology Progress Series* 291: 289-300. <https://doi.org/10.3354/meps07750>
- Banissi E, Forsell C, Marchese FT (2014) Information visualisation: techniques, usability and evaluation.
- Bannasch R, Wilson RP, Culik B (1994) Hydrodynamic aspects of design and attachment of a back-mounted device in penguins. *Journal of Experimental Biology* 194: 83-96. <https://doi.org/10.1242/jeb.194.1.83>
- Barrionuevo M, Ciancio J, Steinfurth A, Frere E (2020) Geolocation and stable isotopes indicate habitat segregation between sexes in Magellanic penguins during the winter dispersion. *Journal of Avian Biology* 51: e02325. <http://dx.doi.org/10.1111/jav.02325>
- Barrionuevo M, Frere E, Quintana F, Ciancio J, Marchisio N, Lisovski S (2023) Within- and among-colony variation in non-breeding dispersion of Magellanic penguins breeding along the coast of Argentina. *Marine Ecology Progress Series* 721: 151-160. <https://doi.org/10.3354/meps14412>
- Baylis AM, Orben RA, Pistorius P, Brickle P, Staniland I, Ratcliffe N (2015) Winter foraging site fidelity of king penguins breeding at the Falkland Islands. *Marine biology* 162: 99-110. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2561-0>
- Baylis AM, Tierney M, Orben RA, Warwick-Evans V, Wakefield E, Grecian WJ, Trathan P, Reisinger R, Ratcliffe N, Croxall J, Campioni L, Catry P, Crofts S, Dee Boersma P, Galimberti F, Granadeiro JP, Handley J, Hayes S, Hedd A, Masello JF, Montevecchi WA, Pütz K, Quillfeldt P, Rebstock GA, Sanvito S, Staniland IJ, Brickle P (2019) Important at-sea areas of colonial breeding marine predators on the southern Patagonian shelf. *Scientific Reports* 9: 8517. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44695-1>
- Baylis AM, De Lecea AM, Tierney M, Orben RA, Ratcliffe N, Wakefield E, Catry P, Campioni L, Costa M, Dee Boersma P, Galimberti F, Granadeiro F, Masello JF, Pütz K, Quillfeldt P, Rebstock GA, Sanvito S, Staniland IJ, Brickle P (2021) Overlap between marine predators and proposed Marine Managed Areas on the Patagonian Shelf. *Ecological Applications* 31: e02426. <https://doi.org/10.1002/eap.2426>
- Beal M, Dias MP, Phillips RA, Oppel S, Hazin C, Pearmain EJ, Adams J, Anderson DJ, Antolos M, Arata JA, Arcos JM, Arnould JPY, Awkerman J, Bell E, Bell M, Carey M, Carle R, Clay TA, Cleeland J, Colodro V, Connors M, Flores MC, Cuthbert R, Delord K, Deppe L, Dille BJ, Dinis H, Elliott G, De Felipe F, Felis J, Forero MG, Freeman A, Fukuda A, González-Solís J, Granadeiro JP, Hedd A, Hodum P, Igual JM, Jaeger A, Landers TJ, Le Corre M, Makhado A, Metzger B, Militão T, Montevecchi WA, Morrera-Pujol VM, Navarro-Herrero L, Nel D, Nicholls D, Oro D, Ouni R, Ozaki K, Quintana F, Ramos R, Reid T, Reyes-González JM, Robertson C, Robertson G, Salah Romdhane M, Ryan PG, Sagar P, Sato F, Schoombie S, Scofield RP, Shaffer SA, Shah NJ, Stevens KL, Surman C, Suryan RM, Takahashi A, Tatayah V, Taylor G, Thompson DR, Torres L, Walker K, Wanless R, Waugh SM, Weimerskirch H, Yamamoto T, Zajkova Z, Zango L, Catry P (2021) Global political responsibility for the conservation of albatrosses and large petrels. *Science Advances* 7: eabd7225. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd7225>
- Benvenuti S, Bonadonna F, Dall'Antonia L, Gudmundsson GA (1998) Foraging flights of breeding thick-billed murrelets (*Uria lomvia*) as revealed by bird-borne direction recorders. *The Auk* 115: 57-66. <https://doi.org/10.2307/4089111>
- Berón MP, Favero M, Gómez-Laich AG (2007) Use of natural and anthropogenic resources by Olog's Gull *Larus atlanticus*: implications for the conservation of the species in non-breeding habitats. *Bird Conservation International* 17: 351-357. <https://doi.org/10.1017/s0959270907000883>
- Bertrand S, Joo R, Arbulu Smet C, Tremblay Y, Barbraud C, Weimerskirch H (2012) Local depletion by a fishery can affect seabird foraging. *Journal of Applied Ecology* 49: 1168-1177. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02190.x>
- Bidder OR, Campbell HA, Gómez-Laich A, Urgé P, Walker J, Cai J, Gao L, Quintana F, Wilson R (2014) Love thy neighbour: automatic animal behavioural classification of acceleration data using the k-nearest neighbour algorithm. *PLoS ONE* 9: e88609. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088609>
- Blanco GS, Quintana F (2014) Differential use of the Argentine shelf by wintering adults and juveniles southern giant petrels, *Macronectes giganteus*, from Patagonia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 149: 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.08.014>
- Blanco GS, Pisoni JP, Quintana F (2015) Characterization of the seascape used by juvenile and wintering adult Southern Giant Petrels from Patagonia Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 153: 135-144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2014.12.007>
- Blanco GS, Sánchez-Carnero N, Pisoni JP, Quintana F (2017) Seascape modeling of southern giant petrels from Patagonia during different life-cycles. *Marine Biology* 164: 53. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3094-0>
- Blanco GS, Gallo L, Pisoni JP, Dell'Omo G, Gerez N, Molina G, Quintana F (2022a) At-sea distribution, movements and diving behavior of Magellanic penguins reflect small-scale changes in oceanographic conditions around the colony. *Marine Biology* 169: 29. <https://doi.org/10.1007/s00227-021-04016-5>
- Blanco GS, Tonini MH, Gallo L, Dell'Omo G, Quintana F (2022b) Tracking the exposure of a pelagic seabird to marine plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin* 180: 113767. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113767>
- Boersma PD, Rebstock GA, Stokes DL, Majluf P (2007) Oceans apart: conservation models for two temperate penguin species shaped by the marine

- environment. *Marine Ecology Progress Series* 335: 217-225. <https://doi.org/10.3354/meps335217>
- Boersma PD, Rebstock GA (2009) Foraging distance affects reproductive success in Magellanic penguins. *Marine Ecology Progress Series* 375: 263-275. <https://doi.org/10.3354/meps07753>
- Boersma PD, Rebstock GA, Frere E, Moore SE (2009) Following the fish: penguins and productivity in the South Atlantic. *Ecological Monographs* 79: 59-76. <https://doi.org/10.1890/06-0419.1>
- Boersma PD, Rebstock GA, García-Borboroglu P (2015) Marine protection is needed for Magellanic penguins in Argentina based on long-term data. *Biological Conservation* 182: 197-204. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.12.005>
- Boersma PD, Stokes DL, Strange IJ (2002) Applying ecology to conservation: tracking breeding penguins at New Island South reserve, Falkland Islands. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 12: 63-74. <https://doi.org/10.1002/aqc.477>
- Bonnet-Lebrun A-S, Catty P, Clark TJ, Campioni L, Kuepfer A, Tierny M, Kilbride E, Wakefield ED (2020) Habitat preferences, foraging behaviour and bycatch risk among breeding sooty shearwaters *Ardena grisea* in the Southwest Atlantic. *Marine Ecology Progress Series* 651: 163-181. <https://doi.org/10.3354/meps13439>
- Boyd C, Punt AE, Weimerskirch H, Bertrand S (2014) Movement models provide insights into variation in the foraging effort of central place foragers. *Ecological Modelling* 286: 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.03.015>
- Boyd C, Castillo R, Hunt Jr GL, Punt AE, VanBlaricom GR, Weimerskirch H, Bertrand S (2015) Predictive modelling of habitat selection by marine predators with respect to the abundance and depth distribution of pelagic prey. *Journal of Animal Ecology* 84: 1575-1588. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12409>
- Bugoni L, Cormons TD, Boyne AW, Hays H (2005) Feeding grounds, daily foraging activities, and movements of Common Terns in southern Brazil, determined by radio-telemetry. *Waterbirds* 28: 468-477. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2005\)28\[468:fgdfaa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2005)28[468:fgdfaa]2.0.co;2)
- Bugoni L, D'Alba L, Furness RW (2009) Marine habitat use of wintering spectacled petrels *Procellaria conspicillata*, and overlap with longline fishery. *Marine Ecology Progress Series* 374: 273-285. <https://doi.org/10.3354/meps07750>
- Burger AE, Shaffer SA (2008) Perspectives in ornithology application of tracking and data-logging technology in research and conservation of seabirds. *The Auk* 125: 253-264. <https://doi.org/10.1525/auk.2008.1408>
- Campioni L, Granadeiro JP, Catty P (2017) Albatrosses prospect before choosing a home: intrinsic and extrinsic sources of variability in visit rates. *Animal Behaviour* 128: 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.04.008>
- Carle RD, Felis JJ, Vega R, Beck J, Adams J, López V, Hodum PJ, González A, Colodro V, Varela T (2019) Overlap of Pink-footed Shearwaters and central Chilean purse-seine fisheries: Implications for bycatch risk. *The Condor* 121: 1-13. <https://doi.org/10.1093/condor/duz026>
- Catoni C, Aguilar-Pulido R, Zavalaga C, Dell'Omo G (2021) Radar reveals the nocturnal flights of breeding Grey Gulls *Leucophaeus modestus* in the Atacama Desert, Chile. *Bird Study* 68: 351-358. <https://doi.org/10.1080/00063657.2022.2092067>
- Catty P, Lemos R, Brickle P, Phillips RA, Matias R, et al. (2013) Predicting the distribution of a threatened albatross: the importance of competition, fisheries and annual variability. *Progress in Oceanography* 110: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.01.005>
- Chen T-H, Lin C-C, Meng P-J (2014) Zinc oxide nanoparticles alter hatching and larval locomotor activity in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of Hazardous Materials* 277: 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.030>
- Ciancio JE, Quintana F, Sala JE, Wilson RP (2016) Cold birds under pressure: Can thermal substitution ease heat loss in diving penguins? *Marine Biology* 163: 43. <https://doi.org/10.1007/s00227-016-2813-2>
- Clark BL, Irigoien-Lovera C, Gonzales-DelCarpio DD, Diaz-Santibañez I, Votier SC, et al. (2022) Interactions between anchovy fisheries and Peruvian boobies revealed by bird-borne cameras and movement loggers. *Marine Ecology Progress Series* 701: 145-157. <https://doi.org/10.3354/meps14195>
- Clausen A, Pütz K (2003) Winter diet and foraging range of gentoo penguins (*Pygoscelis papua*) from Kidney Cove, Falkland Islands. *Polar Biology* 26: 32-40. <https://doi.org/10.1007/s00300-002-0443-2>
- Copello S, Quintana F (2009) Spatio-temporal overlap between the at-sea distribution of Southern Giant Petrels and fisheries at the Patagonian Shelf. *Polar Biology* 32: 1211-1220. <https://doi.org/10.1007/s00300-009-0620-7>
- Copello S, Dogliotti AI, Gagliardini DA, Quintana F (2011) Oceanographic and biological landscapes used by the Southern Giant Petrel during the breeding season at the Patagonian Shelf. *Marine Biology* 158: 1247-1257. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1645-3>
- Copello S, Pon JPS, Favero M (2013) Use of marine space by Black-browed albatrosses during the non-breeding season in the Southwest Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 123: 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.02.016>
- Copello S, Pon JPS, Favero M (2014) Spatial overlap of Black-browed albatrosses with longline and trawl fisheries in the Patagonian Shelf during the non-breeding season. *Journal of Sea Research* 89: 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.02.006>
- Copello S, Blanco GS, Pon JPS, Quintana F, Favero M (2016) Exporting the problem: Issues with fishing closures in seabird conservation. *Marine Policy* 74: 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.09.008>

- Copello S, Suarez N, Yorio P, Ravasi MT, Paz JA, et al. (2020) Distribution of Olrog's Gull *Larus atlanticus* from Bahía San Blas during the non-breeding period: signals of partial migration. *Bird Conservation International* 30: 661-670. <https://doi.org/10.1017/s0959270920000234>
- Cotter CH (1978) Early dead reckoning navigation. *The Journal of Navigation* 31: 20-28
- Culik B, Luna-Jorquera G (1997a) Satellite tracking of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) in northern Chile. *Marine Biology* 128: 547-556. <https://doi.org/10.1007/s002270050120>
- Culik BM, Luna-Jorquera G (1997b) The Humboldt penguin *Spheniscus humboldti*: a migratory bird? *Journal für Ornithologie* 138: 325-330.
- Culik BM, Luna-Jorquera G, Oyarzo H, Correa H (1998) Humboldt penguins monitored via VHF telemetry. *Marine Ecology Progress Series* 162: 279-286. <https://doi.org/10.3354/meps162279>
- Culik B, Hennicke J, Martin T (2000) Humboldt penguins outmanoeuvring el Niño. *Journal of Experimental Biology* 203: 2311-2322. <https://doi.org/10.1242/jeb.203.15.2311>
- Cruz SM, Hooten M, Huyvaert KP, Proaño CB, Anderson DJ, Afanasyev V, Wikelski M (2013) At-sea behavior varies with lunar phase in a nocturnal pelagic seabird, the swallow-tailed gull. *PLoS ONE* 8(2): e56889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056889>
- Davaji B, Cho HD, Malakoutian M, Lee J-K, Panin G, et al. (2017) A patterned single layer graphene resistance temperature sensor. *Scientific reports* 7: 8811. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08967-y>
- Dellacasa RF, Rabuffetti FL, Tamini LL, Falabella V y E. Frere (2018). Sitios candidatos a AICA marinas: áreas costeras y pelágicas importantes para la conservación de las aves en el Mar Argentino. Temas de Naturaleza y Conservación, Monografía de Aves Argentinas N° 11. Buenos Aires, Argentina
- De Pascalis F, Pala D, Pisu D, Morinay J, Benvenuti A, et al. (2021) Searching on the edge: dynamic oceanographic features increase foraging opportunities in a small pelagic seabird. *Marine Ecology Progress Series* 668: 121-132. <https://doi.org/10.3354/meps13726>
- Del Caño M, Quintana F, Yoda K, Dell'Omo G, Blanco GS, et al. (2021) Fine-scale body and head movements allow to determine prey capture events in the Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*). *Marine Biology* 168: 84. <https://doi.org/10.1007/s00227-021-03892-1>
- Del Caño M, Quintana F, Dell'Omo G, Gómez-Laich A (2024) Tri-axial accelerometry allows to determine parental food provisioning behaviour in a marine bird. *Avian Research* 15. <https://doi.org/10.1016/j.avrs.2024.100194>
- Dodino S, Lois NA, Riccialdelli L, Polito MJ, Pütz K, et al. (2021) Sex-specific spatial use of the winter foraging areas by Magellanic penguins and assessment of potential conflicts with fisheries during winter dispersal. *PLoS ONE* 16: e0256339. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256339>
- Falabella V, Campagna C, Croxall J (2009) Atlas del mar patagónico. Especies y espacios. Wildlife Conservation Society and BirdLife International, Buenos Aires
- Felis JJ, Adams J, Hodum PJ, Carle RD, Colodro V (2019) Eastern Pacific migration strategies of Pink-footed Shearwaters *Ardenna creatopus*: Implications for fisheries interactions and international conservation. *Endangered Species Research* 39: 269-282. <https://doi.org/10.3354/esr00969>
- Fernández CE, Luna-Jorquera G, Suazo CG, Quillfeldt P (2023) At-sea distribution patterns of the Peruvian diving petrel *Pelecanoides garnotii* during breeding and non-breeding seasons. *Scientific Reports* 13: 14463. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40975-z>
- Fernández P, Anderson DJ, Sievert PR, Huyvaert KP (2001) Foraging destinations of three low-latitude albatross (Phoebastria) species. *Journal of Zoology* 254: 391-404. <https://doi.org/10.1017/s0952836901000899>
- Fort J, Pettex E, Tremblay Y, Lorentsen S-H, Garthe S, et al. (2012) Meta-population evidence of oriented chain migration in northern gannets (*Morus bassanus*). *Frontiers in Ecology and the Environment* 10: 237-242. <https://doi.org/10.1890/110194>
- Frere E, Quintana F, Gandini P (2002) Diving behavior of the Red-legged Cormorant in southeastern Patagonia, Argentina. *The Condor* 104: 440-444. <https://doi.org/10.1093/condor/104.2.440>
- Gatto A, Yorio P, Doldan MS, Gomila LV (2019) Spatial and temporal foraging movement patterns in Royal Terns (*Thalasseus maximus*) and Cayenne Terns (*Thalasseus sandvicensis eurygnathus*) in Northern Patagonia, Argentina. *Waterbirds* 42: 217-224. <https://doi.org/10.1675/063.042.0209>
- Gebre-Egziabher D, Elkaim GH, David Powell J, Parkinson BW (2006) Calibration of strapdown magnetometers in magnetic field domain. *Journal of Aerospace Engineering* 19: 87-102. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0893-1321\(2006\)19:2\(87\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0893-1321(2006)19:2(87))
- Gherardi-Fuentes C, Pütz K, Anguita C, Simeone A (2019) Comparative foraging and diving behaviour of coexisting breeding and non-breeding King Penguins (*Aptenodytes patagonicus*) in Tierra del Fuego, Chile. *Emu-Austral Ornithology* 119: 61-70. <https://doi.org/10.1080/01584197.2018.1530061>
- Gómez-Laich A, Quintana F, Shepard E, Wilson R (2012) Intersexual differences in the diving behaviour of Imperial Cormorants. *Journal of Ornithology* 153: 139-147. <https://doi.org/10.1007/s10336-011-0714-1>
- Gómez-Laich A, Wilson RP, Shepard EL, Quintana F (2013) Energy expenditure and food consumption of foraging Imperial cormorants in Patagonia, Argentina. *Marine Biology* 160: 1697-1707. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2222-8>

- Gómez-Laich A, Wilson RP, Sala JE, Luzenti A, Quintana F (2015) Moving northward: comparison of the foraging effort of Magellanic penguins from three colonies of northern Patagonia. *Marine Biology* 162: 1451-1461. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2681-1>
- Gómez-Laich A, Pantano C, Wilson RP, Svagelj WS, Yoda K, et al. (2022) Leg rings impact the diving performance of a foot-propelled diver. *Ibis* 164: 118-131. <https://doi.org/10.1111/ibi.12998>
- Granadeiro JP, Phillips RA, Brickle P, Catty P (2011) Albatrosses following fishing vessels: how badly hooked are they on an easy meal? *PLoS ONE* 6: e17467. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017467>
- Granadeiro JP, Brickle P, Catty P (2014) Do individual seabirds specialize in fisheries' waste? The case of black-browed albatrosses foraging over the Patagonian Shelf. *Animal Conservation* 17: 19-26. <https://doi.org/10.1111/acv.12050>
- Granadeiro JP, Campioni L, Catty P (2018) Albatrosses bathe before departing on a foraging trip: implications for risk assessments and marine spatial planning. *Bird Conservation International* 28: 208-215. <https://doi.org/10.1017/s0959270916000459>
- Green CP, Green DB, Ratcliffe N, Thompson D, Lea MA, et al. (2023) Potential for redistribution of post-moult habitat for Eudyptes penguins in the Southern Ocean under future climate conditions. *Global Change Biology* 29: 648-667. <https://doi.org/10.1111/gcb.16500>
- Grémillet D, Dell'Omo G, Ryan PG, Peters G, Ropert-Coudert Y, et al. (2004) Offshore diplomacy, or how seabirds mitigate intra-specific competition: a case study based on GPS tracking of Cape gannets from neighbouring colonies. *Marine Ecology Progress Series* 268: 265-279. <https://doi.org/10.3354/meps268265>
- Guicking D, Ristow D, Becker PH, Schlatter R, Berthold P, et al. (2001) Satellite tracking of the Pink-footed Shearwater in Chile. *Waterbirds*: 8-15. <https://doi.org/10.2307/1522237>
- Guilford T, Padget O, Maurice L, Catty P (2022) Unexpectedly deep diving in an albatross. *Current Biology* 32: R26-R28. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.11.036>
- Gunner RM, Holton MD, Scantlebury DM, Hopkins P, Shepard EL, et al. (2021a) How often should dead-reckoned animal movement paths be corrected for drift? *Animal Biotelemetry* 9: 1-22. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-587959/v1>
- Gunner RM, Holton MD, Scantlebury MD, van Schalkwyk OL, English HM, et al. (2021b) Dead-reckoning animal movements in R: a reappraisal using Gundog. Tracks. *Animal Biotelemetry* 9: 1-37. <https://doi.org/10.1186/s40317-021-00245-z>
- Halsey L, Shepard E, Quintana F, Laich AG, Green J, et al. (2009) The relationship between oxygen consumption and body acceleration in a range of species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 152: 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.09.021>
- Halsey LG, Shepard EL, Wilson RP (2011) Assessing the development and application of the accelerometry technique for estimating energy expenditure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 158: 305-314. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.09.002>
- Hamer K, Humphreys E, Magalhaes M, Garthe S, Hennencke J, et al. (2009) Fine-scale foraging behaviour of a medium-ranging marine predator. *Journal of Animal Ecology* 78: 880-889. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01549.x>
- Harris S, Quintana F, Raya Rey A (2012) Prey search behavior of the Imperial Cormorant (*Phalacrocorax atriceps*) during the breeding season at Punta León, Argentina. *Waterbirds* 35: 312-323. <https://doi.org/10.1675/063.035.0212>
- Harris S, Raya Rey A, Phillips RA, Quintana F (2013) Sexual segregation in timing of foraging by imperial shags (*Phalacrocorax atriceps*): is it always ladies first? *Marine Biology* 160: 1249-1258. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2177-9>
- Harris S, Raya Rey A, Zavalaga C, Quintana F (2014a) Strong temporal consistency in the individual foraging behaviour of Imperial Shags *Phalacrocorax atriceps*. *Ibis* 156: 523-533. <https://doi.org/10.1111/ibi.12159>
- Harris S, Rey AR, Quintana F (2014b) Breeding experience and foraging behaviour of Imperial Shags (*Leucocarbo atriceps*) in Argentina. *Emu* 114: 222-228. <https://doi.org/10.1071/mu13059>
- Harris S, Quintana F, Ciancio J, Riccialdelli L, Raya Rey A (2016a) Linking foraging behavior and diet in a diving seabird. *Marine Ecology* 37: 419-432. <https://doi.org/10.1111/maec.12327>
- Harris S, Samaniego RAS, Raya Rey A (2016b) Insights into diet and foraging behavior of imperial shags (*Phalacrocorax atriceps*) breeding at Staten and Becasses Islands, Tierra del Fuego, Argentina. *The Wilson Journal of Ornithology* 128: 811-820. <https://doi.org/10.1676/15-141.1>
- Harris S, Scioscia G, Pütz K, Mattern T, Raya Rey A (2020) Niche partitioning between coexisting gentoo *Pygoscelis papua* and Magellanic penguins *Spheniscus magellanicus* at Martillo Island, Argentina. *Marine Biology* 167: 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03722-w>
- Harris S, Pütz K, Mattern T, Scioscia G, Raya Rey A (2023) The role of conspecifics during pelagic foraging of Magellanic and benthic foraging of Gentoo penguins in the Beagle Channel, Argentina. *Marine Biology* 170: 17. <https://doi.org/10.1007/s00227-022-04163-3>
- Hedd A, Montevecchi WA, Otley H, Phillips RA, Fifield DA (2012) Trans-equatorial migration and habitat use by sooty shearwaters *Puffinus griseus* from the South Atlantic during the nonbreeding season. *Marine Ecology Progress Series* 449: 277-290. <https://doi.org/10.3354/meps09538>
- Hennencke J, Culik B (2005) Foraging performance and

- reproductive success of Humboldt penguins in relation to prey availability. *Marine Ecology Progress Series* 296: 173-181. <https://doi.org/10.3354/meps296173>
- Holton MD, Wilson RP, Teilmann J, Siebert U (2021) Animal tag technology keeps coming of age: an engineering perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 376: 20200229. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0229>
- Howard JL, Tompkins EM, Anderson DJ (2021) Effects of age, sex, and ENSO phase on foraging and flight performance in Nazca boobies. *Ecology and Evolution* 11: 4084-4100. <https://doi.org/10.1002/ece3.7308>
- Jouventin P, Weimerskirch H (1990) Satellite tracking of wandering albatrosses. *Nature* 343: 746-748. <https://doi.org/10.1038/343746a0>
- Kaidarova A, Geraldi NR, Wilson RP, Kosel J, Meekan MG, et al. (2023) Wearable sensors for monitoring marine environments and their inhabitants. *Nature Biotechnology* 41: 1208-1220. <https://doi.org/10.1038/s41587-023-01827-3>
- Kano S, Dobashi Y, Fujii M (2017) Silica nanoparticle-based portable respiration sensor for analysis of respiration rate, pattern, and phase during exercise. *IEEE Sensors Letters* 2: 1-4. <https://doi.org/10.1109/lens.2017.2787099>
- Kasinsky T, Suárez N, Marinao C, Yorio P (2018) Kelp Gull (*Larus dominicanus*) use of alternative feeding habitats at the Bahía San Blas protected area, Argentina. *Waterbirds* 41: 285-294. <https://doi.org/10.1675/063.041.0308>
- Kasinsky T, Yorio P, Dell'Arciprete P, Marinao C, Suárez N (2021) Geographical differences in sex-specific foraging behaviour and diet during the breeding season in the opportunistic Kelp Gull (*Larus dominicanus*). *Marine Biology* 168: 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03812-9>
- Kenward R (2001) A manual for wildlife radio tagging: Gulf Professional Publishing. <https://10.1017/S1367943002212317>
- Kooyman GL (1965) Techniques used in measuring diving capacities of Weddell seals. *Polar Record* 12: 391-394. <https://doi.org/10.1017/s003224740005484x>
- Krishnan K, Garde B, Bennison A, Cole NC, Cole E-L, et al. (2022) The role of wingbeat frequency and amplitude in flight power. *Journal of the Royal Society Interface* 19: 20220168. <https://doi.org/10.1101/2022.06.28.497935>
- Krüger L, Paiva VH, Colabuono FI, Petry MV, Montone RC, et al. (2016) Year-round spatial movements and trophic ecology of Trindade Petrels (*Pterodroma arminjoniana*). *Journal of Field Ornithology* 87: 404-416. <https://doi.org/10.1111/jfo.12175>
- Kumar A, Tan A, Wong J, Spagnoli JC, Lam J, et al. (2017) Nanotechnology for neuroscience: promising approaches for diagnostics, therapeutics and brain activity mapping. *Advanced Functional Materials* 27: 1700489. <https://doi.org/10.1002/adfm.201700489>
- Gómez-Laich A, Wilson RP, Quintana F, Shepard EL (2008) Identification of imperial cormorant *Phalacrocorax atriceps* behaviour using accelerometers. *Endangered Species Research* 10: 29-37. <https://doi.org/10.3354/esr00091>
- Gómez-Laich A, Wilson RP, Gleiss AC, Shepard EL, Quintana F (2011) Use of overall dynamic body acceleration for estimating energy expenditure in cormorants: does locomotion in different media affect relationships? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 399: 151-155. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.01.008>
- Lascelles BG, Langham GM, Ronconi RA, Reid JB (2012) From hotspots to site protection: Identifying Marine Protected Areas for seabirds around the globe. *Biological Conservation* 156: 5-14. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.008>
- Leal GR, Furness RW, McGill RA, Santos RA, Bugoni L (2017) Feeding and foraging ecology of Trindade petrels *Pterodroma arminjoniana* during the breeding period in the South Atlantic Ocean. *Marine Biology* 164: 1-17. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3240-8>
- Leal GR, Bugoni L (2021) Individual variability in habitat, migration routes and niche used by Trindade petrels, *Pterodroma arminjoniana*. *Marine Biology* 168: 134. <https://doi.org/10.1007/s00227-021-03938-4>
- Lerma M, Dehnhard N, Luna-Jorquera G, Voigt CC, Garthe S (2020a) Breeding stage, not sex, affects foraging characteristics in masked boobies at Rapa Nui. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 74: 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00265-020-02921-1>
- Lerma M, Serratos J, Luna-Jorquera G, Garthe S (2020b) Foraging ecology of masked boobies (*Sula dactylatra*) in the world's largest "oceanic desert". *Marine Biology* 167: 87. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03700-2>
- Ludynia K, Garthe S, Luna-Jorquera G (2010) Distribution and foraging behaviour of the Peruvian Booby (*Sula variegata*) off northern Chile. *Journal of Ornithology* 151: 103-111. <https://doi.org/10.1007/s10336-009-0431-1>
- Ludynia K, Dehnhard N, Poisbleau M, Demongin L, Masello JF, Quillfeldt P (2012) Evaluating the impact of handling and logger attachment on foraging parameters and physiology in Southern Rockhopper Penguins. *PLoS ONE* 7:e50429.1- e50429.11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050429>
- Ludynia K, Dehnhard N, Poisbleau M, Demongin L, Masello JF, et al. (2013) Sexual segregation in rockhopper penguins during incubation. *Animal Behaviour* 85: 255-267. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.11.001>
- Luna-Jorquera G, Culik BM (1999) Diving behaviour of Humboldt penguins *Spheniscus humboldti* in northern Chile. *Marine Ornithology* 27: 67-76.
- Luque SP (2024) diveMove: Dive Analysis and Calibration. R package version 1.6.4, <https://CRAN.R-project.org/package=diveMove>. <https://10.32614/CRAN.package.diveMove>

- Masello JF, Mundry R, Poisbleau M, Demongin L, Voigt CC, et al. (2010) Diving seabirds share foraging space and time within and among species. *Ecosphere* 1: 1-28. <https://doi.org/10.1890/es10-00103.1>
- Masello JF, Wikelski M, Voigt CC, Quillfeldt P (2013) Distribution patterns predict individual specialization in the diet of dolphin gulls. *PLoS ONE* 8: e67714. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067714>
- Masello JF, Kato A, Sommerfeld J, Mattern T, Quillfeldt P (2017) How animals distribute themselves in space: variable energy landscapes. *Frontiers in Zoology* 14: 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12983-017-0219-8>
- Masello JF, Rast W, Schumm YR, et al. (2023) Year-round behavioural time budgets of common wood pigeons inferred from acceleration data using machine learning. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 77, 40. <https://doi.org/10.1007/s00265-023-03306-w>
- McKee JL, Tompkins EM, Estela FA, Anderson DJ (2023) Age effects on Nazca booby foraging performance are largely constant across variation in the marine environment: Results from a 5-year study in Galápagos. *Ecology and Evolution* 13: e10138. <https://doi.org/10.1002/ece3.10138>
- Mendez L, Prudor A, Weimerskirch H (2020) Inter-population variation in the behaviour of adult and juvenile Red-tailed Boobies *Sula sula*. *Ibis* 162: 460-476. <https://doi.org/10.1111/ibi.12779>
- Mills K (2000) Diving behaviour of two Galápagos Penguins *Spheniscus mendiculus*. *Marine Ornithology* 28: 75-79. <http://doi.org/10.5038/2074-1235.28.1.461>
- Naito Y (2004) New steps in bio-logging science. *Memoirs of National Institute of Polar Research Special Issue* 58: 50-57
- Nathan R (2008) An emerging movement ecology paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 19050-19051. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808918105>
- Nourani E, Safi K, de Grissac S, Anderson DJ, Cole NC, et al. (2022) Seabird morphology determines operational wind speeds, tolerable maxima and responses to extremes. *BioRxiv*: 2022.2005.2002.490292. <https://doi.org/10.1101/2022.05.02.490292>
- Nunes GT, Efe MA, Barreto CT, Gaiotto JV, Silva AB, et al. (2022) Ecological trap for seabirds due to the contamination caused by the Fundão dam collapse, Brazil. *Science of the Total Environment* 807: 151486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151486>
- Oehler DA, Marin M, Kusch A, Danielle L, Weakley LA, et al. (2018) Foraging ranges in southern rockhopper penguins (*Eudyptes chrysocome chrysocome*) on Isla Noir, Chile. *International Journal of Avian & Wildlife Biology* 3: 320-325. <https://doi.org/10.15406/ijawb.2018.03.00109>
- Oktaviana AA, Joannes-Boyau R, Hakim B, et al. (2024) Narrative cave art in Indonesia by 51,200 years ago. *Nature* 631: 814-818. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07541-7>
- Oppel S, Bolton M, Carneiro AP, Dias MP, Green JA, et al. (2018) Spatial scales of marine conservation management for breeding seabirds. *Marine Policy* 98: 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.024>
- Parpura V (2016) Nanoelectronics for the heart: Tissue engineering. *Nature Nanotechnology* 11: 738-739. <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.123>
- Paz JA, Seco Pon JP, Krüger L, Favero M, Copello S (2021) Is there sexual segregation in habitat selection by Black-browed Albatrosses wintering in the south-west Atlantic? *Emu-Austral Ornithology* 121: 167-177. <https://doi.org/10.1080/01584197.2020.1869910>
- Pennycuik CJ (2008) Modelling the flying bird: Elsevier. <https://doi.org/10.4236/apm.2023.136026>.
- Pennycuik CJ, Fast PL, Ballerstädt N, Rattenborg N (2012) The effect of an external transmitter on the drag coefficient of a bird's body, and hence on migration range, and energy reserves after migration. *Journal of Ornithology* 153: 633-644. <https://doi.org/10.1007/s10336-011-0781-3>
- Peters G, Wilson RP, Scolaro JA, Laurenti S, Upton J, et al. (1998) The diving behavior of Magellanic Penguins at Punta Norte, Península Valdés, Argentina. *Colonial Waterbirds*: 1-10. <https://doi.org/10.2307/1521725>
- Petracci P, Caruso N, La Sala LF, Marbán L, Sotelo M, et al. (2024) Foraging areas of Orlog's gulls in an estuarine ecosystem of Argentina: are they underprotected? *Marine Biology* 171: 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00227-024-04404-7>
- Phillips R, Silk J, Phalan B, Catry P, Croxall J (2004) Seasonal sexual segregation in two *Thalassarche* albatross species: competitive exclusion, reproductive role specialization or foraging niche divergence? *Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 271: 1283-1291. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2718>
- Phillips RA, Catry P, Silk JR, Bearhop S, McGill R, et al. (2007) Movements, winter distribution and activity patterns of Falkland and brown skuas: insights from loggers and isotopes. *Marine Ecology Progress Series* 345: 281-291. <https://doi.org/10.3354/meps06991>
- Pütz K (2002) Spatial and temporal variability in the foraging areas of breeding king penguins. *The Condor* 104: 528-538. [https://doi.org/10.1650/0010-5422\(2002\)104\[0528:satvit\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1650/0010-5422(2002)104[0528:satvit]2.0.co;2)
- Pütz K, Chel Y (2005) The diving behaviour of brooding king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) from the Falkland Islands: variation in dive profiles and synchronous underwater swimming provide new insights into their foraging strategies. *Marine Biology* 147: 281-290. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-1577-x>
- Pütz K, Rey AR, Huin N, Schiavini A, Pütz A, et al. (2006a) Diving characteristics of southern rockhopper penguins (*Eudyptes c. chrysocome*) in the southwest Atlantic. *Marine Biology* 149: 125-137. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-0179-y>
- Pütz K, Rey AR, Schiavini A, Clausen AP, Lüthi BH (2006b) Winter migration of rockhopper penguins (*Eudyptes c. chrysocome*) breeding in the Southwest Atlantic: is utilisation of different foraging areas reflected in

- opposing population trends? *Polar Biology* 29: 735-744. <https://doi.org/10.1007/s00300-006-0110-0>
- Pütz K, Schiavini A, Rey AR, Lüthi BH (2007) Winter migration of magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) from the southernmost distributional range. *Marine Biology* 152: 1227-1235. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0770-5>
- Pütz K, Trathan PN, Pedrana J, Collins MA, Poncet S, et al. (2014) Post-fledging dispersal of king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) from two breeding sites in the South Atlantic. *PLoS ONE* 9: e97164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097164>
- Pütz K, Rey AR, Hiriart-Bertrand L, Simeone A, Reyes-Arriagada R, et al. (2016) Post-moult movements of sympatrically breeding Humboldt and Magellanic Penguins in south-central Chile. *Global Ecology and Conservation* 7: 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.05.001>
- Pütz K, Gherardi-Fuentes C, García-Borboroglu P, Godoy C, Flagg M, et al. (2021) Exceptional foraging plasticity in King Penguins (*Aptenodytes patagonicus*) from a recently established breeding site in Tierra del Fuego, Chile. *Global Ecology and Conservation* 28: e01669. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01669>
- Qasem L, Cardew A, Wilson A, Griffiths I, Halsey LG, et al. (2012) Tri-axial dynamic acceleration as a proxy for animal energy expenditure; should we be summing values or calculating the vector? *PLoS ONE* 7: e31187. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031187>
- Quan R, Barnes FS (2005) Design of VHF Transmitters. *Transactions on Broadcasting* 51: 651-657
- Quillfeldt P, Schroff S, van Noordwijk HJ, Michalik A, Ludynia K, et al. (2011) Flexible foraging behaviour of a sexually dimorphic seabird: large males do not always dive deep. *Marine Ecology Progress Series* 428: 271-287. <https://doi.org/10.3354/meps09058>
- Quillfeldt P, McGill RA, Furness RW, Möstl E, Ludynia K, et al. (2012) Impact of miniature geolocation loggers on a small petrel, the thin-billed prion *Pachyptila belcheri*. *Marine Biology* 159: 1809-1816. <https://doi.org/10.1007/s00227-012-1971-0>
- Quillfeldt P, Masello JF, Navarro J, Phillips RA (2013) Year-round distribution suggests spatial segregation of two small petrel species in the South Atlantic. *Journal of Biogeography* 40: 430-441. <https://doi.org/10.1111/jbi.12008>
- Quillfeldt P, Phillips RA, Marx M, Masello JF (2014) Colony attendance and at-sea distribution of thin-billed prions during the early breeding season. *Journal of Avian Biology* 45: 315-324. <https://doi.org/10.1111/jav.00307>
- Quillfeldt P, Cherel Y, Masello JF, Delord K, McGill RA, et al. (2015) Half a world apart? Overlap in nonbreeding distributions of Atlantic and Indian Ocean thin-billed prions. *PLoS ONE* 10: e0125007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125007>
- Quillfeldt P, Moodley Y, Weimerskirch H, Cherel Y, Delord K, et al. (2017) Does genetic structure reflect differences in non-breeding movements? A case study in small, highly mobile seabirds. *BMC Evolutionary Biology* 17: 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12862-017-1008-x>
- Quillfeldt P, Weimerskirch H, Masello JF, Delord K, McGill RA, et al. (2019) Behavioural plasticity in the early breeding season of pelagic seabirds—a case study of thin-billed prions from two oceans. *Movement Ecology* 7: 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40462-019-0147-7>
- Quillfeldt P, Bange A, Boutet A, Orben RA, Baylis AM (2022) Breeding Thin-Billed Prions Use Marine Habitats Ranging from Inshore to Distant Antarctic Waters. *Animals* 12: 3131. <https://doi.org/10.3390/ani12223131>
- Quintana F (1999) Diving behavior of Rock Shags at a Patagonian colony of Argentina. *Waterbirds*: 466-471. <https://doi.org/10.2307/1522126>
- Quintana F (2001) Foraging behaviour and feeding locations of Rock Shags *Phalacrocorax magellanicus* from a colony in Patagonia, Argentina. *Ibis* 143: 547-553. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2001.tb04881.x>
- Quintana F, Dell'Arciprete PO (2002) Foraging grounds of southern giant petrels (*Macronectes giganteus*) on the Patagonian shelf. *Polar Biology* 25: 159-161. <https://doi.org/10.1007/s003000100313>
- Quintana F, Morelli F, Benedetti Y (2002) Buceo eficiente en aguas poco profundas: comportamiento de buceo y patrón de alimentación del Cormorán Cuello Negro, *Phalacrocorax magellanicus*, en dos colonias de la costa patagónica. *Ecología Austral* 12: 19-28
- Quintana F, Yorio P, Lisnizer N, Gatto A, Soria G (2004) Diving behavior and foraging areas of the Neotropical Cormorant at a marine colony in Patagonia, Argentina. *The Wilson Bulletin* 116: 83-88. [https://doi.org/10.1676/0043-5643\(2004\)116\[0083:dbafao\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1676/0043-5643(2004)116[0083:dbafao]2.0.co;2)
- Quintana F, Wilson RP, Yorio P (2007) Dive depth and plumage air in wettable birds: the extraordinary case of the imperial cormorant. *Marine Ecology Progress Series* 334: 299-310. <https://doi.org/10.3354/meps334299>
- Quintana F, Dell'Arciprete OP, Copello S (2010) Foraging behavior and habitat use by the Southern Giant Petrel on the Patagonian Shelf. *Marine Biology* 157: 515-525. <https://doi.org/10.1007/s00227-009-1337-4>
- Quintana F, Wilson R, Dell'Arciprete P, Shepard E, Laich AG (2011) Women from Venus, men from Mars: inter-sex foraging differences in the imperial cormorant *Phalacrocorax atriceps* a colonial seabird. *Oikos* 120: 350-358. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18387.x>
- Quintana F, Gómez-Laich A, Gunner RM, Gabelli F, Omo GD, et al. (2022) Long walk home: Magellanic penguins have strategies that lead them to areas where they can navigate most efficiently. *Proceedings of the Royal Society B* 289: 20220535. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.0535/v2/review2>
- Quispe R, Lerma M, Luna N, Portflitt-Toro M, Serratos J, et al. (2020) Foraging ranges of humboldt penguins *Spheniscus humboldti* from tilgo island:

- The critical need for protecting a unique marine habitat. *Marine Ornithology* 48: 205-208. <http://doi.org/10.5038/2074-1235.48.2.1374>
- Ramos R, Carlile N, Madeiros J, Ramirez I, Paiva VH, et al. (2017) It is the time for oceanic seabirds: Tracking year-round distribution of gadfly petrels across the Atlantic Ocean. *Diversity and Distributions* 23: 794-805. <https://doi.org/10.1111/ddi.12569>
- Ratcliffe N, Crofts S, Brown R, Baylis AM, Adlard S, et al. (2014) Love thy neighbour or opposites attract? Patterns of spatial segregation and association among crested penguin populations during winter. *Journal of Biogeography* 41: 1183-1192. <https://doi.org/10.1111/jbi.12279>
- Ravasi MT, Pon JPS, Paz JA, Favero M, Copello S (2019) Use of winter habitat at an early age: spatial ecology and association with human activities of juvenile Olog's Gull *Larus atlanticus*. *Bird Conservation International* 29: 575-585. <https://doi.org/10.1017/s0959270919000029>
- Raya Rey A, Bost C-A, Schiavini A, Pütz K (2010) Foraging movements of Magellanic Penguins *Spheniscus magellanicus* in the Beagle Channel, Argentina, related to tide and tidal currents. *Journal of Ornithology* 151: 933-943. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0531-y>
- Rebstock GA, Boersma PD (2018) Oceanographic conditions in wintering grounds affect arrival date and body condition in breeding female Magellanic penguins. *Marine Ecology Progress Series* 601: 253-267. <https://doi.org/10.3354/meps12668>
- Rebstock GA, Abrahms B, Boersma PD (2022a) Site fidelity increases reproductive success by increasing foraging efficiency in a marine predator. *Behavioral Ecology* 33: 868-875. <https://doi.org/10.1093/beheco/ara052>
- Rebstock GA, García Borboroglu P, Boersma PD (2022b) Variability in foraging range and direction among colonies in a widespread seabird, the Magellanic penguin. *Frontiers in Marine Science* 9: 815706. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.815706>
- Retana MV, Quintana F (2009) Variación inter e intraespecífica del ciclo respiratorio durante las inmersiones en tres especies de cormoranes patagónicos. *El Hornero* 24: 79-86. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.815706>
- Raya Rey A, Trathan P, Pütz K, Schiavini A (2007) Effect of oceanographic conditions on the winter movements of rockhopper penguins *Eudyptes chrysocome chrysocome* from Staten Island, Argentina. *Marine Ecology Progress Series* 330: 285-295. <https://doi.org/10.3354/meps330285>
- Raya Rey A, Pütz K, Luna-Jorquera G, Lüthi B, Schiavini A (2009) Diving patterns of breeding female rockhopper penguins (*Eudyptes chrysocome*): Noir Island, Chile. *Polar biology* 32: 561-568. <https://doi.org/10.1007/s00300-008-0550-9>
- Raya Rey A, Pütz K, Scioscia G, Lüthi B, Schiavini A (2012) Sexual differences in the foraging behaviour of Magellanic Penguins related to stage of breeding. *Emu-Austral Ornithology* 112: 90-96. <https://doi.org/10.1071/mu11065>
- Raya Rey A, Pütz K, Simeone A, Hiriart-Bertrand L, Reyes-Arriagada R, et al. (2013) Comparative foraging behaviour of sympatric Humboldt and Magellanic Penguins reveals species-specific and sex-specific strategies. *Emu-Austral Ornithology* 113: 145-153. <https://doi.org/10.1071/mu12040>
- Robertson G, Moreno C, Arata JA, Candy SG, Lawton K, et al. (2014) Black-browed albatross numbers in Chile increase in response to reduced mortality in fisheries. *Biological Conservation* 169: 319-333. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.002>
- Ropert-Coudert Y, Bost C-A, Handrich Y, Bevan RM, Butler PJ, et al. (2000) Impact of externally attached loggers on the diving behaviour of the king penguin. *Physiological and Biochemical Zoology* 73: 438-444. <https://doi.org/10.1086/317743>
- Rosciano NG, Polito MJ, Rey AR (2016) Do penguins share? Evidence of foraging niche segregation between but not within two sympatric, central-place foragers. *Marine Ecology Progress Series* 548: 249-262. <https://doi.org/10.3354/meps11689>
- Rosciano NG, Pütz K, Polito MJ, Raya Rey A (2018) Foraging behaviour of Magellanic Penguins during the early chick-rearing period at Isla de los Estados, Argentina. *Ibis* 160: 327-341. <https://doi.org/10.1111/ibi.12547>
- Rosciano NG, Pütz K, Polito MJ, Raya Rey A (2022) Where's the best supermarket deal? Female Southern Rockhopper Penguins (*Eudyptes chrysocome*) show variable foraging areas during the guard stage at Isla de los Estados, Argentina. *Canadian Journal of Zoology* 100: 46-55. <https://doi.org/10.1139/cjz-2021-0020>
- Roy A, Lanco Bertrand S, Fablet R (2022) Deep inference of seabird dives from GPS-only records: Performance and generalization properties. *PLoS Computational Biology* 18: e1009890. <https://doi.org/10.1101/2021.04.19.438554>
- Ryan TP, Barrera BO, Aquez SH, Hallworth MT (2022) Movements and asynchronous nesting of the Peruvian Tern *Sternula lorata* in Chile and Peru. *Marine Ornithology* 50: 63-69. <http://doi.org/10.5038/2074-1235.50.1.1461>
- Sala J, Wilson R, Frere E, Quintana F (2012) Foraging effort in Magellanic penguins in coastal Patagonia, Argentina. *Marine Ecology Progress Series* 464: 273-287. <https://doi.org/10.3354/meps09887>
- Sala JE, Wilson RP, Frere E, Quintana F (2014) Flexible foraging for finding fish: variable diving patterns in Magellanic penguins *Spheniscus magellanicus* from different colonies. *Journal of Ornithology* 155: 801-817. <https://doi.org/10.1007/s10336-014-1065-5>
- Sala JE, Wilson RP, Quintana F (2015) Foraging effort in Magellanic penguins: balancing the energy books for survival? *Marine Biology* 162: 501-514. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2581-9>

- Sala JE, Pisoni JP, Quintana F (2017) Three-dimensional temperature fields of the North Patagonian Sea recorded by Magellanic penguins as biological sampling platforms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 189: 203-215. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.03.021>
- Santos CD, Campos LF, Efe MA (2019) Foraging habitat choice of White-tailed Tropicbirds revealed by fine-scale GPS tracking and remote sensing. *PeerJ* 7: e6261. <https://doi.org/10.7717/peerj.6261>
- Sapoznikow A, Quintana FR (2002) Evidences of Rock shags (*Phalacrocorax magellanicus*) and Imperial cormorants (*Ph. atriceps*) leaving their nest by night. *Marine Ornithology*, 30: 34-35. <http://doi.org/10.5038/2074-1235.30.1.523>
- Sapoznikow A, Quintana F (2003) Foraging behavior and feeding locations of Imperial Cormorants and Rock Shags breeding sympatrically in Patagonia, Argentina. *Waterbirds* 26: 184-191. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026\[0184:fbaflo\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026[0184:fbaflo]2.0.co;2)
- Saraux C, Le Bohec C, Durant JM, Viblanc VA, Gauthier-Clerc M, et al. (2011) Reliability of flipper-banded penguins as indicators of climate change. *Nature* 469: 203-206. <https://doi.org/10.1038/nature09630>
- Saylan Y, Akgönüllü S, Yavuz H, Ünal S, Denizli A (2019) Molecularly imprinted polymer based sensors for medical applications. *Sensors* 19: 1279. <https://doi.org/10.3390/s19061279>
- Schiavini A, Raya Rey A (2004) Long days, long trips: foraging ecology of female rockhopper penguins *Eudyptes chrysocome chrysocome* at Tierra del Fuego. *Marine Ecology Progress Series* 275: 251-262. <https://doi.org/10.3354/meps275251>
- Scioscia G, Raya Rey A, Schiavini A (2016) Breeding biology of Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) at the Beagle Channel: interannual variation and its relationship with foraging behaviour. *Journal of Ornithology* 157: 773-785. <https://doi.org/10.1007/s10336-016-1341-7>
- Sequeira AMM, Hays GC, Sims DW, Eguiluz VM, Rodríguez JP, et al. (2019) Overhauling ocean spatial planning to improve marine megafauna conservation. *Frontiers in Marine Science* 6: 480904. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00639>
- Shaffer SA, Tremblay Y, Awkerman JA, Henry RW, Teo SL, et al. (2005) Comparison of light-and SST-based geolocation with satellite telemetry in free-ranging albatrosses. *Marine Biology* 147: 833-843. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-1631-8>
- Shannon CE (1949) Communication in the presence of noise. *Proceedings of the IRE* 37: 10-21. <https://doi.org/10.1109/proc.1984.12998>
- Shepard EL, Wilson RP, Quintana F, Gómez-Laich A, Forman DW (2009) Pushed for time or saving on fuel: fine-scale energy budgets shed light on currencies in a diving bird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276: 3149-3155. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0683>
- Silva AB, Valls FC, Marques FP, Bugoni L (2022) Movements of satellite tracked Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) in a wintering area in southern Brazil. *Ocean & Coastal Management* 221: 106120. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106120>
- Simeone A, Wilson RP (2003) In-depth studies of Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) foraging: can we estimate prey consumption by perturbations in the dive profile? *Marine Biology* 143: 825-831. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1114-8>
- Skewgar E, Boersma PD, Simeone A (2014) Winter migration of Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) along the southeastern Pacific. *Waterbirds* 37: 203-209. <https://doi.org/10.1675/063.037.0208>
- Soanes LM, Arnould JP, Dodd SG, Sumner MD, Green JA (2013) How many seabirds do we need to track to define home-range area? *Journal of Applied Ecology* 50: 671-679. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12069>
- Steinfurth A, Vargas FH, Wilson RP, Spindler M, Macdonald DW (2008) Space use by foraging Galápagos penguins during chick rearing. *Endangered Species Research* 4: 105-112. <https://doi.org/10.3354/esr00046>
- Stokes DL, Boersma PD, Davis LS (1998) Satellite tracking of Magellanic Penguin migration. *The Condor* 100(2): 376-381. <https://doi.org/10.2307/1370280>
- Stokes DL, Boersma PD, de Casenave JL, García-Borboroglu P (2014) Conservation of migratory Magellanic penguins requires marine zoning. *Biological Conservation* 170: 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.024>
- Suárez N, Yorío P (2005) Foraging patterns of breeding dolphin gulls *Larus scoresbii* at Punta Tombo, Argentina. *Ibis* 147: 544-551. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2005.00426.x>
- Suárez N, Retana MV, Yorío P (2012) Spatial patterns in the use of foraging areas and its relationship with prey resources in the threatened Olrog's Gull (*Larus atlanticus*). *Journal of Ornithology* 153: 861-871. <https://doi.org/10.1007/s10336-012-0812-8>
- Taylor SS, Leonard ML, Boness DJ, Majluf P (2001) Foraging trip duration increases for Humboldt penguins tagged with recording devices. *Journal of Avian Biology* 32: 369-372. <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2001.320413.x>
- Taylor SS, Leonard ML, Boness DJ, Majluf P (2004) Humboldt penguins *Spheniscus humboldti* change their foraging behaviour following breeding failure. *Marine Ornithology* 32: 63-67. <http://doi.org/10.5038/2074-1235.32.1.599>
- Teo SL, Boustany A, Blackwell S, Walli A, Weng KC, et al. (2004) Validation of geolocation estimates based on light level and sea surface temperature from electronic tags. *Marine Ecology Progress Series* 283: 81-98. <https://doi.org/10.3354/meps283081>
- Teske RT (1997) The First Recorded Natural History: An Overview of Mesopotamian, Egyptian,

- Assyrian, Babylonian, and Hittite Contributions to Science. *Journal of Near Eastern Studies* 56: 1-29.
- Thiebot J-B, Bost C-A, Dehnhard N, Demongin L, Eens M, et al. (2015) Mates but not sexes differ in migratory niche in a monogamous penguin species. *Biology Letters* 11: 20150429. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0429>
- Vandenabeele SP, Wilson RP, Grogan A (2011) Tags on seabirds: how seriously are instrument-induced behaviours considered? *Animal Welfare* 20: 559-571. <https://doi.org/10.1017/s0962728600003195>
- Vandenabeele SP, Shepard EL, Grogan A, Wilson RP (2012) When three per cent may not be three per cent; device-equipped seabirds experience variable flight constraints. *Marine Biology* 159: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1784-6>
- Vandenabeele SP, Grundy E, Friswell MI, Grogan A, Votier SC, et al. (2014) Excess baggage for birds: inappropriate placement of tags on gannets changes flight patterns. *PLoS ONE* 9: e92657. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092657>
- Vandenabeele S, Shepard E, Grémillet D, Butler P, Martin G, et al. (2015) Are bio-telemetric devices a drag? Effects of external tags on the diving behaviour of great cormorants. *Marine Ecology Progress Series* 519: 239-249. <https://doi.org/10.3354/meps11058>
- Wakefield ED, Phillips RA, Trathan PN, Arata J, Gales R, et al. (2011) Habitat preference, accessibility, and competition limit the global distribution of breeding Black-browed Albatrosses. *Ecological Monographs* 81: 141-167. <https://doi.org/10.1890/09-0763.1>
- Walker BG, Boersma PD (2003) Diving behavior of magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*) at Punta Tombo, Argentina. *Canadian Journal of Zoology* 81: 1471-1483. <https://doi.org/10.1139/z03-142>
- Wanless S, Harris M (1993) Use of mutually exclusive foraging areas by adjacent colonies of blue-eyed shags (*Phalacrocorax atriceps*) at South Georgia. *Colonial Waterbirds*: 176-182. <https://doi.org/10.2307/1521435>
- Weimerskirch H, Le Corre M, Marsac F, Barbraud C, Tostain O, et al. (2006) Postbreeding movements of frigatebirds tracked with satellite telemetry. *The Condor* 108: 220-225. <https://doi.org/10.1093/condor/108.1.220>
- Weimerskirch H, Bertrand S, Silva J, Marques JC, Goya E (2010) Use of social information in seabirds: compass rafts indicate the heading of food patches. *PLoS ONE* 5: e9928. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009928>
- Weimerskirch H, Bertrand S, Silva J, Bost C, Peraltilla S (2012) Foraging in Guanay cormorant and Peruvian booby, the major guano-producing seabirds in the Humboldt Current System. *Marine Ecology Progress Series* 458: 231-245. <https://doi.org/10.3354/meps09752>
- Williams HJ, Holton MD, Shepard EL, Largey N, Norman B, et al. (2017) Identification of animal movement patterns using tri-axial magnetometry. *Movement Ecology* 5: 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40462-017-0097-x>
- Williams HJ, Taylor LA, Benhamou S, Bijleveld AI, Clay TA, et al. (2020) Optimizing the use of biologgers for movement ecology research. *Journal of Animal Ecology* 89: 186-206. <https://doi.org/10.1186/s40462-017-0097-x>
- Wilson R (1992) Environmental monitoring with seabirds: do we need additional technology? *South African Journal of Marine Science* 12: 919-926. <https://doi.org/10.2989/02577619209504752>
- Wilson RP (2001) Beyond rings on birds for determination of movements: wither the archival tag? *Ardea* 89: 231-240
- Wilson RP (2003a) Penguins predict their performance. *Marine Ecology Progress Series* 249: 305-310. <https://doi.org/10.3354/meps249305>
- Wilson RP (2003b) Fishing made easy: Tips and tricks on decisions for optimal foraging in Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*). En: Proceedings of the 23rd International Ornithological Congress, Beijing, 11-17 August, 2002, pp. 1-10
- Wilson RP, Wilson M-PT (1988) Foraging behaviour in four sympatric cormorants. *The Journal of Animal Ecology*: 943-955. <https://doi.org/10.2307/5103>
- Wilson RP, Hustler K, Ryan PG, Burger AE, Noldeke EC (1992) Diving birds in cold water: do Archimedes and Boyle determine energetic costs? *The American Naturalist* 140: 179-200. <https://doi.org/10.1086/285409>
- Wilson RP (2004) Reconstructing the past using futuristic developments: trends and perspectives in logger technology for penguins. *Memoirs of National Institute of Polar Research Special Issue* 58: 34-49.
- Wilson RP, Ducamp JJ, Rees G, Culik BM, Niekamp K (1992) Estimation of location: global coverage using Light intensity. En: Pnede IM, Swift, SM, (eds) Wild-life telemetry: remote monitoring and tracking of animals. Ellis Horwood, Chichester, pp 131-134
- Wilson RP, Locca R, Alejandro Scolaro J, Laurenti S, Upton J, et al. (2001) Magellanic Penguins *Spheniscus magellanicus* commuting through San Julian Bay; do current trends induce tidal tactics? *Journal of Avian Biology* 32: 83-89. <https://doi.org/10.1034/j.1600-048x.2001.320113.x>
- Wilson RP, Grémillet D, Syder J, Kierspel MA, Garthe S, et al. (2002) Remote-sensing systems and seabirds: their use, abuse and potential for measuring marine environmental variables. *Marine Ecology Progress Series* 228: 241-261. <https://doi.org/10.3354/meps228241>
- Wilson RP, Simeone A, Luna-Jorquera G, Steinfurth A, Jackson S, et al. (2003) Patterns of respiration in diving penguins: is the last gasp an inspired tactic? *Journal of Experimental Biology* 206: 1751-1763. <https://doi.org/10.1242/jeb.00341>
- Wilson RP, Quintana F (2004) Surface pauses in relation to dive duration in imperial cormorants; how much time for a breather? *Journal of Experimental Biology* 207: 1789-1796. <https://doi.org/10.1242/jeb.00967>
- Wilson RP, Kreye JM, Lucke K, Urquhart H (2004) Antennae on transmitters on penguins: balancing energy budgets on the high wire. *Journal of*

- Experimental Biology* 207: 2649-2662. <https://doi.org/10.1242/jeb.01067>
- Wilson RP, Scolaro JA, Grémillet D, Kierspel MA, Laurenti S, et al. (2005) How do Magellanic penguins cope with variability in their access to prey? *Ecological Monographs* 75: 379-401. <https://doi.org/10.1890/04-1238>
- Wilson RP, McMahon CR (2006) Measuring devices on wild animals: what constitutes acceptable practice? *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 147-154. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0147:m-dowaw\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0147:m-dowaw]2.0.co;2)
- Wilson RP, White CR, Quintana F, Halsey LG, Liebsch N, et al. (2006) Moving towards acceleration for estimates of activity-specific metabolic rate in free-living animals: the case of the cormorant. *Journal of Animal Ecology* 75: 1081-1090. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01127.x>
- Wilson RP, Liebsch N, Davies IM, Quintana F, Weimerskirch H, et al. (2007) All at sea with animal tracks; methodological and analytical solutions for the resolution of movement. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 54: 193-210. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.11.017>
- Wilson RP, Shepard E, Liebsch N (2008a) Prying into the intimate details of animal lives: use of a daily diary on animals. *Endangered Species Research* 4: 123-137. <https://doi.org/10.3354/esr00064>
- Wilson RP, Vargas FH, Steinfurth A, Riordan P, Robert-Coudert Y, et al. (2008b) What grounds some birds for life? Movement and diving in the sexually dimorphic Galapagos cormorant. *Ecological Monographs* 78: 633-652. <https://doi.org/10.1890/07-0677.1>
- Wilson RP, Shepard EL, Laich AG, Frere E, Quintana F (2010) Pedalling downhill and freewheeling up; a penguin perspective on foraging. *Aquatic Biology* 8: 193-202. <https://doi.org/10.3354/ab00230>
- Wilson RP, Quintana F, Hobson VJ (2012) Construction of energy landscapes can clarify the movement and distribution of foraging animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279: 975-980. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.1544>
- Wilson R, Sala JE, Gómez-Laich A, Ciancio J, Quintana F (2015) Pushed to the limit: food abundance determines tag-induced harm in penguins. *Animal Welfare* 24: 37-44. <https://doi.org/10.7120/09627286.24.1.037>
- Wilson RP, Gómez-Laich A, Sala J-E, Dell'Omo G, Holton MD, et al. (2017) Long necks enhance and constrain foraging capacity in aquatic vertebrates. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284: 20172072. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2072>
- Wilson RP, Börger L, Holton MD, Scantlebury DM, Gómez-Laich A, et al. (2020) Estimates for energy expenditure in free-living animals using acceleration proxies: A reappraisal. *Journal of Animal Ecology* 89: 161-172. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13040>
- Xiao F, Wang L, Duan H (2016) Nanomaterial based electrochemical sensors for in vitro detection of small molecule metabolites. *Biotechnology Advances* 34: 234-249. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.01.006>
- Yamamoto T, Yoda K, Blanco GS, Quintana F (2019) Female-biased stranding in Magellanic penguins. *Current Biology* 29: R12-R13. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.023>
- Yoda K, Sato K, Niizuma Y, Kurita M, Bost C-A, et al. (1999) Precise monitoring of porpoising behaviour of Adélie penguins determined using acceleration data loggers. *Journal of Experimental Biology* 202: 3121-3126. <https://doi.org/10.1242/jeb.202.22.3121>
- Yorio P, Quintana F, Gatto A, Lisnizer N, Suárez N (2004) Foraging patterns of breeding Olog's gull at Golfo San Jorge, Argentina. *Waterbirds* 27: 193-199. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2004\)027\[0193:fpo-bog\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2004)027[0193:fpo-bog]2.0.co;2)
- Yorio P, Suárez N, Quintana F, Gatto A (2005) Nocturnal activity in breeding Olog's Gulls (*Larus atlanticus*). *Ornitología Neotropical* 16: 13
- Yorio P, Quintana F, Dell'Arciprete P, Gonzalez-Zevallos D (2010) Spatial overlap between foraging seabirds and trawl fisheries: implications for the effectiveness of a marine protected area at Golfo San Jorge, Argentina. *Bird Conservation International* 20: 320-334. <https://doi.org/10.1017/s0959270910000286>
- Yorio P, Suárez N, Arciprete PD, Marinao C, Góngora ME, et al. (2021) Spatial use of multiple jurisdictions by Magellanic penguins and assessment of potential conflicts in the face of changing trawl fisheries scenarios. *Marine Ecology Progress Series* 658: 219-236. <https://doi.org/10.3354/meps13562>
- Yu H, Mujires FT, te Lindert JS, Hedenström A, Henningsson P (2023) Accelerometer sampling requirements for animal behaviour classification and estimation of energy expenditure. *Animal Biotelemetry* 11: 28. <https://doi.org/10.1186/s40317-023-00339-w>
- Zavalaga CB, Halls J, Dell'Omo G (2010a) Marine habitat use of Peruvian boobies: a geographic and oceanographic comparison between inshore and offshore islands. *ICES Journal of Marine Science* 67: 940-951. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp298>
- Zavalaga CB, Halls JN, Mori GP, Taylor SA, Dell'Omo G (2010b) At-sea movement patterns and diving behavior of Peruvian boobies *Sula variegata* in northern Peru. *Marine Ecology Progress Series* 404: 259-274. <https://doi.org/10.3354/meps08490>
- Zavalaga CB, Dell'Omo G, Becciu P, Yoda K (2011) Patterns of GPS tracks suggest nocturnal foraging by incubating Peruvian pelicans (*Pelecanus thagus*). *PLoS ONE* 6: e19966. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019966>
- Zavalaga CB, Emslie SD, Estela FA, Mueller MS, Dell'Omo G, et al. (2012) Overnight foraging trips by chick-rearing Nazca Boobies *Sula granti* and the risk of attack by predatory fish. *Ibis* 154: 61-73. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2011.01198.x>