



## **INFORME FINAL**

Proponer metodologías de identificación de rutas migratorias o de vuelo, e identificar las áreas de concentración o relevancia para grupos de aves en la Región de Magallanes, en base a información bibliográfica disponible, nacional e internacional, y entrevistas a expertos.

**2023**

Este estudio ha sido desarrollado gracias a un convenio de colaboración entre el Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente, con el objetivo de mejorar el conocimiento y los estándares para la evaluación ambiental de proyectos de generación, transmisión y distribución de energía, con especial foco en proyectos de hidrógeno verde y energías renovables. El convenio se enmarca en los objetivos de la Política Energética Nacional actualizada, la Agenda de Energía 2022-2026, y la Estrategia Nacional de Conservación de Aves 2021-2030.

Cita:

**Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Energía, 2022.** Propuesta de metodologías de identificación de rutas migratorias o de vuelo e identificación de áreas de concentración o relevancia para grupos en aves en la Región de Magallanes. Elaborado por Heraldo V. Norambuena<sup>1</sup>, Rodrigo Silva Caballero<sup>2</sup>, Andrea Cisterna Concha<sup>3</sup> y Fabio Labra Rodríguez<sup>4</sup>. Editado por Meliza González, Ministerio de Energía. Santiago, Chile, 46 pp.



<sup>1</sup> Centro Bahía Lomas, Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás. <sup>2</sup> Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC). <sup>3</sup> Centro de Estudios de Mastozoología Marina, Concepción. <sup>4</sup> Centro de Investigación en Cambio Climático e Innovación (CiiC), Universidad Santo Tomás.



## Equipo responsable

### **Heraldo V. Norambuena<sup>1</sup>**

Biólogo en Gestión de Recursos Naturales

Doctor en Sistemática y Biodiversidad

-Responsable del estudio-

### **Rodrigo Silva Caballero<sup>2</sup>**

Médico veterinario

### **Andrea Cisterna Concha<sup>3</sup>**

Bióloga

Doctora (c) en Oceanografía

### **Fabio Labra Rodríguez<sup>4</sup>**

Licenciado en Ciencias Biológicas

Doctor en Ciencias Biológicas, mención Ecología

<sup>1</sup>Centro Bahía Lomas, Facultad de Ciencias, Universidad Santo Tomás.

<sup>2</sup>Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC), Santiago.

<sup>3</sup>Centro de Estudios de Mastozoología Marina, Concepción.

<sup>4</sup>Centro de Investigación en Cambio Climático e Innovación (CiiC), Universidad Santo Tomás.

Foto portada: Chorlo de Magallanes – Ricardo Matus

## ÍNDICE

|             |                                                                                                                          |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <u>1.</u>   | <u>Antecedentes</u>                                                                                                      | 4  |
|             | <u>Migraciones estacionales de aves</u>                                                                                  | 4  |
|             | <u>Migración de aves en la Patagonia: conocimiento actual y vacíos de información</u>                                    | 5  |
|             | <u>Alcances de la consultoría</u>                                                                                        | 9  |
| <u>1.1.</u> | <u>Objetivo</u>                                                                                                          | 10 |
| <u>1.2.</u> | <u>Indicadores</u>                                                                                                       | 10 |
| <u>2.</u>   | <u>Métodos</u>                                                                                                           | 11 |
| <u>2.1.</u> | <u>Revisión bibliográfica</u>                                                                                            | 11 |
| <u>2.2.</u> | <u>Revisión de fuentes de información secundaria</u>                                                                     | 11 |
| <u>2.3.</u> | <u>Entrevistas y consultas a expertos</u>                                                                                | 12 |
| <u>2.4.</u> | <u>Propuesta metodológica estudios migración y movimiento</u>                                                            | 13 |
| <u>3.</u>   | <u>Resultados</u>                                                                                                        | 14 |
| <u>3.1.</u> | <u>Revisión bibliográfica</u>                                                                                            | 14 |
| <u>3.2.</u> | <u>Entrevistas y consultas a expertos</u>                                                                                | 15 |
| <u>3.3.</u> | <u>Áreas de concentración de aves</u>                                                                                    | 19 |
| <u>3.4.</u> | <u>Propuesta metodológica estudios de migración y movimiento, y determinación de áreas de concentración y relevancia</u> | 21 |
|             | <u>Enfoque para conocer las rutas de vuelo o concentración de aves en Magallanes</u>                                     | 21 |
|             | <u>MOTUS : sistema de seguimiento de vida silvestre</u>                                                                  | 23 |
|             | <u>Radares para el estudio de aves</u>                                                                                   | 30 |
|             | <u>Censos observación directa: áreas de concentración</u>                                                                | 36 |
| <u>4.</u>   | <u>Conclusiones</u>                                                                                                      | 40 |
| <u>5.</u>   | <u>Referencias</u>                                                                                                       | 42 |
| <u>6.</u>   | <u>Anexos</u>                                                                                                            | 45 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Abundancia de Canquén colorado en Magallanes. A) Listas completas con datos de la especie. B) Abundancia: Es el promedio del número de aves reportadas por todas las listas completas comprendidas en un rango de fechas (2013-2023) y región. Este parámetro incluye listados completos que no reportaron ningún individuo de la especie en cuestión y nos proporciona la medición de cómo es de común una especie reportada relativa a otras especies en la región. ....     | 7  |
| <b>Figura 2.</b> Abundancia de Chorlo de Magallanes en Magallanes. A) Listas completas con datos de la especie. B) Abundancia: Es el promedio del número de aves reportadas por todas las listas completas comprendidas en un rango de fechas (2013-2023) y región. Este parámetro incluye listados completos que no reportaron ningún individuo de la especie en cuestión y nos proporciona la medición de cómo es de común una especie reportada relativa a otras especies en la región. .... | 8  |
| <b>Figura 3.</b> Mapas de distribución de aves playeras australes con migración parcial/nomádica: A) <i>Pluvianellus socialis</i> – Chorlo de Magallanes, migración obligada: B) <i>Charadrius modestus</i> – Chorlo chileno, C) <i>Charadrius falklandicus</i> – Chorlo de doble collar. Modificado de: <a href="https://birdsoftheworld.org/">https://birdsoftheworld.org/</a> .....                                                                                                          | 9  |
| <b>Figura 4.</b> Imágenes desarrollo simposio aves y energía eólica.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 16 |
| <b>Figura 5.</b> Imágenes desarrollo de entrevistas a expertos nacionales sobre áreas de concentración de aves en Magallanes. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 19 |
| <b>Figura 6.</b> Mapa con áreas de concentración de aves en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 21 |
| <b>Figura 7.</b> Distribución geográfica de la red MOTUS en el mundo. Fuente: <a href="https://motus.org/data/receiversMap?lang=en">https://motus.org/data/receiversMap?lang=en</a> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 24 |
| <b>Figura 8.</b> Equipo instalando antenas MOTUS en Bahía Lomas. Fotos: Centro Bahía Lomas.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 25 |
| <b>Figura 9.</b> Nano-etiqueta de radio utilizada en los proyectos MOTUS. Foto: Tim Romano/Instituto Smithsonian de Biología de la Conservación.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 26 |
| <b>Figura 10.</b> Estaciones MOTUS activas en Bahía Lomas y Buque Quemado, Región de Magallanes. Fuente: <a href="https://motus.org/dashboard/#e=main&amp;d=stations">https://motus.org/dashboard/#e=main&amp;d=stations</a> .....                                                                                                                                                                                                                                                              | 29 |
| <b>Figura 11.</b> Zarapito de pico recto ( <i>Limosa haemastica</i> ) capturado en Bahía Lomas, en proceso de instalación de transmisor. Foto: Centro Bahía Lomas. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 30 |
| <b>Figura 12.</b> Forma de visualización y tipo de información proporcionada por un radar marino modificado. Fuente: Hamer Environmental .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 32 |
| <b>Figura 13.</b> Laboratorio de radar de Hamer Enviro mental. Nótese su portabilidad y la presencia de dos antenas: una horizontal y una vertical. Foto: Thomas Hamer/Hamer Environmental. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 33 |
| <b>Figura 14.</b> Radar marino modificado GEM SuperNet utilizado para el estudio de gaviota garuma en Chile. Fuente: <a href="https://youtu.be/G37VWG8lhn8">https://youtu.be/G37VWG8lhn8</a> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 36 |
| <b>Figura 15.</b> Monitoreo de aves playeras y sus amenazas, programa “Migratory Shorebird Project” de la ROC. Foto: ROC. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40 |

## 1. Antecedentes

### *Migraciones estacionales de aves*

La migración se puede definir de diversas formas, pero a menudo se entiende como un movimiento estacional predecible de individuos entre ubicaciones, y se distribuye amplia pero heterogéneamente entre los animales (Dingle & Drake 2007). Aunque la migración no requiere cambios espaciales en la reproducción (i.e., dispersión), se asume una asociación positiva (Lombal et al. 2020). Nuevas interpretaciones de los conceptos sugieren que la migración no es un rasgo (i.e. función biológica o carácter físico), lo que plantea un desafío para el estudio de su evolución (Winger et al. 2019, Brown et al. 2021). La migración debe interpretarse como un conjunto de comportamientos lábiles y condiciones fisiológicas plásticas (Winger et al. 2014, Pegan & Winger 2020). Recientemente, Winger et al. (2019) revisaron varios conceptos clásicos relacionados con los movimientos de las aves, redefiniendo la migración como un movimiento regular de ida y retorno estacional entre una región (o área) de reproducción y una región o regiones no reproductoras. Por el contrario, la dispersión, es un fenómeno que se encuentra en todas las especies de aves hasta cierto punto, es un movimiento unidireccional de un individuo entre lugares de reproducción. En las aves, incluso aquellas con migraciones de larga distancia, la dispersión ocurre típicamente en distancias cortas, ya que las aves tienen una alta fidelidad a sus sitios de reproducción. Por lo general, es solo el primer evento de dispersión, desde el lugar en el que nace un ave hasta el lugar donde se reproduce por primera vez (dispersión natal), el que se produce a una distancia apreciable. En temporadas de reproducción posteriores, es probable que un ave regrese al mismo sitio de reproducción que utilizó el año anterior (Steiner & Gaston 2005, Lovette & Fitzpatrick 2016). La filopatría se refiere específicamente a la tendencia a regresar a los sitios natales, mientras que la fidelidad al sitio de reproducción se refiere a la tendencia a regresar al sitio donde un individuo adulto se reprodujo anteriormente. Pero en algunos sitios con climas invernales severos, algunas especies podrían o no migrar, siendo conocidas como criadoras nómadas que buscan en grandes distancias para localizar áreas de reproducción que varían mucho en ubicación de un año a otro (Newton 2006, Therrien et al. 2014, Robillard et al. 2018). Se supone que los criadores nómadas muestrean ampliamente la calidad del parche antes de seleccionar un

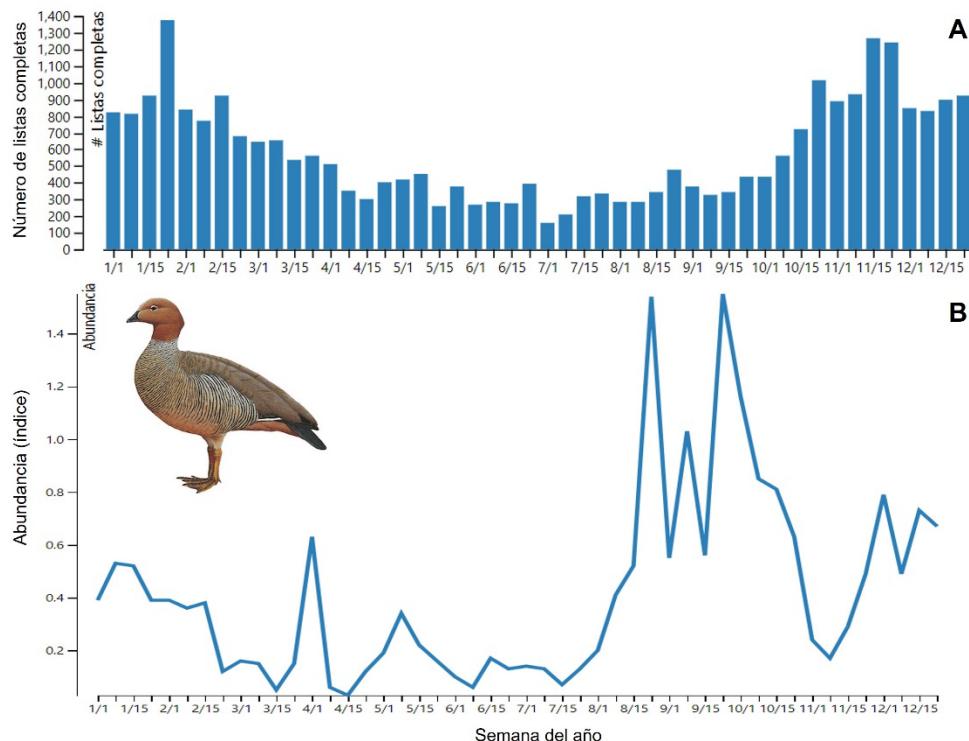
sitio de asentamiento de verano (por ejemplo, un sitio de reproducción) con una gran abundancia de presas (Winger et al. 2019, Brown et al. 2021). Las especies en las que solo algunos individuos dentro de una población migran o en las que las poblaciones varían en su comportamiento migratorio se conocen como migrantes parciales, en contraste con los migrantes completos u obligados (Winger et al. 2019).

### *Migración de aves en la Patagonia: conocimiento actual y vacíos de información*

La Región de Magallanes posee una diversidad de aves que alcanza las 242 especies, incluyendo aves residentes, migratorias e introducidas (eBird 2022). De éstas, al menos unas 60 especies son migratorias, las que, por las condiciones climáticas invernales de la Región, migran al norte en busca de alimentación y refugio. Este fenómeno migratorio ocurre incluso con especies que en otras latitudes de Chile suelen ser residentes como el caso del Chincol (*Zonotrichia capensis*) o Queltehue (*Vanellus chilensis*). Dentro de las especies con distribución restringida a Magallanes y que realizan migraciones, destaca el Canquén Colorado (*Chloephaga rubidiceps*), el que cuenta con un Plan de Recuperación, Conservación y Gestión desde 2020. Situación similar ocurre para el Chorlo de Magallanes (*Pluvianellus socialis*), especie en peligro de extinción. Otra especie también en peligro corresponde al Playero ártico (*Calidris canutus*), el cual dentro de la región concentra casi el 50% de la población global de la subespecie *rufa*, siendo Bahía Lomas el sitio de mayor importancia en toda Sudamérica (Espoz et al. 2022). Otra especie que destaca es el Zarapito de pico recto (*Limosa haemastica*), siendo Bahía Lomas un sitio clave para su estadía post-reproductiva y sitio para el cual se considera como objeto de conservación (MMA 2022, Espoz et al. 2022). Las aves migratorias de Magallanes suelen abandonar la región en otoño-invierno, salvo excepciones, gran parte de su población deja esta región. Por ejemplo, el Canquén colorado, la mayoría de su población continental migra hasta la provincia de Buenos Aires en Argentina, reduciendo su presencia en Magallanes a partir de la segunda semana de abril (Fig. 1).

A pesar de la importancia de la migración en las aves de Magallanes, los estudios publicados sobre este tema son escasos. Destacan los trabajos de Pedrana et al. (2020) sobre la migración del Canquén colorado, quienes reportan que los gansos rastreados con GPS utilizaron la ruta patagónica oriental para llegar a sus áreas de reproducción y tomaron la misma ruta en su migración post-reproductiva. La migración de primavera fue significativamente más rápida que la migración de otoño, al menos según la cantidad de

días que pasaron en sus escalas (Pedrana et al. 2020). Las escalas estaban más cerca del destino final, ya sea durante las migraciones de primavera y otoño. Además, la mayoría de las detecciones en sus áreas de reproducción se concentraron en la comuna de San Gregorio (Pedrana et al. 2020).



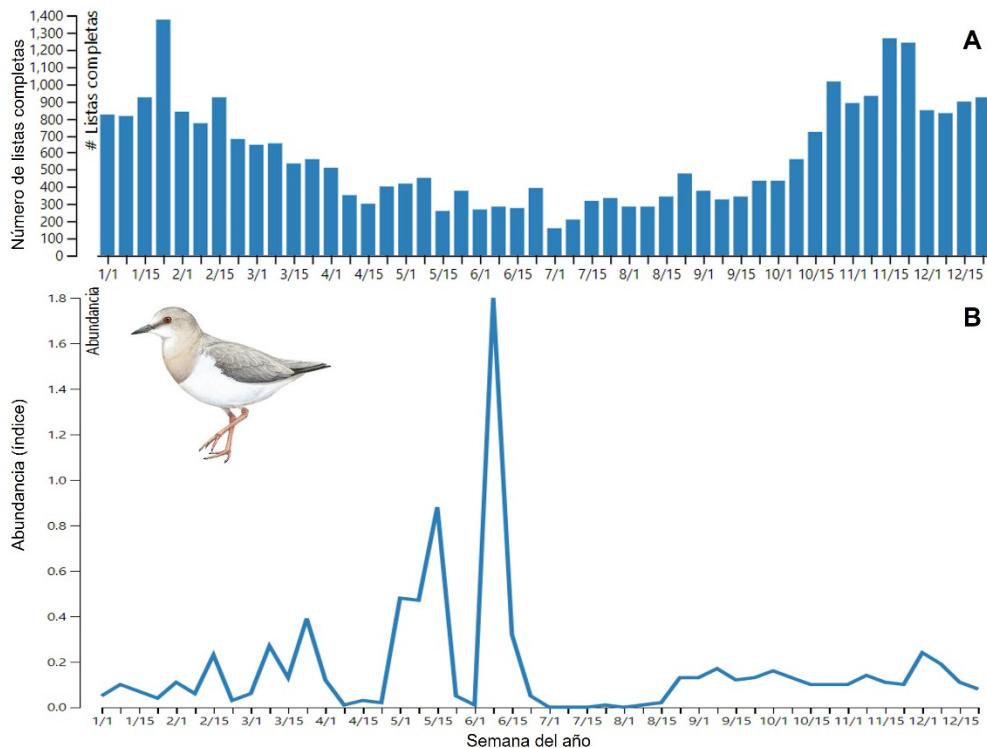
**Figura 1.** Abundancia de Canquén colorado en Magallanes. A) Listas completas con datos de la especie. B) Abundancia: Es el promedio del número de aves reportadas por todas las listas completas comprendidas en un rango de fechas (2013-2023) y región.

Este parámetro incluye listados completos que no reportaron ningún individuo de la especie en cuestión y nos proporciona la medición de cómo es de común una especie reportada relativa a otras especies en la región.

Otro estudio es el de Fío-fío (*Elaenia albiceps*) el que utilizó geolocalizadores con recaptura en tres individuos (Jiménez et al. 2016). En este trabajo reportaron que la migración de otoño a las zonas de invernada amazónicas fue de 64 a 96 días, mientras que la migración de primavera fue de 45 a 60 días. La distancia promedio entre las áreas de reproducción e invernada fue de 5.932 km, lo que constituye la migración más larga de un migrante austral neotropical estudiada hasta la fecha. Las aves abandonaron sus sitios de reproducción en Cabo de Hornos a mediados de febrero y llegaron a sus sitios de invernada en la cuenca

amazonica entre abril y junio. La tasa de migración diaria de las aves fue de 71-88 km por día en otoño y 93-154 km por día en primavera.

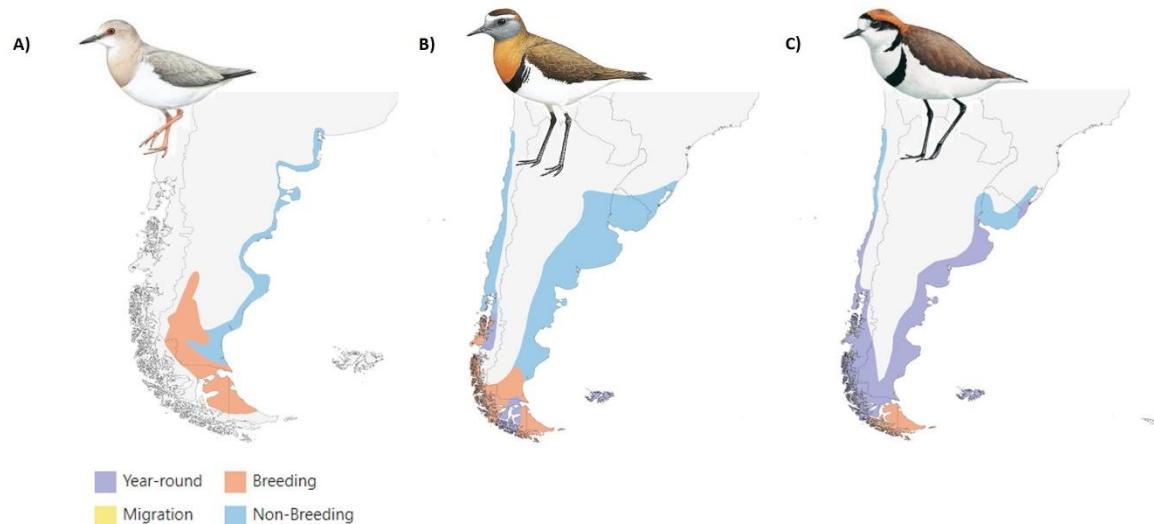
Para otras aves como el Chorlo de magallanes el conocimiento es más limitado, en base a registros en eBird se sabe que las abundancias máximas (Fig. 2) se registran en otoño (mayo-junio) cuando realizan la migración desde sus sitios de reproducción en Magallanes, hasta la pampa Argentina.



**Figura 2.** Abundancia de Chorlo de Magallanes en Magallanes. A) Listas completas con datos de la especie. B) Abundancia: Es el promedio del número de aves reportadas por todas las listas completas comprendidas en un rango de fechas (2013-2023) y región. Este parámetro incluye listados completos que no reportaron ningún individuo de la especie en cuestión y nos proporciona la medición de cómo es de común una especie reportada relativa a otras especies en la región.

Los datos empíricos limitados para algunas especies de aves playeras sugieren que podemos identificar al Chorlo de Magallanes como migrante parcial/nómada. En contraste, Chorlo chileno (*Charadrius modestus*) y Chorlo de doble collar (*Charadrius falklandicus*) son migrantes obligados (Fig. 3, Medrano et al. 2018). Durante la época de cría el Chorlo de Magallanes está presente en lagunas ubicadas en ambientes esteparios de la Región

de Magallanes, en las comunas de Punta Arenas, Río Verde, Laguna Blanca, San Gregorio, Primavera y Porvenir en Chile (Venegas & Jory 1979, Medrano et al. 2018). Sin embargo, en el pasado, Goodall et al. (1951) informó que esta especie estaba restringida a Tierra del Fuego. Durante el invierno austral se ha reportado en Bahía Lomas Tierra del Fuego y en la costa asociada al Estrecho de Magallanes. Mientras que el Chorlo chileno se distribuye en el sur de la provincia de Santa Cruz (Argentina), en la Región de Magallanes, Tierra del Fuego, y en Malvinas / Islas Malvinas (Hellmayr 1932, Housse 1945, Kusch & Marín 2004) durante la reproducción. Tiene un movimiento migratorio obligado, retirándose de estas áreas en la temporada post-reproductiva, migrando a lo largo de la costa atlántica, llegando al norte de Argentina, Uruguay y ocasionalmente al sur de Brasil (Housse 1945, Wiersma et al. 2016), y en la costa del Pacífico, donde alcanza la zona centro-norte de Chile hasta Caldera ( $27^{\circ} 8'S$ ) (Hellmayr 1932, Housse 1945, Goodall et al. 1951, Philippi 1964). Finalmente, el Chorlo de doble collar se distribuye a lo largo de la costa atlántica desde Tierra del Fuego, Argentina (Blanco & Canevari 1995), hasta Rio Grande do Sul, en Brasil ( $29^{\circ}46'S$ ) (Resende & Leewenberg 1989, Scherer et al. 2013), y a lo largo de la costa del Pacífico desde el Cabo de Hornos hasta Antofagasta ( $25^{\circ}55'S$ ), en Chile (Goodall et al. 1951). La población presente en las Islas Falkland/Malvinas ha sido sugerida como residente (Woods 1988, Woods & Woods 1997, St. Clair 2010). La mayor parte de su área de reproducción está restringida a Magallanes, pero se han reportado algunos nidos en la costa del Pacífico de Chile (Hevia 2013).



**Figura 3.** Mapas de distribución de aves playeras australes con migración parcial/nomádica: A) *Pluvianellus socialis* – Chorlo de Magallanes, migración obligada; B) *Charadrius modestus* – Chorlo chileno, C) *Charadrius falklandicus* – Chorlo de doble collar. Modificado de: <https://birdsoftheworld.org/>

### *Alcances de la consultoría*

El Estado de Chile, a través del Ministerio de Energía e instrumentos de política pública como la Política Energética Nacional, fomenta la penetración progresiva y sostenida de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en la matriz energética nacional, en concordancia con la Agenda 2030 sobre Desarrollo Sostenible. Adicionalmente, el país pretende desarrollar la industria del hidrógeno verde y situar a Chile entre los principales productores del mundo de este combustible renovable al 2040. Para ambos fines, la expansión de la generación eléctrica a partir del recurso eólico resulta crucial. Sin embargo, sus impactos sobre la biodiversidad -especialmente aves y murciélagos- son reconocidos como una amenaza tanto a nivel local como global; a la vez que la colisión es reconocida globalmente como la principal preocupación ambiental asociada al desarrollo de esta industria. En Chile, si bien existen alrededor de 15 años de expansión de la industria eólica y actualmente existen 54 parques, 1026 turbinas y 3842 MW de capacidad instalada (Global Wind Energy Council 2021) el conocimiento sobre su interacción con aves es escaso.

En ese contexto, los Ministerios de Energía y del Medio Ambiente suscribieron un Convenio de Colaboración y Transferencia de Recursos, para determinar el impacto de proyectos de generación y transmisión de energías renovables, especialmente para la producción de hidrógeno verde, sobre el ecosistema de aves, murciélagos y sus hábitats en Chile, y posibles formas de solución.

Lo anterior se da en el contexto de la promoción de Magallanes como el principal polo de desarrollo de la industria del hidrógeno verde en Chile, que -de materializarse en los términos actuales- implicaría la instalación de aerogeneradores a una escala sin precedentes para el país, ciertamente modificando el uso del territorio de forma relevante a escala regional. Por otra parte, la región es hábitat de centenas de miles de aves migratorias -algunas de ellas amenazadas- pero se desconocen aspectos básicos de su biología y ecología, lo que dificulta la toma de decisiones en la evaluación ambiental de proyectos, evaluación ambiental estratégica y otros.

El Ministerio del Medio Ambiente encargó al equipo responsable de esta consultoría la ejecución de una de las actividades enmarcadas en el mencionado convenio, referida a: (i) una propuesta de metodologías adecuadas para la identificación de rutas de vuelo o migratorias a escala de proyectos; y (ii) la identificación de áreas de concentración o

relevancia para grupos de aves en la región de Magallanes. El presente informe corresponde al producto de dicha consultoría.

## 1.1. Objetivo

**A.** Proponer metodologías de identificación de rutas migratorias o de vuelo, e identificar las áreas de concentración o relevancia para grupos de aves en la Región de Magallanes, en base a información bibliográfica disponible, nacional e internacional, y entrevistas a expertos.

## 1.2. Indicadores

**A1.** Documento de revisión bibliográfica y entrevistas realizadas.

**A2.** Respaldo de entrevistas realizadas, en formato Word o PDF.

**A3.** Propuesta de metodología de estudio que debería realizarse para la identificación de rutas migratorias y de vuelo de aves, en conjunto con las áreas de concentración y relevancia para estas especies en Magallanes.

**A4.** Estimación preliminar de los costos que dicha metodología de estudio requeriría para su implementación (se espera distintos escenarios).

## 2. Métodos

### 2.1. Revisión bibliográfica

Para recomendar metodologías que permitan identificar rutas de vuelo o migración de aves a escala de proyectos, se buscó literatura científica en Google Scholar ([www.scholar.google.com](http://www.scholar.google.com)) y ‘Connected papers’ (<https://www.connectedpapers.com/>), limitado a los años 1990 a 2022. Las palabras claves utilizadas fueron: migración de aves, energía eólica, aerogeneradores, parques eólicos.

Para cada artículo e informe técnico se identificó: 1) tema principal, 2) metodología empleada, 3) objetivo del estudio, 4) periodicidad (frecuencia de los muestreos y duración). Los resultados de la revisión con los detalles de cada método se presentan en una tabla resumen (Anexo 2).

### 2.2. Revisión de fuentes de información secundaria

Para la identificación de áreas de concentración o relevancia de aves en la región de Magallanes se consultaron las fuentes de información secundaria descritas en la Tabla 1. Estos hallazgos se recopilaron y representaron de manera espacialmente explícita, a partir de la mejor información disponible en cada caso. Cuando un área estuvo presente en más de un tipo de fuente de información, el equipo consultor asignó ambas categorías a la tabla.

**Tabla 1. Fuentes consultadas para identificar áreas de concentración o relevancia para las aves de Magallanes.**

| Tipo                                                                             | Descripción                                                                                                                                                                                   | Fuente                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Áreas del sistema nacional de áreas silvestres protegidas del Estado             | Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales                                                                                                                                | Registro nacional de áreas protegidas MMA |
| Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad (carácter regional) | Sitios prioritarios identificados al amparo de los Comités Regionales de Biodiversidad, coordinados por la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entre los años 2001 y 2002 | Registro nacional de áreas protegidas MMA |
| Santuarios de la naturaleza                                                      | Sitios terrestres o marinos que ofrecen posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o                          | Registro nacional de áreas protegidas MMA |

|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                              |                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                      | que posean formaciones naturales, cuya conservación sea de interés para la ciencia o para el Estado.                                                         |                                                                                         |
| Monumentos naturales                                                                                                                 | Regiones, objetos o especies vivas de animales o plantas de interés estético o valor histórico o científico, a los cuales se les da protección absoluta.     | Decretos publicados en el Diario Oficial                                                |
| Sitios Ramsar                                                                                                                        | Humedales de Importancia Internacional                                                                                                                       | Decretos publicados en el Diario Oficial                                                |
| Planes de recuperación, conservación y gestión de especies amenazadas (RECOGE)                                                       | Instrumento de gestión pública a cargo del MMA que, entre otras cosas, define áreas prioritarias para la conservación de una o más especies                  | Decretos publicados en el Diario Oficial                                                |
| Áreas de Importancia para la conservación de murciélagos (AICOM) y Sitios de Importancia para la Conservación de Murciélagos (SICOM) | Áreas de distinta escala territorial que buscan garantizar la conservación de murciélagos                                                                    | Red latinoamericana y del caribe para la conservación de los murciélagos                |
| <i>Important Bird Areas</i>                                                                                                          | Áreas importantes para la conservación de las aves a nivel global. En español se conocen como AICAs (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves). | BirdLife International. Información para Chile disponible en Ortíz-Suazo et al. (2009). |

Cuando se identificó un área en alguno de los instrumentos consultados, se evaluó a juicio experto, si ésta se relaciona con singularidad (i.e. abundancia, categoría de conservación) de una o varias especies de fauna, para lo que se indagó en bases de datos abiertas o instrumentos de gestión específicos para el área (ej. Planes de manejo o Expedientes para la declaratoria de Santuario de la Naturaleza).

Al existir sobreposición de dos categorías para una misma área, se resolvió a criterio experto el límite a considerar, privilegiando una delimitación lo más ajustada posible al hábitat singular de fauna que dio origen a la consideración del área.

### 2.3. Entrevistas y consultas a expertos

Para los dos aspectos de interés de la consultoría se realizó consulta a expertos. Para indagar en los métodos para identificar rutas de vuelo o migración se contactaron expertos extranjeros con experiencia en la temática y se generó un simposio de aves y energía eólica en el contexto del XIII Congreso Chileno de Ornitología. En este espacio académico se solicitó a los expertos presentar su experiencia en charlas de 10 minutos de duración, con el objetivo de responder las siguientes preguntas: ¿qué sabemos respecto a los impactos

de esta energía?, ¿qué tipo de información debemos generar para orientar mejor la toma de decisiones? y ¿qué soluciones podemos adoptar en Chile para que estos proyectos sean realmente sustentables?

Los expertos invitados fueron:

- Dr. Carlos Zavalaga – Universidad Científica del Sur, Perú.
- Dr. Juan Manuel Pérez García – Dpto. Biología Aplicada, Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Dra. Cary Deringer – Hamer Environmental, Mount Vernon.

Para las consultas sobre las áreas de concentración o relevancia, se realizaron dos entrevistas semiestructuradas a expertos en aves de Chile y Magallanes. Los expertos entrevistados fueron:

- Dr. (c) Fernando Medrano – Coordinador científico, Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC), Universidad de Barcelona, España.
- Ricardo Matus – Centro de Rehabilitación de Aves Leñadura, Punta Arenas.

Se elaboró una pauta específica para cada entrevista y una minuta de resumen de cada entrevista.

## 2.4. Propuesta metodológica estudios migración y movimiento

En base a la información recopilada en la revisión bibliográfica, más las entrevistas a expertos, y la experiencia en el simposio en el XIII Congreso Chileno de Ornitología, se desarrolla una propuesta metodológica para el estudio de las rutas migratorias y de vuelo de las aves de Magallanes que considera los siguientes componentes: 1) descripción general del método, 2) especificaciones técnicas para su aplicación, 3) especies objetivo, 4) costos estimados, 5) experiencia previa en Chile y 6) recomendaciones.

### 3. Resultados

#### 3.1. Revisión bibliográfica

La búsqueda concluyó en la revisión de 55 artículos científicos, 11 informes técnicos, cinco capítulos de libros, una monografía y una presentación a congreso (Anexo 1 base de datos en Excel). En total se identificaron 12 métodos para la identificación de rutas migratorias o de vuelo, estos son:

1. Censos en puntos fijos
2. Censos por transectos
3. Censos desde puntos panorámicos
4. Monitoreo acústico nocturno
5. Estudio de la nidificación / mapeo de sitios reproductivos
6. Estudios con radar
7. Redes de niebla
8. Cámaras infrarrojas/térmicas
9. Telemetría y radiotelemetría
10. Anillamiento
11. Sistema de cámaras 'IndetiFlight'
12. Búsqueda de cadáveres y carcasas

El detalle de cada método se presenta en el Anexo 2. De todos los métodos identificados, los siguientes evalúan explícitamente la migración y rutas de vuelo: a) estudios con radar, b) telemetría y radiotelemetría, c) anillamiento y redes de niebla. Dados los avances tecnológicos, el resto de los métodos se sugieren como complementarios o para identificar áreas de concentración de aves.

### 3.2. Entrevistas y consultas a expertos

#### **Expertos internacionales**

El día viernes 9 de diciembre de 2022 se desarrolló el Simposio de aves y energía eólica en el contexto del XIII Congreso Chileno de Ornitología (Fig. 4, Anexo 3). Los temas tratados fueron:

- Evaluación del riesgo de colisión de la gaviota garuma con aerogeneradores: un caso de estudio - Dr. Carlos Zavalaga – Universidad Científica del Sur, Perú.
- Mortalidad de fauna en parques eólicos en España: seguimiento, estimación del impacto y medidas de mitigación - Dr. Juan Manuel Pérez García – Dpto. Biología Aplicada, Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Using ornithological radar systems to assess impacts to birds from wind energy developments - Dra. Cary Deringer – Hamer Environmental, Mount Vernon.



**Figura 4.** Imágenes desarrollo simposio aves y energía eólica.

De estas presentaciones se obtuvieron los siguientes resultados:

**El modelo de Band** (Band 2012) permite estimar el número de aves que colisionará con infraestructura eólica a partir de parámetros como la cantidad y altura de los movimientos de aves, características físicas, velocidad de vuelo y comportamiento (ej. atracción o evasión) y características de los aerogeneradores, proporcionando un insumo relevante para evaluar la significancia de este riesgo de colisión en las poblaciones de las especies de interés. La presentación del Dr. Zavalaga se enfocó en la gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*, Vulnerable según el D.S. 16/2020 del Ministerio del Medio Ambiente) y la aplicación del modelo de Band, utilizando como insumo la información obtenida mediante un radar de banda X[1] y transmisores GPS[2] (ej. cantidad de aves, altura y velocidad de vuelo).

**Los radares marinos modificados** han sido usados desde la década de 1960 para evaluar impactos en aves. Dentro de sus ventajas, destaca la alta calidad de la información obtenida, el hecho de que permite estudiar a las aves tanto de día como de noche y su versatilidad, pues pueden ser montados en vehículos, botes o en estaciones permanentes; y ser operados tanto manualmente como vía remota. El ideal es incorporar estudios con radar en etapas tempranas del desarrollo de proyectos (planificación) para determinar el emplazamiento de las turbinas que permita evitar o reducir los efectos negativos sobre las aves.

Lo central de su funcionamiento es una antena, que emite pulsos que rebotan en los objetos dentro de su radio de alcance y son traducidos en una imagen. Lo ideal es utilizar dos antenas simultáneamente: una horizontal y otra vertical. Cuando los objetos son identificados como aves de interés, mediante observación realizada por un observador calificado (que puede ser diurna o nocturna y se denomina “calibración”), los ecos pasan a ser considerados “blancos” (targets). Una vez que se han identificado los blancos, la antena horizontal proporciona información acerca de su dirección, trayectoria, velocidad, temporalidad, patrones y niveles de actividad. En tanto, la antena vertical informa sobre la altura de vuelo de los blancos, normalmente en un área mucho menor que la cubierta por la antena horizontal. A partir de la información obtenida por la antena horizontal se pueden elaborar mapas de riesgo de escala local, mientras que a partir de la información obtenida por la antena vertical se pueden construir perfiles de altura de vuelo, que son cruciales para determinar la proporción de aves en riesgo de colisionar. Por ejemplo, para un ave marina

de 35 cm de largo, un radar detecta aves a 3 km y para una especie semejante de 23 cm de largo, esta distancia podría reducirse a 1,5 km.

Dependiendo de la fuente de energía utilizada los radares pueden funcionar hasta por 24 horas. La colecta de datos normalmente se realiza de manera manual para posibilitar una calibración en tiempo real (que también funciona en la dirección opuesta, pues el operador del radar puede informar al ornitólogo de campo acerca de la ubicación, dirección y altura de un eco), aunque también se puede automatizar el proceso a partir de parámetros útiles para la calibración, proporcionados previamente al sistema.

Algunas limitaciones del sistema son el ruido (ocasionado por agua, insectos u otras causas) y las sombras (ocasionadas por el relieve o los árboles), pero ambas se pueden controlar mediante la elección de un buen sitio y la experiencia de un técnico de radar experimentado.

### ***Expertos nacionales***

En las entrevistas a los expertos nacionales se recopiló información referente a las áreas de concentración de aves en Magallanes (Fig. 5, Anexo 4). La entrevista se basó en los resultados presentados en la Tabla 2 y Figura 6. Dentro de la información aportada se destaca, según especie, lo siguiente:

**Canquén colorado:** Spring-hill es un sitio importante para canquén colorado. En San Gregorio se debe considerar para el Canquén Colorado, identificada en el Plan RECOGE, toda esta comuna es relevante en términos de migración y de concentración. También se puede sumar las comunas de Primavera y Porvenir importantes en Tierra del Fuego para canquén colorado. Seno Skyryng en Río Verde, es sitio de concentración de gansos y también cóndores.

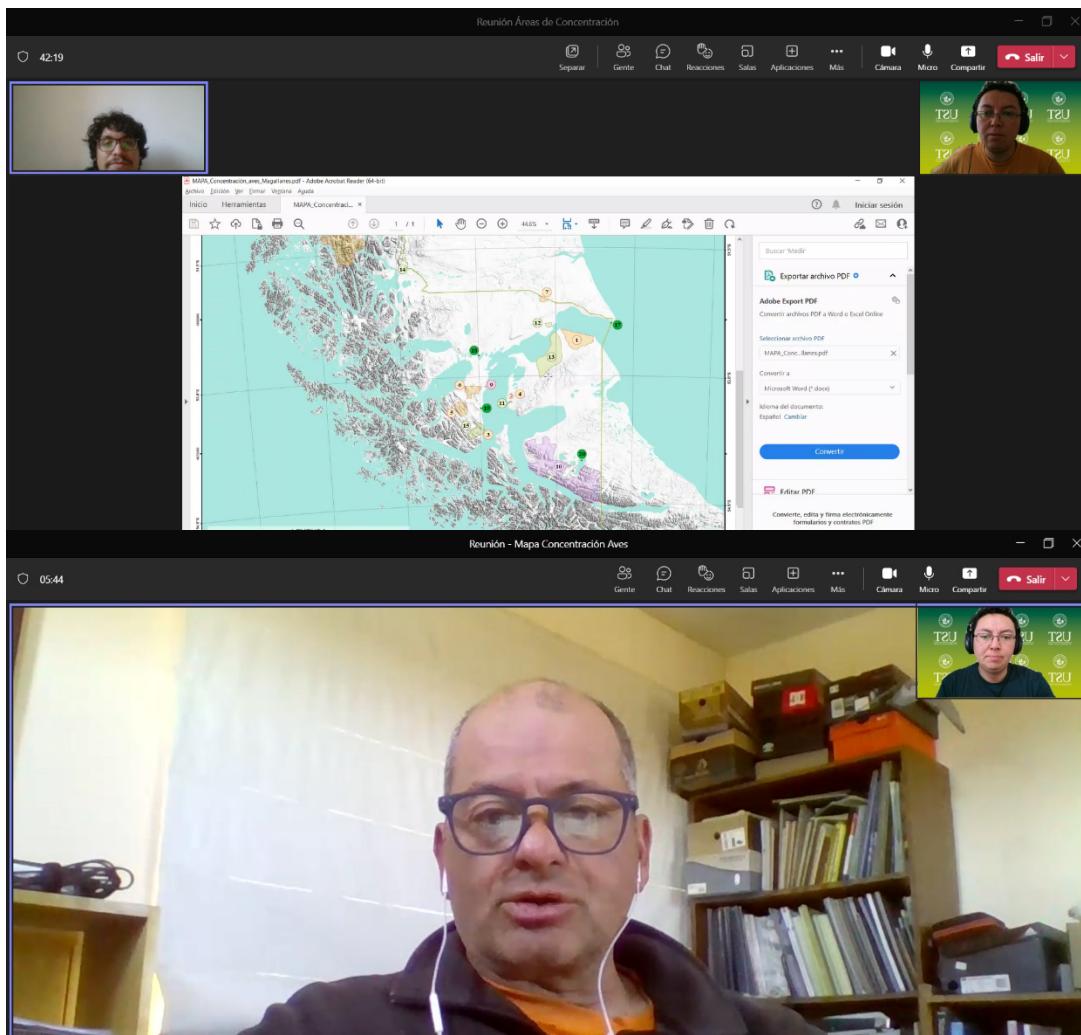
**Chorlo de magallanes:** El sitio **laguna verde** en Tierra del Fuego, al lado de laguna de los cisnes, es parte del sistema de lagunas al norte de Porvenir (ver propuesta en Plan RECOGE Canquén colorado). El área Kampenaike en Laguna Blanca, es relevante, sin embargo, se puede pensar en comuna de Laguna Blanca por chorlo de magallanes porque contiene un sistema de lagunas salobres (Palos, Toros, Estancia entrevientos) antes de llegar a comuna de Río Verde, que son sitios que usa la especie y otras aves playeras. Río

Serrano, se puede considerar asociado al polígono 13 (Fig. 6) en Tierra del Fuego, es importante para chorlo de Magallanes.

**Albatros de ceja negra:** Seno Almirantazgo hay información del área de forrajeo de Albatros de ceja negra. También se pueden sumar la Reserva Nacional Alacalufe, Parque Nacional Francisco Coloane.

**Chorlo de campo:** San Gregorio – Pampa Larga, ambos son sitios de importancia para Chorlo de campo, en base a registros de eBird.

### 3.3. Áreas de concentración de aves



**Figura 5.** Imágenes desarrollo de entrevistas a expertos nacionales sobre áreas de concentración de aves en Magallanes.

En total registramos 20 áreas de concentración de aves, de estas nueve tienen la categoría de Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) otorgada por BirdLife International, seis unidades del SNASPE, tres sitios prioritarios, tres sitios relevantes para el canquén colorado según el plan RECOGE de la especie, un santuario de la naturaleza y un sitio Ramsar (Tabla 2, Fig. 6). Hay áreas como Bahía Lomas y el Monumento Natural Laguna de los Cisnes que tienen más de una categoría (Tabla 2).

**Tabla 2. Áreas de concentración de aves en la Región de Magallanes.**

| Nº | Nombre sitio                             | Provincia        | Categoría*                             | Criterio                 | Fuente               |
|----|------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1  | Sierra Baguales                          | Última Esperanza | AICA                                   | A1 (NT)                  | Soazo et al. (2009)  |
| 2  | Parque Nacional Torres del Paine         | Última Esperanza | AICA                                   | A1 (VU1-NT3)             | Soazo et al. (2009)  |
| 3  | Puerto Natales                           | Última Esperanza | AICA                                   | A4i                      | Soazo et al. (2009)  |
| 4  | Marisma Buque Quemado                    | Magallanes       | AICA                                   | A1 (NT) - A4i            | Soazo et al. (2009)  |
| 5  | Norte de Isla Grande de Tierra del Fuego | Tierra del Fuego | AICA                                   | A2                       | Soazo et al. (2009)  |
| 6  | Bahía Lomas                              | Tierra del Fuego | AICA/Santuario de la naturaleza/RAMSAR | A4i                      | Soazo et al. (2009)  |
| 7  | Parque Nacional Isla Magdalena           | Magallanes       | AICA                                   | A1 (NT) - A4i-A4ii-A4iii | Soazo et al. (2009)  |
| 8  | Monumento Natural Laguna de los Cisnes   | Tierra del Fuego | AICA/Monumento Natural                 | A1 (NT2) - A2 - A4i      | Soazo et al. (2009)  |
| 9  | Bahía Chilota, Porvenir                  | Tierra del Fuego | AICA                                   | A4ii                     | Soazo et al. (2009)  |
| 10 | Parque Nacional Pali Aike                | Magallanes       | Parque Nacional                        | NA                       | DS N°378             |
| 11 | Parque Nacional Bernardo O'Higgins       | Última Esperanza | Parque Nacional                        | NA                       | DS N°264             |
| 12 | Reserva Nacional Laguna Parrillar        | Magallanes       | Reserva Nacional                       | NA                       | DS N°245             |
| 13 | Reserva Nacional Magallanes              | Magallanes       | Reserva Nacional                       | NA                       | DS N°1093            |
| 14 | Monumento Natural Canquén Colorado       | Magallanes       | Monumento Natural                      | NA                       | DS N°41              |
| 15 | Kampenaiquén - Tres Chorrillos           | Magallanes       | Sitio prioritario conservación         | Nivel II                 | Muñoz et al. (1996)  |
| 16 | Centro-sur Isla Tierra del Fuego         | Tierra del Fuego | Sitio prioritario conservación         | Nivel II                 | Muñoz et al. (1996)  |
| 17 | Cabo Espíritu Santo                      | Tierra del Fuego | Sitio prioritario conservación         | Nivel III                | Muñoz et al. (1996)  |
| 18 | Humedal Tres Puentes                     | Magallanes       | Plan RECOGE Canquén colorado           | NA                       | Matus & Blank (2019) |
| 19 | Río San Juan - desembocadura             | Magallanes       | Plan RECOGE Canquén colorado           | NA                       | Matus & Blank (2019) |
| 20 | Río Santa María - desembocadura          | Magallanes       | Plan RECOGE Canquén colorado           | NA                       | Matus & Blank (2019) |

\*Categoría A1: Sitio con especies de aves amenazadas; A2: Sitio con especies de aves endémicas; A3: Sitios con aves características de biomas; A4: Sitios que contienen poblaciones de aves congregatorias. Nivel II: Sitio Importante; Nivel III: Sitio de Interés.



**Figura 6.** Mapa con áreas de concentración de aves en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

### 3.4. Propuesta metodológica estudios de migración y movimiento, y determinación de áreas de concentración y relevancia

#### *Enfoque para conocer las rutas de vuelo o concentración de aves en Magallanes*

Obtener la información necesaria sobre el **movimiento de aves** (ej. rutas de vuelo) conlleva el uso de tecnología y estudios técnicos en una profundidad y duración que ha sido escasa en el ámbito de la evaluación ambiental de proyectos en Chile. Dados los vacíos de información existentes y la necesidad de contar con información oportuna, se recomienda la adopción de un enfoque intersectorial, colaborativo y transparente, que favorezca la construcción conjunta del conocimiento requerido para posibilitar la toma de decisiones fundada. Estudios de esta naturaleza requieren 2 a 3 años para contar con información veraz, útil para planificar el desarrollo de la industria. La evaluación de rutas de vuelo requiere el uso de tecnología que evalúe explícitamente la migración de aves. Se recomiendan los siguientes métodos: (i) **estudios con radar** y (ii) seguimiento de especies de interés con **radiotelemetría automatizada (e.g. Motus)**. Los estudios con radar son más costosos que la observación directa, pero entregan información espacialmente explícita sobre los movimientos de las aves de características a las que no se puede aspirar mediante la observación directa. Sin embargo, no proporcionan información sobre especies específicas de interés. Los estudios con radiotelemetría automatizada son relativamente baratos, son adecuados para la escala de proyectos o locales a diferencia de métodos que utilizan GPS, pero requieren la captura y manipulación de ejemplares de especies amenazadas, lo que implica ciertos riesgos (controlables por equipos experimentados) y autorización administrativa que actualmente sería imposible de obtener en el escenario de propagación de influenza aviar altamente patógena. Las principales brechas que se observan para la implementación de estos métodos en Chile, es que las capacidades existentes son escasas y el tiempo disponible para el levantamiento de información es más corto que el requerido.

La identificación de **áreas de concentración de aves** puede entenderse al menos en dos escalas espaciales: regional y de proyecto. A **escala regional**, una **revisión de fuentes bibliográficas** -como la realizada en este estudio- debería ser suficiente para determinar el contexto en el cual se inserta un proyecto y guiar definiciones como la de su área de

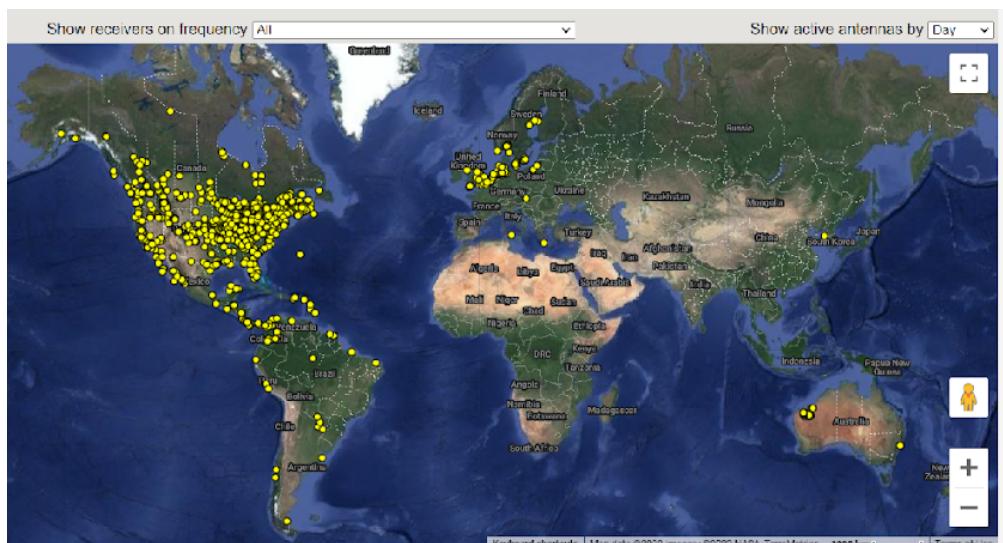
influencia para la evaluación a escala de proyecto. Si se establece que un proyecto se emplaza cerca de una o más áreas de concentración de aves, un proyecto debería caracterizar esta población de aves y evaluar los efectos del proyecto sobre ella (ej. realizar observación directa, estudios con radar y seguimiento de especies de interés con radiotelemetría automatizada en estas áreas, aunque estén a decenas de kilómetros de los márgenes del proyecto). A **escala de proyecto**, las áreas de concentración de aves (ej. las pequeñas lagunas que agrupan algunas decenas de aves acuáticas o flamencos; o las áreas de estepa o matorral donde se agrupan cazamoscas chocolate) deben asumirse desconocidas y deberían levantarse para informar al diseño del proyecto. Para ello se recomiendan **censos mediante observación directa**, que cuenten con buen diseño, adecuada extensión temporal, cobertura espacial y rigurosidad en la toma de datos. Estos estudios son relativamente baratos, pero la información que proveen es limitada y son inadecuados para informar sobre el movimiento de aves.

Considerando lo señalado, más los sitios de concentración de aves y las áreas críticas de migración de éstas, los esfuerzos para el estudio de migración de aves se deben dar particularmente en las comunas de San Gregorio, Laguna Blanca y Río Verde en Magallanes continental, y en el norte de Tierra del Fuego en las comunas de Primavera y Porvenir. Para estas áreas se sugiere instalar **una grilla de Motus**, con un mínimo de **20 estaciones** en el continente y un mínimo de **12 estaciones** en Tierra del Fuego, lo que permitiría abarcar aproximadamente 150 km lineales de este a oeste y 100 km de norte a sur. Esta red de monitoreo de radiotelemetría automatizada podría entregar información adecuada sobre migración y movimientos locales de múltiples especies en un período de **3 a 5 años**. Esta cantidad de años es lo recomendado por permitir caracterizar de forma más precisa los patrones migratorios de las aves, en particular para completar el ciclo biológico de cada especie, obtener el número mínimo de datos para modelar la migración, y descartar años con influencias climáticas marcadas (e.g. ENSO, sequía) (Ruppel et al. 2023, Vickery et al. 2023). En particular, porque la migración suele ocurrir en pocos días, por lo tanto, obtener una buena cantidad de datos para entender este fenómeno suele requerir de más de un año de información, en caso de tener pocos ejemplares marcados (Ruppel et al. 2023). En Estados Unidos, donde cuentan con una alta densidad de Motus, esta herramienta está siendo utilizada para las evaluaciones ambientales, y también para monitorear áreas con aerogeneradores, lo que permite tomar decisiones como apagar aerogeneradores durante las migraciones de aves y murciélagos (Birds Canada 2019).

## *MOTUS : sistema de seguimiento de vida silvestre*

### **Descripción general**

En 2008, Bird Studies Canada inició la Red de seguimiento de vida silvestre Motus. El proyecto Motus ahora incluye más de 1.655 socios de investigación que implementan estaciones de recepción automatizadas (estaciones Motus) en 34 países. Las antenas de la estación Motus están orientadas en direcciones específicas y a la fecha se han instalado 1.553 antenas en diversos países del mundo (Fig. 7, para detalles de su uso local, ver más adelante “experiencia previa en Chile”). Dependiendo de la visibilidad, pueden detectar nanoetiquetas de hasta 15 kilómetros (km) de distancia. Mediante la instalación estratégica de estaciones Motus, los investigadores pueden crear una cuadrícula que rastree animales nano-etiquetados a lo largo del tiempo. Cuando una estación Motus detecta una nanoetiqueta, registra 1) una marca de tiempo, 2) la intensidad de la señal de radio y 3) qué antena detectó la señal. Cuando se combina con la ubicación geográfica y la orientación de la antena, los investigadores pueden determinar rutas y movimientos migratorios aproximados.



**Figura 7.** Distribución geográfica de la red MOTUS en el mundo. Fuente:  
<https://motus.org/data/receiversMap?lang=en>

### **Especificaciones técnicas**

MOTUS ofrece un nuevo enfoque de seguimiento por radio que utiliza nano-etiquetas que pesan una fracción de gramo lo que permite rastrear animales tan pequeños como insectos. Las nano-etiquetas transmiten señales de radio en la misma frecuencia, pero con un micropulso único codificado digitalmente que individualiza cada etiqueta. Estos pulsos

pueden ser detectados por estaciones receptoras automatizadas. Estas estaciones son estructuras elevadas con múltiples antenas que están orientadas en diferentes direcciones y detectan a una frecuencia determinada (Fig. 8). Para aves (y también murciélagos) pequeñas (< 150 g), las tecnologías tradicionalmente utilizadas para monitorear los movimientos individuales utilizando el rastreo por GPS están limitadas debido a la naturaleza de su peso (Carlson et al. 2022). Los transmisores de radio pesan desde tan solo 0,2 gramos hasta 2,6 gramos (Fig. 9), por lo cual son una excelente alternativa para estudiar la migración de especies de pequeño tamaño. La duración de la batería de los transmisores dura desde un mes hasta tres años, dependiendo del tamaño.



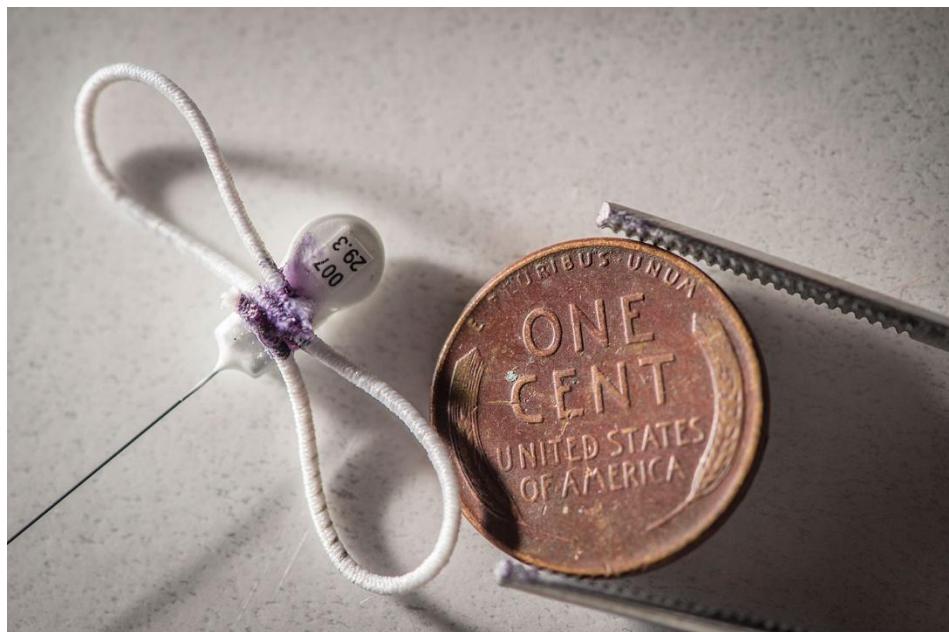
**Figura 8.** Equipo instalando antenas MOTUS en Bahía Lomas. Fotos: Centro Bahía Lomas.

Además, dada el área de acción del sistema de antenas, este método es altamente recomendado para utilizar a escala regional o escala local, por lo tanto, es pertinente para el monitoreo de migración en un contexto de proyectos eólicos.

Antes de instalar una estación Motus, es necesario realizar un análisis del sitio para cada ubicación potencial de la estación. Se debe considerar la capacidad de detección de cada estación, dirección de las antenas (una estación posee un arreglo de varias antenas), calibración de la estación y acceso a energía.

Además, a largo plazo, se debe considerar que la estación “envejece” y el material dieléctrico se acumula en la antena, el patrón de radiación de cada antena desplegada

cambiará del patrón teórico (Carlson et al. 2022). Además, el patrón teórico no tiene en cuenta los factores específicos del sitio, incluidos los puntos ciegos de la antena, los reflejos y otras interferencias que deben cuantificarse numéricamente (Carlson et al. 2022). Sin embargo, estos efectos pueden ser corregidos con el reemplazo de piezas para extender la vida útil de la estación, en este sentido, todas las partes de la estación son reemplazables (ver más adelante Tabla 3). Para más detalles respecto a la metodología de calibración de equipos se sugiere revisar Carlson et al. (2022) y documentos del proyecto MOTUS disponible en <https://docs.motus.org/en/>



**Figura 9.** Nano-etiqueta de radio utilizada en los proyectos MOTUS. Foto: Tim Romano/Instituto Smithsonian de Biología de la Conservación.

### **Especies objetivo**

Los transmisores de radio pesan desde tan solo 0,2 gramos (un clip pequeño pesa 1 gramo) hasta 2,6 gramos, lo suficientemente livianos como para rastrear incluso mariposas monarca y libélulas. Por lo tanto, sirven para casi todas las especies de aves, desde pequeños Chercán común (*Troglodytes aedon*) que pesan entre 10-11 grs, hasta Ganso canadiense (*Branta canadensis*) que pesa entre 2,1-6,5 kg dependiendo de la raza. En la página web del proyecto MOTUS (<https://motus.org/data/species>), se presenta una lista de todas las especies (308) que han sido marcadas con este sistema de monitoreo, además

se detalla el proyecto, número de individuos marcados, proyectos con datos públicos, investigadores e instituciones responsables.

Para la Región de Magallanes, esta tecnología se puede utilizar en un amplio número de especies acuáticas y terrestres. Sin embargo, hay que tener algunas consideraciones para su aplicación, especies En Peligro de extinción son particularmente sensibles a los métodos de captura, como Canquén colorado y Chorlo de Magallanes, ya que un proceso de captura fallido podría afectar los pocos sitios de reproducción disponibles (abandono de nidos, mortalidad de aves) y eventualmente el tamaño poblacional de estas especies. No obstante, si se requiere entender la migración de gansos, se pueden capturar especies afines como Caiquén (*Chloephaga picta*), una situación similar se puede dar para las aves playeras, por ejemplo, el uso de transmisores en Chorlo chileno (*Charadrius modestus*) o Chorlo de doble collar (*Charadrius falklandicus*), nos entregaría información de referencia de los movimientos locales/regionales para toda la familia de chorlos (Charadriidae). Por lo tanto, se pueden concentrar esfuerzos en ciertas especies que podrían ser representativas de una familia o grupo de aves.

### **Costos de la tecnología**

Una estación consta de varias partes: un receptor de radio (computadora) y periféricos como antenas, cables, una estructura de montaje y una fuente de alimentación. Esta es una plataforma abierta, los datos son de uso público y su uso no tiene costo. A continuación, en la Tabla 3 se presenta el costo total de instalación de una estación MOTUS y 10 transmisores Lotek para el marcaje de aves, y la operación de esta estación.

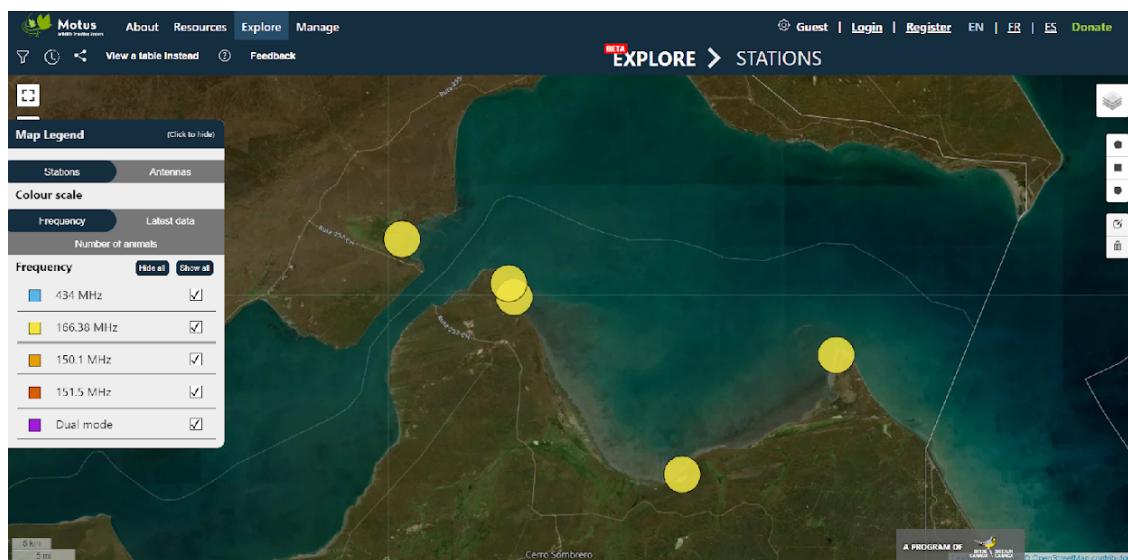
Se debe considerar un equipo de trabajo, para la captura de las aves y la instalación de los transmisores. Este puede estar integrado por el director científico, analista de datos y especialista en mantención de equipos. La mantención de equipos es relativamente sencilla, y la tasa de revisión de estaciones Motus por día, dependiendo de la distancia y accesibilidad a las estaciones, puede ser de 2-4 estaciones por día. El biólogo y ayudante de campo indicado en la Tabla 3, está pensado para desarrollar actividades de captura de aves en un mes de trabajo. La cantidad de datos que generan las estaciones Motus es elevada, por lo que se requiere un analista con experiencia en programación y R, con dedicación de tiempo completo. Los costos de operación están presentados en días y su extensión dependerá de cada proyecto. La vida útil de las estaciones Motus, con mantención, debería ser de 5-8 años.

**Tabla 3. Presupuesto para la instalación de una estación MOTUS. Valores se muestran en pesos chilenos a diciembre 2022.**

| <b>Presupuesto MOTUS</b>                                            |                        |                       |                    |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Costo de Inversión para una estación - Sensorgnome</b>           |                        |                       |                    |                                                                                      |
| <b>Ítem</b>                                                         | <b>Cantidad</b>        | <b>Valor Unitario</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Observaciones</b>                                                                 |
| Torre                                                               | 1                      | \$500.00              | \$500.00           | Se fabrica en Punta Arenas                                                           |
| Antena Yagui VHF 9-elementos                                        | 3                      | \$200.00              | \$600.00           | Se compran en EE.UU                                                                  |
| Panel Solar 180 W                                                   | 1                      | \$180.00              | \$180.00           | Se compra en Punta Arenas                                                            |
| Batería ciclo profundo                                              | 1                      | \$190.00              | \$190.00           | Se compra en Punta Arenas                                                            |
| Cables e insumos de conexión                                        | 3                      | \$20.00               | \$60.00            | Se compran en Punta Arenas                                                           |
| Receptor Sensorgnome                                                | 1                      | \$855.00              | \$855.00           | Se compra en EE.UU                                                                   |
| Trasmisores Lotek                                                   | 10                     | \$5.00                | \$50.00            | Se compran en EE.UU                                                                  |
| <b>Costo de Instalación</b>                                         |                        |                       |                    |                                                                                      |
| Montaje y puesta en marcha                                          | 1                      | \$360.00              | \$360.00           | Considera mano de obra, transporte y combustible                                     |
| <b>Sub-total instalación y puesta en marcha de 1 estación MOTUS</b> |                        |                       |                    |                                                                                      |
|                                                                     |                        |                       | \$2.795.000        |                                                                                      |
| <b>Costo de operación anual de 1 estación Motus</b>                 |                        |                       |                    |                                                                                      |
| <b>Ítem</b>                                                         | <b>Cantidad (días)</b> | <b>Valor Unitario</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Observaciones</b>                                                                 |
| Director científico                                                 | 24                     | \$120.40              | \$2.889.600        |                                                                                      |
| Analista de datos experiencia en R                                  | 24                     | \$86.00               | \$2.064.000        | Análisis de datos espaciales generados por Motus                                     |
| Biólogo de campo (capturas)                                         | 24                     | \$86.00               | \$2.064.000        | Profesional encargado de las capturas de aves para instalación de transmisores Lotek |
| Ayudante de campo                                                   | 24                     | \$50.00               | \$1.200.000        | Técnico para apoyo de capturas de aves en terreno                                    |
| Especialista mantención equipos                                     | 7                      | \$71.38               | \$499.66           | Técnico para descarga de datos desde estaciones y mantención de estaciones Motus     |
| Camioneta                                                           | 24                     | \$70.00               | \$1.680.000        | Un vehículo por 24 días                                                              |
| Combustible                                                         | 24                     | \$15.00               | \$360.00           | Un vehículo por 24 días                                                              |
| Alimentación                                                        | 24                     | \$35.00               | \$840.00           | Dos personas por 24 días                                                             |
| <b>Sub-total operación 1 estación MOTUS</b>                         |                        |                       |                    |                                                                                      |
|                                                                     |                        |                       | \$11.597.260       |                                                                                      |

## **Experiencia previa en Chile**

El Santuario de la Naturaleza Bahía Lomas se encuentra implementada una red de estaciones de radiotelemetría automatizada integrada a la red MOTUS (Fig. 8) por medio de la colaboración con Birds Studies Canada, a la fecha se encuentran 4 estaciones instaladas. Las estaciones son las siguientes: Estación Pepita 1, Estación Pepita 2, Estación El Pantano, Estación Punta Catalina (Fig. 10). Otras dos estaciones se encuentran en Chiloé y la ROC planea la instalación de estaciones en el Río Maipo, todas para monitorear migración de aves playeras.



**Figura 10.** Estaciones MOTUS activas en Bahía Lomas y Buque Quemado, Región de Magallanes. Fuente: <https://motus.org/dashboard/#e=main&d=stations>

## **Recomendaciones**

La instalación de la estación MOTUS requiere de un técnico que active y calibre el sistema de recepción. En Magallanes las estaciones pueden receptionar datos todo el año, pero debe haber descarga periódica de la información en terreno. Se recomienda que sea mensualmente, para que, además, en cada visita se realice mantenimiento de la estación, como limpieza del panel solar y revisión de antenas. Dadas las condiciones de viento intenso, debe considerarse el uso de tensores metálicos que estabilicen y aseguren la antena al terreno.

Para la instalación de los dispositivos se debe contar con un equipo con experiencia en captura y manipulación de las especies objetivo (Fig. 11). La captura de fauna para fines de investigación se encuentra regulada por la Ley de Caza del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Se requiere un permiso de captura para la instalación de los transmisores. Los métodos de captura varían dependiendo del grupo taxonómico, pero para aves y murciélagos se suelen utilizar redes de niebla, para grupos como las aves playeras se pueden usar otras técnicas como redes de cañón o trampas de nido. Existen manuales que presentan estas metodologías y son usados como referencia en la solicitud de permisos de captura, se recomienda revisar el “Manual para anillar paseriformes de Norteamérica” (NABC 2003) y “Guidelines to the use of wild birds in research” (Fair et al. 2010).



**Figura 11.** Zarapito de pico recto (*Limosa haemastica*) capturado en Bahía Lomas, en proceso de instalación de transmisor. Foto: Centro Bahía Lomas.

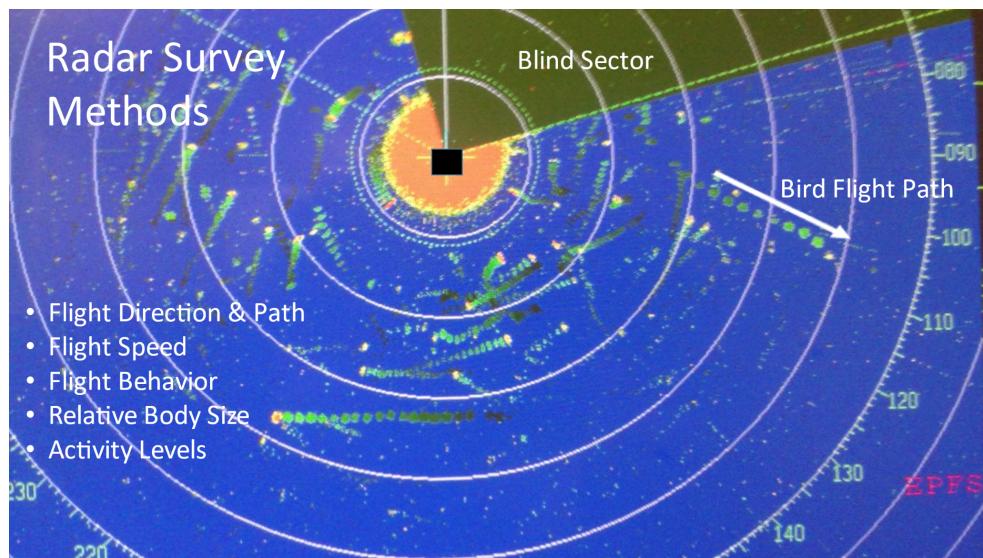
## *Radares para el estudio de aves*

### **Descripción general**

La tecnología Radar está basada en la emisión de pulsos de ondas electromagnéticas que se dispersan hasta chocar con un objeto, generando un eco que se traduce en una imagen. A partir de este principio, los radares pueden entregar información sobre ubicación, cantidad, densidad, dirección, altura, velocidad y temporalidad (ej. horas que concentran los movimientos durante una noche o noches que concentran el movimiento durante una estación) de “blancos” biológicos como aves, insectos y murciélagos (Fig. 12). El potencial de esta tecnología para el estudio de la migración animal es conocido desde la década de 1940 (Buss 1946) y su uso se ha masificado a partir de la década de 1960 (Bruderer 1997).

Dentro de sus principales virtudes destaca la alta precisión de la información generada, la extensa cobertura espacial que posibilita, su independencia de las condiciones de iluminación (lo que permite estudiar aves tanto durante el día como durante la noche) y su versatilidad, pues dependiendo del tipo de radar, estos pueden ser montados en vehículos u operados en estaciones fijas; y operados tanto manualmente como vía remota. Dentro de sus principales desventajas está su elevado costo y el hecho de que, en general, no discriminan los ecos provenientes de aves de los causados por otros objetos (aunque, existen radares capaces de identificar el patrón de batido de alas y asociarlo a especies o grupos) por lo que debe ser utilizada en combinación con otros métodos.

Si bien es una tecnología que puede operar a distintas escalas espaciales (ej. continental, nacional, regional o de proyecto), su uso es adecuado a la escala de proyectos para caracterizar los movimientos de aves e informar el emplazamiento y funcionamiento de parques eólicos, evitando o reduciendo sus efectos negativos sobre las aves.



**Figura 12.** Forma de visualización y tipo de información proporcionada por un radar marino modificado. Fuente: Hamer Environmental

### **Especificaciones técnicas**

Existen diversos tipos de radares, que se pueden clasificar según (i) su frecuencia, (ii) su potencia (que guarda directa relación con su alcance espacial) y (iii) su modo de operación. La frecuencia de funcionamiento del radar se puede subdividir en bandas, siendo las más utilizadas en estudios ornitológicos la banda X (3 cm; 8–12,5 GHz), la banda S (10 cm; 2–4 GHz) y la banda L (23 cm; 1–2GHz). La salida de potencia máxima va comúnmente entre 10 kW y 200 kW, lo que determina el rango espacial operativo para un tamaño de objetivo dado. Finalmente, la clasificación basada en el modo de operación comúnmente los agrupa en (i) radar de vigilancia, (ii) radar doppler y (iii) radar de seguimiento, en un grado creciente de complejidad y costos (Fig. 13).

Los **radares de vigilancia**, que se caracterizan por tener una antena de exploración, permiten que cada eco sea visible durante un período de tiempo determinado, por lo que son útiles para mapear la trayectoria de objetivos en movimiento, siendo utilizados con frecuencia para la detección de barcos (radar marino), aeronaves o precipitaciones. Los radares de vigilancia de baja potencia pueden detectar aves individuales (del tamaño de patos) dentro de un rango de unos pocos kilómetros y bandadas de aves hasta 10 kilómetros, siendo comúnmente adecuados para estudios a escala de proyectos. Estas antenas se pueden montar en un trípode, torre de observación o vehículo. Los radares de

vigilancia de alta potencia pueden detectar aves dentro de un rango de 100–240 km (Gauthreaux & Belser 2003).



**Figura 13.** Laboratorio de radar de Hamer Enviro mental. Nótese su portabilidad y la presencia de dos antenas: una horizontal y una vertical. Foto: Thomas Hamer/Hamer Environmental.

Los **radares doppler** tienen la capacidad para detectar pequeñas diferencias en la posición del objetivo entre pulsos de radiación consecutivos y generar información precisa sobre la velocidad del objetivo. El radar doppler meteorológico de nueva generación (WSR-88D), que se utiliza para el pronóstico del tiempo en los EE. UU., produce imágenes que muestran la reflectividad base (densidad de los objetivos), la velocidad base (velocidad radial) y el perfil vertical del viento (movimiento de pequeñas partículas). El WSR-88D opera en la banda S con una potencia de salida máxima de 750 kW y un haz de escaneo desde un disco parabólico de aproximadamente 9 m de diámetro, detectando aves a distancias de hasta 200 kilómetros (Diehl et al. 2003). Esta tecnología permite medir la densidad de aves en una escala de decena de kilómetros, proporcionando información acerca de la migración a una gran escala espacial; y el uso de una red de radares de este tipo entrega información sobre la migración incluso a escala continental.

Los **radares de seguimiento** son capaces de analizar las firmas de batido de alas (Renevey 1981) y pueden realizar un escaneo automático preprogramado para objetivos, después de lo cual se fijan en este. La señal devuelta se puede utilizar para describir los movimientos tridimensionales del objetivo y proporcionar datos sobre la velocidad respecto

al suelo, el rumbo y las modulaciones de la reflectividad. Un radar de seguimiento coherente puede medir los espectros doppler de aves individuales y, en principio, incluso puede proporcionar información útil sobre el aleteo de una bandada de aves. Se trata de una nueva técnica de medición para el análisis de firmas de aves que, según el conocimiento de los autores, aún no se ha implementado en la práctica (Desholm et al., 2006).

### ***Especies objetivo***

El radar por sí solo no permite identificar la especie a la que corresponde un eco. No obstante, su uso en conjunto con observación directa por parte de un observador calificado (diurna o nocturna, utilizando óptica convencional o imágenes térmicas, respectivamente) permite “calibrar” el radar y asignar especies a los registros. Dependiendo de las características de la(s) especie(s) (ej. similitud con especies simpátricas, vuelo nocturno o altura de vuelo, entre otras) o el área de interés (ej. número de especies presentes), es posible que algunos registros no puedan ser asignados a especies particulares, sino a grupos taxonómicos más amplios (ej. género, familia u orden). Debido a esta limitante, el radar no suele ser útil cuando se requiere información específica de una especie (Petracci 2020), por lo que se recomienda su uso en complemento con otros métodos.

El estudio en terreno debe realizarse durante la época en que se espera que ocurra migración de las especies o grupos de interés, lo que se debe establecer previamente a partir de información secundaria.

### ***Costos de la metodología***

Una de las principales limitaciones para el uso de radares ornitológicos en Chile es su elevado costo, aunque probablemente su adopción no sea demasiado costosa si se compara con levantamientos en terreno que involucren a varios observadores o largos períodos de estudio (Tabla 4).

**Tabla 4. Presupuesto para la ejecución de un estudio con radar marino modificado y 2 antenas (horizontal y vertical) para un área aproximada de 2000 ha, con 4-6 sitios de muestreo. Considera 6 días de muestreo durante 3 semanas, totalizando 18 días de muestreo. Valores se muestran en pesos chilenos a diciembre 2022.**

| <b>Presupuesto Radar</b>                                                                                   |                 |                       |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Planificación y coordinación de proyecto</b>                                                         |                 |                       |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Item</b>                                                                                                | <b>Cantidad</b> | <b>Valor Unitario</b> | <b>Valor Total</b>  | <b>Observaciones</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Director de proyecto                                                                                       | 24              | \$120,400             | \$2.889.600         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Científico senior                                                                                          | 16              | \$86,000              | \$1.376.000         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>2. Ejecución de estudio con radar durante 20 días (2 días para ubicar sitios y 18 días de muestreo)</b> |                 |                       |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Especialista senior en radar                                                                               | 16              | \$86,000              | \$1.376.000         | Preparación de proyecto en EEUU<br>30 días de dedicación correspondientes a: 2 día de vuelos internacionales (ida y vuelta), 4 días de empaque y desempaque de equipos en Chile (ida y vuelta), 4 días de viaje desde Santiago al área de estudio (ida y vuelta), 2 días de ubicación de sitios y 18 días de muestreo. |
| Biólogo de campo                                                                                           | 240             | \$71,380              | \$17.131.200        | Idem fila anterior                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Laboratorio de radar (2 antenas)                                                                           | 18              | \$430,000             | \$7.740.000         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Camioneta                                                                                                  | 56              | \$70,000              | \$3.920.000         | 2 vehículos por 28 días                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Combustible                                                                                                | 56              | \$15,000              | \$840.000           | 2 vehículos por 28 días                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Envío de equipos mediante Courier internacional                                                            | 1               | -                     | \$10.320.000        | Costo estimado (ida y vuelta)                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Alojamiento                                                                                                | 28              | \$65,000              | \$1.820.000         | 2 personas por 28 noches en habitación doble                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Alimentación                                                                                               | 60              | \$35,000              | \$2.100.000         | 2 personas por 30 días                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Vuelos internacionales                                                                                     | 2               | \$1.000.000           | \$2.000.000         | 2 viajes ida-vuelta                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Equipos e insumos menores                                                                                  | 1               | -                     | \$500.000           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>3. Análisis de datos y reporte</b>                                                                      |                 |                       |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Director de proyecto                                                                                       | 16              | \$120,400             | \$1.926.400         | Revisión y validación                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Científico senior                                                                                          | 120             | \$86,000              | \$10.320.000        | Análisis de datos y reporte                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Especialista SIG                                                                                           | 36              | \$86,000              | \$3.096.000         | Análisis de datos y elaboración de mapas                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Biólogo asistente                                                                                          | 12              | \$71,380              | \$856.580           | Traspaso de datos y otros                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Total</b>                                                                                               |                 |                       | <b>\$88,851,780</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### **Experiencia previa en Chile**

Según el entendimiento del equipo consultor, en Chile sólo se ha realizado un estudio de aves utilizando radar (Catoni et al. 2021), por lo que tanto el personal calificado para el

trabajo de campo y la interpretación de la información, como los materiales requeridos son escasos en el país (Fig. 14). Esto constituye, junto a su elevado costo, una de las principales barreras para la implementación de este tipo de estudios.



**Figura 14.** Radar marino modificado GEM SuperNet utilizado para el estudio de gaviota garuma en Chile. Fuente: <https://youtu.be/G37VWG8lh8>

### ***Recomendaciones***

Debido al escaso desarrollo de la tecnología radar en Chile, las brechas técnicas y económicas que existen para su implementación y el interés principal de realizar evaluación a escala de proyectos, el equipo consultor recomienda la utilización de radares de seguimiento (ej. radares marinos modificados). Cuando se utilizan radares de este tipo, lo ideal es utilizar dos antenas simultáneamente: una horizontal y otra vertical. La antena horizontal proporciona información acerca de la cantidad, dirección, trayectoria y velocidad de los blancos, permitiendo identificar patrones espaciales (ej. mapas de riesgo) y temporales. En tanto, la antena vertical informa sobre la altura de vuelo de los blancos, lo que resulta especialmente útil para la construcción de perfiles de altura vuelo y consecuentemente, para la evaluación del riesgo de colisión.

El éxito de un estudio con radar dependerá, en buena medida, de las características técnicas del equipo a utilizar y de una adecuada planificación tanto espacial (ej. elección de sitios) como temporal (ej. elección de fechas y horarios). Debido a que la experiencia con esta tecnología en Chile es extremadamente limitada, se recomienda que los estudios iniciales sean conducidos por personal con experiencia en el extranjero y que en el mediano plazo se capacite a personal local.

## *Censos observación directa: áreas de concentración*

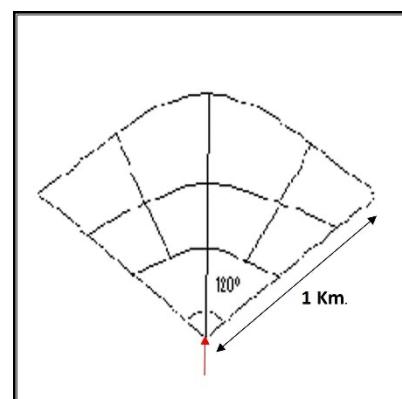
### **Descripción general**

Esta metodología es una de las más utilizadas en los estudios de aves, generando información relevante sobre riqueza y abundancia de especies en diversos tipos de ambientes. No obstante, sus alcances para estudiar migración son bastante limitados, por lo que en este caso sugerimos el uso de esta metodología solo como complemento al uso de radar, y para identificar áreas de concentración de aves. Esta metodología presenta variantes que se pueden usar dependiendo de las características de los hábitat y especies objetivo. En términos generales podemos identificar tres métodos: 1) Puntos de observación (puntos panorámicos), 2) transectos, y 3) censos en puntos fijos. La calidad de la información generada dependerá del esfuerzo de muestreo (i.e. horas de observación en terreno) que se aplique para cada método, la capacidad de detección de los observadores, condiciones climáticas y las especies objetivo.

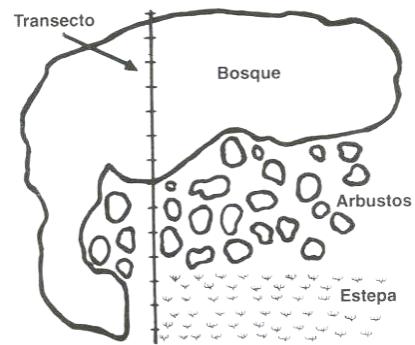
### **Especificaciones técnicas**

Para el desarrollo de esta metodología hay que tener una serie de consideraciones previas: 1. Equipo de trabajo, 2. Clima, 3. Período del año, 4. Hora del día, 5. Información de hábitat, 6. Signos: restos de presas, egagrópilas, fecas y plumas, 7. Diseño del estudio y análisis de la información.

**Puntos de observación:** Los estudios desde puntos panorámicos, conocidos como “Vantage Points” por sus siglas en inglés, consisten en censos en áreas con un espacio aéreo como miradores, torres, etc. en las que se posee una vista panorámica y está dirigido principalmente a aves de tamaño mediano y grande. Radios de observación apropiados, dependiendo de las características del sitio y las especies de interés, se sugiere un campo visual de un ángulo de 120° y 1 km desde el punto de observación, área de censo de 1 km<sup>2</sup> (Ralph et al. 1995; Bibby et al. 2000).



**Transectos:** Los censos por transecto se utilizan para estimar la distancia en hábitats abiertos como pastizales y estepas arbustivas, donde las aves se observan fácilmente (Ralph et al. 1995; Bibby et al. 2000). En esta metodología el observador debe recorrer transectos de una longitud de 500 metros o 1 kilómetro, observando y registrando aves igual que en las estaciones de censo con puntos fijos (Petracci 2020). Las ubicaciones de los transectos deben establecerse previamente al censo y una vez establecidas, se puede obtener el posicionamiento global (GPS) para registrar los puntos de inicio y finalización para su uso en estudios futuros.



**Puntos fijos:** Los censos de puntos fijos (o transectos de puntos) se usan para monitorear aves durante el día, así como para algunas especies activas durante la noche (Ralph et al. 1995; Bibby et al. 2000). Se deben registrar las aves vistas u oídas durante 5 a 10 minutos de modo general y dentro de un área de radio mínimo de 50 m o, sin embargo, en algunos entornos con gran diversidad y abundancia de aves es necesario realizar los censos en un tiempo mayor y más puntos de conteo (Petracci 2020).

### **Especies objetivo**

Estos métodos permiten generar información de base para diversos grupos de aves, ya sea marinas (e.g. Procellariiformes), acuáticas (e.g. Anseriformes) o terrestres (e.g. Passeriformes), diurnas o nocturnas (e.g. Strigiformes, Caprimulgiformes). Considerando la legislación ambiental vigente, este método es útil para detectar sitios de concentración de aves amenazadas como Canquén colorado, Chorlo de Magallanes, Zarapito de pico recto. La búsqueda de estas especies será más efectiva durante la migración primaveral (agosto-octubre) y otoñal (marzo-mayo). Durante la reproducción (Canquén y Chorlo), es más eficiente la búsqueda activa en terreno, a través de transectos.

### ***Costos de la metodología***

En la Tabla 5 se muestran los costos aproximados de la metodología considerando un observado u ornitólogo experimentado en terreno y su equipamiento especializado. El esfuerzo de muestreo por sitio debe ser determinado por métodos estadísticos como curvas de acumulación de especies (ver Mora et al. 2011), acá se presenta un valor estimado para un mes (24 días) de levantamiento de información en terreno.

**Tabla 5. Presupuesto para el equipamiento de censos de aves. Valores se muestran en pesos chilenos a diciembre 2022.**

| <b>Presupuesto CENSO</b>                                 |                 |                       |                    |                                              |
|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------------------------------------|
| <b>Costo de inversión y operación para un observador</b> |                 |                       |                    |                                              |
| <b>Item</b>                                              | <b>Cantidad</b> | <b>Valor Unitario</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Observaciones</b>                         |
| Biólogo de campo, ornitólogo                             | 24              | \$86.000              | \$2.064.000        | Un experto en aves monitoreo durante 24 días |
| Binocular (10x42)                                        | 1               | \$990.000             | \$990.000          | Se compran en el extranjero                  |
| Telescopio terrestre                                     | 1               | \$750.000             | \$750.000          | Se compran en el extranjero                  |
| Tripode                                                  | 1               | \$200.000             | \$200.000          | Se compra en Punta Arenas                    |
| GPS                                                      | 1               | \$190.000             | \$190.000          | Se compra en Punta Arenas                    |
| Cámara fotográfica (cámara+lente)                        | 1               | \$1.500.000           | \$1.500.000        | Se compran en Punta Arenas                   |
| Distanciómetro                                           | 1               | \$450.000             | \$450.000          | Se compran en el extranjero                  |
| Guía de campo                                            | 1               | \$35.000              | \$35.000           | Se compran en Punta Arenas                   |
| Libretas de campo                                        | 1               | \$25.000              | \$25.000           | Se compran en Punta Arenas                   |
| <b>Total equipamiento</b>                                |                 |                       | <b>\$6.204.000</b> |                                              |

### ***Experiencia previa en Chile***

El plan nacional de monitoreo de aves de Chile identificó 55 programas de monitoreo a nivel nacional, de estos, 42 programas (76%) utiliza algún tipo de censo para la generación de información (Tejeda et al 2022). De los 55 programas casi la totalidad (93%) tienen como objetivo recolectar datos útiles para estimar la abundancia relativa o absoluta de poblaciones de la especie focal o grupo de especies, y un 41% monitorea parámetros reproductivos como éxito o productividad (Tejeda et al 2022). Por lo tanto, es el método más utilizado a nivel nacional, sin embargo, en ningún caso se utiliza como fuente primaria para la generación de información sobre migración (Fig. 15).



**Figura 15.** Monitoreo de aves playeras y sus amenazas, programa “Migratory Shorebird Project” de la ROC. Foto: ROC.

### **Recomendaciones**

De forma previa a identificar los sitios de importancia se debe definir un umbral de abundancia para cada especie, que gatille su reconocimiento. Usualmente esto corresponde a un porcentaje de su estimación poblacional (por ejemplo, el 1% de población global usualmente utilizado para designación de Key Biodiversity Areas). Dada la ausencia de estimaciones de población nacional para la mayor parte de las especies, se sugiere basarse en estimaciones globales, pero dejando abierta la posibilidad de definir umbrales más específicos en casos con los que se cuente con información suficiente (por ejemplo, 5% de la población nacional, o 1% de la población de una subespecie) (Tejeda et al. 2022). Existen muchos sitios en Magallanes con información de aves disponible en eBird (<https://ebird.org/chile/explore>), se puede acceder a esa información en la herramienta “explorador de sitios de interés” o para una especie en particular a través de “mapas de distribución”.

## 4. Conclusiones

- Se requiere generar información sobre migración de las aves de Magallanes. Si bien existen algunas experiencias previas, éstas no están orientadas a la generación de información para proyectos de inversión como los eólicos o de hidrógeno verde. Para esto se requieren múltiples fuentes de información que permitan evaluar los patrones de movimiento y áreas de concentración de las aves. Dadas las condiciones particulares de Magallanes, donde muchas especies de aves son migratorias, y existen especies amenazadas (con riesgo de extinción), se requiere elevar los estándares “habituales” de evaluación ambiental, para efectivamente evaluar los potenciales impactos de los proyectos eólicos. A su vez, esto requiere un trabajo intersectorial que permita oportunamente identificar áreas sensibles a la instalación de aerogeneradores o medidas de manejo oportunas para reducir los impactos. Actualmente, desde CORFO, se están generando mapas de sensibilidad para aves y murciélagos, los que serán una herramienta para la toma de decisión en el desarrollo temprano de los proyectos. Esta herramienta, junto con mejores medidas de evaluación de los impactos ambientales sobre aves (y otros), permitirán apuntar a un desarrollo sustentable de la nueva industria del hidrógeno verde.
- Se registraron **12 métodos** que evalúan migración, tipos de vuelo y áreas de concentración de aves. De éstos, a) estudios con radar, b) telemetría y radiotelemetría, c) anillamiento y redes de niebla, permiten evaluar explícitamente la migración y rutas de vuelo.
- Se identificaron **20 áreas de concentración de aves** en la Región de Magallanes. De éstas, nueve tienen la categoría de Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) otorgada por BirdLife International, seis unidades del SNASPE, tres sitios prioritarios, tres sitios relevantes para el canquén colorado según el plan RECOGE de la especie, un santuario de la naturaleza y un sitio RAMSAR. Existen áreas con más de una categoría asignada.
- La evaluación de rutas de vuelo debe realizarse a dos escalas: (i) **regional** y (ii) **de proyecto**. Para entender los movimientos de las aves a nivel regional se recomienda realizar (i) **estudios con radar** y (ii) seguimiento de especies de interés con **telemetría automatizada** (e.g. Motus).

- El estudio de migración a escala regional y local requiere el uso de tecnología que evalúe explícitamente la migración de aves, y considere las **fechas críticas de migración**, primavera: agosto-octubre y otoño: marzo-junio. Los esfuerzos para el estudio de migración de aves se deben dar particularmente en las comunas de San Gregorio, Laguna Blanca y Río Verde en Magallanes continental, y en el norte de Tierra del Fuego en las comunas de Primavera y Porvenir. Para estas áreas se sugiere instalar **una grilla de Motus**, con un mínimo de **20** estaciones en el continente y un mínimo de **12** estaciones en Tierra del Fuego, lo que permitiría abarcar aproximadamente 150 km lineales de este a oeste y 100 km de norte a sur. Esta red de monitoreo de radiotelemetría automatizada podría entregar información adecuada sobre migración y movimientos locales de múltiples especies en un período de **3 a 5 años**. Esta cantidad de años es lo recomendado por permitir caracterizar de forma más precisa los patrones migratorios de las aves, en particular para completar el ciclo biológico de cada especie, obtener el número mínimo de datos para modelar la migración, y descartar años con influencias climáticas marcadas (e.g. ENSO, sequía).
- La identificación de **áreas de concentración de aves** puede entenderse al menos en dos escalas espaciales: regional y de proyecto. A **escala regional**, una **revisión de fuentes bibliográficas** debería ser suficiente para determinar el contexto en el cual se inserta un proyecto y guiar definiciones como la de su área de influencia para la evaluación a escala de proyecto. A **escala de proyecto**, las áreas de concentración de aves (ej. las pequeñas lagunas que agrupan algunas decenas de aves acuáticas o flamencos; o las áreas de estepa o matorral donde se agrupan cazamoscas chocolate) deben asumirse desconocidas y deberían levantarse para informar al diseño del proyecto. Para ello se recomiendan **censos mediante observación directa**, que cuenten con buen diseño, adecuada extensión temporal, cobertura espacial y rigurosidad en la toma de datos.

## 5. Referencias

- Bibby CJ, Burgess ND, Hill DA & Mustoe SH (2000): Bird census techniques. 2nd edition. London: Academic Press.
- Birds Canada. 2019. Motus Wildlife Tracking System. Port Rowan, Ontario. Available: <http://www motus org>. Accessed: 20-12-2022.
- Blanco, D. & P. Canevari. (1995). Censo Neotropical de Aves Acuáticas 1994. Humedales para las Américas. Buenos Aires.
- Brown, A., Rebecca A. McCabe, Jean-François Therrien, Karen L. Wiebe, Scott Weidensaul, David Brinker, Gilles Gauthier, Kyle H. Elliott. (2021). Nomadic breeders Snowy Owls (*Bubo scandiacus*) do not use stopovers to sample the summer environment. *Ibis* <https://doi.org/10.1111/ibi.12950>
- Carlson. E., D. Gobeille, R. Deluca. (2022). Numerical Approximation Methods for Antenna Radiation Patterns for Motus Wildlife Tracking Systems. *arXiv:2207.02656v1*
- Catoni, C., R. Aguilar-Pulido, C. Zavalaga & G. Dell'Omø (2021). Radar reveals the nocturnal flights of breeding Grey Gulls *Leucophaeus modestus* in the Atacama Desert, Chile. *Bird Study*, 68:3, 351-358.
- Dingle, H., and Drake, V. A. (2007). What is migration? *Bioscience* 57, 113–121. doi: 10.1641/B570206
- eBird. 2022. eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]. eBird, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Available: <http://www.ebird.org>. (Accessed: Date [e.g., December 12, 2022]).
- Fair J, Paul E & Jones J. (2010): Guidelines to the use of wild birds in research. Washington, D.C.: Ornithological Council.
- Global Wind Energy Council (2021) Global wind report 2021: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
- Hellmayr, C.E. (1932). The birds of chile. Zool. Series, Pub. 308, Volume XIX, Field Mus. Nat. Hist., Chicago, Illinois.
- Hevia GD. (2013). Éxito reproductivo del Chorlo de Doble Collar (*Charadrius falklandicus*) y recomendaciones para el manejo de su población en dos áreas protegidas próximas a Puerto Madryn, (Chubut, Argentina). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Housse, R. (1945). Las aves de chile en su clasificación moderna su vida y costumbres. Ediciones dela Universidad de Chile, Santiago.
- Kusch, A., & Marín, M. (2004). Distribución del Chorlo Chileno, *Charadrius Modestus*, (Lichtenstein) (Charadriidae) en Chile. *Anales Del Instituto De La Patagonia*, 32, 69–78.
- Lombal, A. J., Salis, A. T., Mitchell, K. J., Tennyson, A. J. D., Shepherd, L. D., Worthy, T. H., Burridge, C. P. (2020). Using ancient DNA to quantify losses of genetic and species diversity in seabirds: A case study of *Pterodroma* petrels from a Pacific Island. *Biodiversity and Conservation*, 29, 2361–2375.
- Lovette, I.J. & Fitzpatrick, J.W. (2016). Handbook of Bird Biology. Hoboken: John Wiley & Sons.

- Medrano, F., R. Barros, H.V. Norambuena, R. Matus & F. Schmitt. (2018). Atlas de las aves nidificantes de Chile. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile. Santiago, Chile. 670 pp.
- Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AGB, Worm B (2011) How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? PLoS Biol 9(8): e1001127.
- NABC. (2003). Manual para anillar Paseriformes y Cuasipaseriformes del anillador de Norte America (excluyendo Colibries y Buhos).
- Newton, I. (2006). Advances in the study of irruptive migration. Ardea 94: 433–460.
- Ortíz-Soazo, P.O., Rodriguez Jorquera, I., Arrey Garrido , P & Jaramillo, A. (2009) Chile. Pág. 125 –134 en C. Devenish, D. F. Díaz Fernández, R. P. Clay, I. Davidson & I. Yépez Zabala Eds. Important Bird Areas Americas - Priority sites for biodiversity conservation. Quito, Ecuador: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No. 16).
- Pegan, TM & Winger, BM. (2020). The evolution of seasonal migration and the slow-fast continuum of life history in birds. Ecography <https://doi.org/10.1111/ecog.05070>
- Phillipi-B, R.A. (1964). Catálogo de las aves de Chile con su distribución geográfica. Investigaciones Zoológicas Chilenas 11: 1-179.
- Resende, S. L. & F. Leeuwenberg, (1989). A first breeding Record of the Two-banded Plover *Charadrius falklandicus* in Brazil. Wader Study Group Bulletin 56: 38-39.
- Robillard, A., Gauthier, G., Therrien, J.F. & Bety, J. (2018). Wintering space use and site fidelity in a nomadic species, the Snowy Owl. J. Avian Biol. 49: jav-01707.
- Rüppel, G., Hüppop, O., Lagerveld, S., Schmaljohann, H., & Brust, V. (2023). Departure, routing and landing decisions of long-distance migratory songbirds in relation to weather. Royal Society Open Science, 10(2), 221420.
- Scherer AL, Scherer JFM, Petry M V (2013) North wintering distribution, habitat use and reproduction of the two-banded Plover (*Charadrius falklandicus*) in Brazil. Oecologia Aust 17:522–526
- St-Clair JJ. (2010). Plovers, invertebrates and invasive predators: aspects of the ecology of some island populations. PhD thesis, University of Bath. Bath, United Kingdom.
- Steiner, U.K. & Gaston, A.J. (2005). Reproductive consequences of natal dispersal in a highly philopatric seabird. Behav. Ecol. 16: 634–639.
- Tejeda, I., E. Sandvig, F. Medrano, C. Muñoz & H.V. Norambuena Propuesta de “Plan general de monitoreo de aves de Chile”. Elaborado por Corporación Red de Observadores de Aves de Chile para licitación del Ministerio de Medio Ambiente: “Diseño de plan general de monitoreo de aves de Chile en el contexto de la Estrategia Nacional de Conservación de Aves” (ID 608897-27-LE22)
- Therrien, J.F., Gauthier, G., Pinaud, D. & Bety, J. (2014). Irruptive movements and breeding dispersal of Snowy Owls: a specialized predator exploiting a pulsed resource. J. Avian Biol. 45: 536–544.
- Venegas, C. & J. Jory, (1979). Guía de Campo para las Aves de Magallanes. Publicaciones del Instituto de la Patagonia. Serie Mono grafías N° 11: 253 pp. Punta Arenas (Chile).
- Vickery, J. A., Mallord, J. W., Adams, W. M., Beresford, A. E., Both, C., Cresswell, W., & Hewson, C. M. (2023). The conservation of Afro-Palaearctic migrants: What we are learning and what we need to know? Ibis.

- Winger, B. M., F. K. Barker, and R. H. Ree. (2014). Temperate origins of long-distance seasonal migration in New World songbirds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111:12115–12120.
- Winger, B. M., G. G. Auteri, T. M. Pegan, and B. C. Weeks. (2019). A long winter for the Red Queen: rethinking the evolution of seasonal migration. *Biological Reviews* 94:737–752.
- Woods RW. (1988). Guide to Birds of the Falkland Islands. Anthony Nelson. Oswestry, Reino Unido.
- Woods RW & Woods A. (1997). Atlas of Breeding Birds of the Falkland Islands. Antony Nelson. Oswestry, Reino Unido.

## 6. ANEXOS

- ANEXO 1. Base de datos de literatura en formato Excel.
- ANEXO 2. Revisión bibliográfica para el estudio de rutas migratorias o de vuelo de aves de Magallanes.
- ANEXO 3. Resúmenes presentados por expertos internacionales en “Simposio aves y eólicas XIII Congreso Chileno de Ornitología.
- ANEXO 4. Minutas entrevistas.
- ANEXO 5. Visita a terreno a la Región de Magallanes del equipo del Ministerio de Energía.