

DESARROLLO DE PROTOCOLO DE EVALUACIÓN VISUAL PARA LA
CONDICIÓN FÍSICA DE LA BALLENA FRANCA AUSTRAL,
Eubalaena australis, Y APLICACIÓN EN EL GOLFO SAN MATÍAS

Autora: **Carla Marino**

Directora: **Magdalena Arias**

Codirectora: **Els Vermeulen**

2026



DESARROLLO DE PROTOCOLO DE EVALUACIÓN VISUAL PARA LA
CONDICIÓN FÍSICA DE LA BALLENA FRANCA AUSTRAL,
Eubalaena australis, Y APLICACIÓN EN EL GOLFO SAN MATÍAS

Autora: **Carla Marino**

Directora: **Magdalena Arias**



Codirectora: **Els Vermeulen**

Licenciatura en Biología Marina

Facultad de Ciencias Marinas

Universidad Nacional del Comahue

2026



“Viajaron al sur.

Ella, la mar, estaba más allá de los altos médanos, esperando.

Cuando el niño y su padre alcanzaron por fin aquellas dunas de arena,

después de mucho caminar, la mar estalló ante sus ojos.

Y fue tanta la inmensidad de la mar, y tanto su fulgor,

que el niño quedó mudo de hermosura.

Y cuando por fin consiguió hablar, temblando, tartamudeando, pidió a su padre:

—¡Ayúdame a mirar!”

— Eduardo Galeano, “El mar”, El libro de los abrazos (1989)

A mamá y papá,

por enseñarme a mirar.

AGRADECIMIENTOS

Es difícil expresar en estas páginas lo inmensamente afortunada que me siento por todo lo aprendido y compartido en estos 10 años de carrera universitaria. A mis 19 años emprendí este viaje, confiando en que me abriría camino hasta encontrar lo que desde mis 12 años desee: estudiar a las ballenas francas. De yapa, encontré algo aún más valioso: mi hogar, una manada, amores, amistades que se sienten familia y un deporte que me apasiona.

Agradezco en principio a mi directora y amiga Malala, por abrirme las puertas a vivir lo que siempre soñé, por nunca dejar de confiar en mi potencial y proporcionar las palabras exactas en los momentos claves. A Els, mi codirectora, por confiar en nosotras a la distancia, por encauzarnos cuando volamos más allá de los límites de esta tesina, y por cada una de las experiencias compartidas a lo largo de estos años, mucho más grandes de las que me animé a imaginar.

A cada una de las personas que acompañaron estos largos 10 años, por la compañía y los aprendizajes. En especial, a quienes son familia, compartiendo tanto en lo cotidiano como en la distancia:

A Julián, Susana y Edgardo, por acompañar sin cuestionar este sueño y cada una de mis decisiones, extremadamente premeditadas o apresuradas. Este logro es tanto de ustedes como mío. A Mabel, Ademar y Leonor, tíos, tías, primos y primas, por ser mi red de confianza y estar siempre presentes en cada paso, celebrando mis logros a través de un mensaje o una visita.

A mi manada, Roy, Colita, Diego, Mora, Cochi, Uyara, China y Kiki, compañeros de vida, quienes me recuerdan que lo lindo de la vida está en la simpleza del solcito en la cara, las patitas

en el agua, un mimo o un beso. A Corbata y Olivia, mis perrijos grutenses. A Amarelha, Antifaz y Dominga, mimo al cielo.

A Eli, Pris, Luss, Angie, Lunita y Mancu. Atesoro en mi corazón cada aventura, cada atardecer, almuerzo, cena, baile, sesiones eternas de estudio. Cada uno de los momentos de reír hasta llorar y de llorar hasta reír. Fue gracias a ustedes que me animé a echar raíces en San Antonio, y en casa siempre tienen un hogar sin importar dónde estén.

A Dani y Lelu, mis hermanas sagitarianas de otras madres. La vida nos encontró por separado y nos supo unir, dándome otro hermano, Juan. Son parte de cada paso y agradezco eternamente contar con su incondicionalidad cuando todo está bien y cuando no tanto. Les amo profundamente. Dani, gracias eternas por ser mi guía y brindarme muchas mas manos de las que tenes, por estar al pie del cañón en cada crisis. No podría estar acá sin tu ayuda.

A Mili y Vanne, mis amichas hermanas, por cada ataque de risa, ronda de chismes, noches de eternas catarsis y, sobre todo, por su compañía incondicional. La vida es más bonita cuando estamos juntas, las amo con todo mi corazón para siempre.

A mis amigos de casa. Shir, Caro, Joa, Flor, Ro, Bru, Franco, Gian, por volver a vernos y hacerme sentir que el tiempo nunca pasó, y nuestra amistad sigue intacta. Gracias por la incondicionalidad.

A Marti por formar una familia en el deporte y a mis compañeros de pole, Papi, las Danis, Wan, Giuli, Agus, Abru, Juli, Moni, Cande, Mamu, Noe, Mel, Mica, Jere, Sofi, Solci, Mari, Na, Seba, Cami, Tami, Katy y Iari. En los días en los que la vida se siente pesada, son ustedes quienes me ayudan a alivianarla con la risa, el apoyo, la motivación y los aplausos ensordecedores.

A mis canayas favoritos, Marito, Mari, Sari, Ema y Tomi. Empezar una vida nueva y saber que a unas cuadras de casa estaban ustedes, con la calidez familiar que los caracteriza, se siente hasta el día de hoy como un mimo al alma. Gracias eternas por siempre tener un lugar para mí, les amo.

A mi gran amigo Agus, dronero y capitán; que lindo encontrarnos a través de nuestras pasiones y que esta amistad se siga fortaleciendo en eso. A Cande, Franquito, Pompi, Seba y Nico por las horas de mar y vuelo compartidas, y por proporcionarnos las imágenes que son la base de esta tesina. A Milton, por su amistad, el cariño y las risas. A mis compas de trabajo y mar, con quienes me une el amor por la naturaleza y la ciencia, Jessi, Wil, Sofi y Cata.

A la Fundación Azara, por su compromiso y confianza en mi trabajo, que han sido clave en mi desarrollo como profesional. A Atlántico Avistajes y Cota Cero, por su aporte a la ciencia y, sobre todo, por permitirme cumplir uno de mis más grandes sueños: pasar horas en el agua observando y admirando la majestuosidad de los bichos que motivaron esta tesis.

A la Universidad Pública, especialmente a mi amada FaCiMar y todo el equipo directivo, docente y no docente, donde no solo me formé como profesional sino también aportó a la persona que soy hoy.

A Paula y Mariano, por aceptar formar el jurado de esta tesina y mejorar la versión original con sus valiosos aportes.

Y por supuesto, a las *ballenas francas australes* por ser motor en el pasado e inspiración en el presente.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1.INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.Objetivos, hipótesis y predicciones.....	9
2.MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1.Área de estudio y base de datos.....	10
2.1.1.Conjunto de datos de fotoidentificación.....	12
2.2.Desarrollo metodológico y aplicación.....	14
2.2.1.Desarrollo del protocolo de evaluación visual.....	14
2.2.1.1.Revisión del material fotográfico y caracterización de anomalías.....	15
2.2.1.2.Descripción del protocolo.....	16
2.2.2.Aplicación del protocolo.....	36
2.3.Análisis de datos.....	37
2.3.1.Variación temporal de los índices de condición física.....	37
2.3.2.Análisis de asociación entre índices de condición física.....	37
2.3.3.Modelado de los índices de condición física.....	38
2.3.3.1.Evaluación de la condición corporal.....	39
2.3.3.2.Evaluación de la condición de la piel.....	39
2.3.3.3.Evaluación de la severidad de las heridas.....	40
2.4.Análisis de robustez del protocolo.....	42
2.4.1.Análisis de sensibilidad al número de secciones visibles.....	42
2.4.2.Evaluación de la sensibilidad del sistema de clasificación de condición corporal.....	42
3.RESULTADOS.....	43

3.1.Análisis de datos.....	43
3.1.1.Variación temporal de los índices de condición corporal.....	46
3.1.2.Asociación entre índices de condición física.....	48
3.1.3.Evaluación de la condición corporal.....	49
3.1.4.Evaluación de la condición de la piel.....	53
3.1.5.Evaluación de la severidad de las heridas.....	59
3.2.Análisis de robustez del protocolo.....	66
3.2.1.Análisis de sensibilidad al número de secciones visibles.....	66
3.2.2.Evaluación de la sensibilidad del sistema de clasificación de condición corporal.....	69
4.DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFIA.....	80
ANEXO A: Tipos de lesiones de la piel.....	91
ANEXO B: Tipos de heridas.....	98
ANEXO C: Planillas de análisis estandarizadas.....	111

RESUMEN

Las evaluaciones de la condición física son esenciales para comprender la dinámica poblacional y los impactos ambientales y antrópicos sobre la ballena franca austral *Eubalaena australis*. Se desarrolló y aplicó un protocolo estandarizado de evaluación visual basado en imágenes aéreas obtenidas con drones del catálogo de fotoidentificación del Golfo San Matías (Río Negro, Argentina). El protocolo integra tres índices complementarios evaluados en ocho secciones corporales: Índice de Condición Corporal, Índice de Condición de la Piel e Índice de Severidad de Heridas, definidos a partir de una revisión sistemática de ~120 publicaciones científicas y de la revisión comparativa de protocolos previos en conjunto con especialistas en la especie. De un total de 442 ballenas fotoidentificadas entre 2019 y 2024, el protocolo pudo aplicarse al 69% de los individuos ($n = 302$), para los cuales se dispuso de sets de imágenes adecuados para la evaluación. La condición física del stock del Golfo San Matías fue predominantemente buena y no mostró variaciones interanuales significativas en ninguno de los índices evaluados, reflejando un estado general estable. A nivel individual, sin embargo, los juveniles presentaron mayor probabilidad de buena condición corporal que los adultos, aunque exhibieron peor condición de piel, mientras que las hembras con cría tendieron a mostrar peor condición corporal y mayor severidad de heridas que los individuos sin cría. Los análisis de robustez mostraron que la estabilidad de los índices aumenta conforme se incrementa el número de secciones visibles, respaldando el sistema de clases de confianza propuesto. En conjunto, este protocolo constituye una herramienta operativamente viable, de bajo costo y compatible con datos históricos, que permite monitorear de manera integrada la condición corporal, la integridad de la piel y la incidencia de heridas en la ballena franca austral del Atlántico sudoccidental.

Palabras clave: ballena franca austral, condición física, evaluación visual, índices integrados.

ABSTRACT

Physical condition assessments are essential for understanding population dynamics and evaluating environmental and anthropogenic impacts on the southern right whale *Eubalaena australis*. In this study, we developed and applied a standardized visual assessment protocol based on aerial images obtained with drones from the photo-identification catalog of the Golfo San Matías (Río Negro, Argentina). The protocol integrates three complementary indices, each evaluated across eight anatomically defined body sections: a Body Condition Index, a Skin Condition Index, and a Wound Severity Index. These indices were defined through a systematic review of ~120 scientific publications and a comparative evaluation of existing protocols conducted in collaboration with species experts. The protocol was applied to 302 image sets collected between 2019 and 2024, representing 69% of the photo-identified whales in this period. Overall, the Golfo San Matías stock exhibited predominantly good physical condition, with no significant interannual variation in any of the indices, indicating a generally stable state. At the individual level, however, juveniles showed a higher probability of good body condition than adults did, although they exhibited poorer skin condition, whereas lactating females tended to display poorer body condition and greater wound severity than solitary individuals. Robustness analyses demonstrated that the stability of the indices increased with the number of visible body sections, supporting the proposed confidence-class system. Altogether, this protocol provides an operationally feasible, low-cost, and historically compatible tool for integrated monitoring of body condition, skin integrity, and wound incidence in southern right whales of the southwestern Atlantic.

Key words: southern right whale, physical condition, visual assessment, integrated indices.

1. INTRODUCCIÓN

Las ballenas francas australes (*Eubalaena australis*, Desmounlis, 1822; BFA) fueron intensamente cazadas durante los siglos XIX y XX (IWC 2001, Jackson et al. 2008, 2016). La población del Atlántico sudoccidental (ASO) alcanzó sus niveles más bajos hacia la década de 1830, cuando se estimó un remanente de 2,000 individuos. Durante el siglo XIX la abundancia se mantuvo reducida y, a comienzos del siglo XX, representaba alrededor del 5% de la población pre-explotación (Romero et al. 2022). A pesar de observarse un ligero aumento en la abundancia hacia 1920 y de haber sido protegida internacionalmente en 1935, la caza ilegal soviética de mediados del siglo XX provocó un segundo descenso poblacional (Tormosov et al. 1998, IWC 2001). Desde el cese definitivo de la caza en 1973, la población ha mostrado una recuperación sostenida, con tasas de crecimiento cercanas al máximo potencial de la especie (Romero et al. 2022). De manera similar, otros stocks de BFA en las costas de Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica también han evidenciado signos de recuperación en las últimas décadas (e.g., Carroll et al. 2011, 2014, Bannister 2018, Stamation et al. 2020, Carroll et al. 2022, Brandão et al. 2023).

La población de BFA del ASO constituye uno de los stocks mejor estudiados de la especie y uno de los principales núcleos reproductivos del hemisferio sur (Payne 1986, Best et al. 2001, Cooke et al. 2001, Rowntree et al. 2001). En esta región, las ballenas utilizan áreas costeras someras como zonas de reproducción y cría, lo que ha permitido el desarrollo de estudios de largo plazo basados en fotoidentificación individual a partir de patrones únicos de callosidades presentes en la cabeza, colonizados por ciámidos de coloración clara (*Cyamus ovalis* y *C. glacialis*), que permanecen estables a lo largo de la vida de los individuos (Payne et al. 1983), aportando información clave sobre historia de vida, fidelidad al sitio, tasas reproductivas, supervivencia y dinámica poblacional (Cooke et al. 2001, Valenzuela et al. 2009, Romero et al.

2022, Vilches et al. 2023). En particular, el Golfo San Matías (GSM) se ha consolidado como un área de importancia creciente para la reproducción de la especie, con un aumento sostenido en la presencia de individuos y un esfuerzo de monitoreo sistemático en las últimas décadas (Vermeulen 2013, Arias et al. 2017, 2018a, 2018b, Arias 2019). La disponibilidad de catálogos de fotoidentificación, contruidos a partir de registros obtenidos desde embarcaciones y, más recientemente, mediante plataformas aéreas no tripuladas, ha generado una base de datos robusta que permite evaluar variaciones intra- e interanuales en características individuales y poblacionales (Arias et al. 2022).

En respuesta a anomalías en la abundancia y al aumento de los intervalos inter-parto (Maron et al. 2015, Crespo et al. 2018, Vermeulen et al. 2018, 2019), en 2018 se estableció el Tema 6 del Southern Ocean Research Partnership de la Comisión Ballenera Internacional (IWC-SORP), con el objetivo de investigar cómo la variabilidad ambiental en las áreas de alimentación, asociada a los cambios climáticos pasados y futuros, influye en la recuperación poblacional de la especie (IWC 2018). Posteriormente, durante el taller de la World Marine Mammal Conference, se priorizaron las evaluaciones visuales de salud como herramienta para explorar la relación entre la condición corporal, la reproducción y las condiciones ambientales (Carroll et al. 2020).

El tejido adiposo subcutáneo y el muscular —que aumentan con el estado nutricional— mejoran la capacidad reproductiva tanto en hembras como en machos, y pueden evaluarse observando la forma corporal general. En ballenas barbadas, que presentan una estrategia reproductiva de tipo capital breeder, y que migran estacionalmente entre áreas de alimentación de altas latitudes y áreas reproductivas de bajas latitudes, las reservas energéticas acumuladas en forma de grasa subcutánea son movilizadas durante la temporada reproductiva debido al ayuno y a los elevados costos de la reproducción, la gestación y la lactancia, lo que se traduce en una disminución

progresiva de la condición corporal a medida que avanza la temporada, particularmente en hembras con cría (Bradford et al 2012, Christiansen et al 2016, 2019, Vermeulen et al. 2023, Christiansen et al. 2025). Además, rasgos visibles como la condición de la piel, la distribución de ectoparásitos, heridas y cicatrices brindan información adicional sobre el estado de salud mediante observación fotográfica remota (Hunt et al. 2013). Particularmente en la población de BFA del ASO, las heridas adquieren una relevancia especial debido a la ocurrencia de interacciones con gaviota cocinera (*Larus dominicanus*), un impacto característico de las áreas reproductivas de Argentina (Rowntree et al. 1998). Este fenómeno consiste en la remoción activa de tejido cutáneo y subcutáneo por parte de las aves, generando heridas abiertas que pueden persistir durante períodos prolongados (Rowntree et al. 1998; Thomas et al. 2013). Diversos estudios han señalado que estas heridas representan una fuente adicional de estrés y un potencial costo energético para los individuos afectados, ya sea por el daño tisular directo, la respuesta inmunológica asociada o las alteraciones comportamentales observadas durante dicha interacción (Sironi et al. 2009, Thomas et al. 2013, Maron et al. 2015, Fernandez Ajó et al. 2020). Las heridas infligidas por gaviotas se concentran predominantemente en las regiones dorsales del cuerpo, son fácilmente identificables mediante registros fotográficos y pueden variar ampliamente en extensión y severidad entre individuos y temporadas (Rowntree et al. 1998; Thomas et al. 2013).

Las evaluaciones visuales de características físicas externas, tradicionalmente utilizadas, han sido complementadas en años recientes por técnicas semicuantitativas y cuantitativas, como la fotogrametría y las ecografías, que permiten evaluar con mayor precisión los cambios corporales asociados con la disponibilidad de alimento y otros factores de estrés (Hunt et al. 2013, Morfeld et al. 2014, Christiansen et al. 2016). Aunque la fotogrametría proporciona información precisa sobre la condición corporal mediante el análisis de datos morfométricos

(por ejemplo, relaciones entre longitud, ancho y perímetro corporal, así como índices de condición corporal; Christiansen et al. 2016, 2019, Vermeulen et al. 2023), su aplicación implica el uso de herramientas especializadas, como vehículos aéreos no tripulados (VANTs o drones) equipados con cámaras calibradas, sensores de posicionamiento y software específico para el procesamiento fotogramétrico, lo cual limita su aplicación a grandes conjuntos de datos o a fotografías históricas.

Pettis et al. (2004) desarrollaron un protocolo visual estandarizado para evaluar la salud de las ballenas francas del Atlántico Norte (*E. glacialis*) a partir de fotografías tomadas desde embarcaciones, utilizando un sistema de puntuación para la condición corporal y de la piel, la presencia de ciámidos en los espiráculos y las marcas paralelas a los espiráculos (rake marks). Tras su implementación, observaron que las hembras eran significativamente más delgadas durante y después del período de cría, demostrando la eficacia del método para detectar cambios corporales conocidos asociados al ciclo reproductivo a través de fotografías. En 2021, se presentó ante el Comité Científico de la Comisión Ballenera Internacional (SC-IWC, por sus siglas en inglés) un protocolo de evaluación visual para la BFA, actualizando las variables previamente mencionadas, el cual fue remitido a revisión (Charlton et al. 2021). Moles (2022) aplicó el protocolo al stock de BFA sudafricano, comparando los resultados con datos fotogramétricos previos y evaluando el impacto de indicadores adicionales de salud (lesiones cutáneas, descamación, ciámidos *C. erraticus*) en relación con la condición corporal. Este estudio encontró que, si bien el método visual es útil para categorizar la condición corporal, los indicadores adicionales no mostraron correlación significativa con dicha métrica, sugiriendo que la condición corporal por sí sola puede no ser suficiente para identificar individuos en mal estado físico cuando se evalúa de manera aislada.

Recientemente, una revisión del protocolo mencionado, realizada por expertos del SC-IWC, generó debates sobre diversos aspectos metodológicos, como el porcentaje del cuerpo que debe ser visible para realizar evaluaciones confiables y la ponderación apropiada de los índices (com. pers. Christiansen, F¹). También se discutieron variables adicionales, como la severidad de las heridas (en función de su ubicación, tamaño y profundidad) y la presencia de ciámidos naranja (*C. erraticus*) dispersos en el cuerpo, antes consideradas como indicadores negativos, pero que actualmente se interpreta como parte de procesos dinámicos de la piel, particularmente asociados a la cicatrización y renovación epidérmica (com. pers. Uharts, M²). En BFA (Rowntree 1996; Hörbst 2019) y en ballenas de Groenlandia (*Balaena mysticetus*, von Duyke et al. 2016), se ha observado que la distribución de ciámidos está influida principalmente por la condición de la piel y por factores hidrodinámicos vinculados a la movilidad del individuo, los cuales alteran el flujo laminar de agua sobre el cuerpo y favorecen su acumulación en áreas con daño epidérmico y alrededor de los espiráculos y callosidades. Sin embargo, una cobertura extensa de ciámidos puede reflejar la existencia de procesos subyacentes de mayor relevancia biológica. En particular, una alta cobertura puede estar asociada a heridas extensas y severas en proceso de cicatrización, las cuales implican un compromiso importante de la condición física del individuo aun cuando el proceso de recuperación esté en curso. De manera complementaria, en ausencia de heridas evidentes, una cobertura dominante de ciámidos podría vincularse a alteraciones en la hidrodinámica corporal asociadas a limitaciones en la movilidad, las cuales pueden originarse en procesos subyacentes de diversa naturaleza—fisiológica, neuromuscular o traumática—que comprometen el desplazamiento normal y, en consecuencia, la condición física general (Van Bresse et al. 2014, Duignan et al. 2017, van der Hoop et al. 2017). En

¹ Comunicación personal con Fredrik Christiansen, investigador en biología de mamíferos marinos, Aarhus University, Dinamarca.

² Comunicación personal con Marcela M. Uhart, investigadora del Southern Right Whale Health Monitoring Program, Puerto Madryn, Argentina.

consecuencia, la presencia de ciámidos se integra ahora dentro de la evaluación de la condición de la piel, en lugar de tratarse como un indicador independiente, permitiendo una evaluación más holística y contextualizada del estado epidérmico en la BFA. Además, la descamación de la epidermis, antes interpretada como un indicador negativo de la condición de piel, es un proceso natural relacionado con la termorregulación y el mantenimiento fisiológico, que puede variar en cuestión de horas y, por lo tanto, no refleja necesariamente una mala condición (Reeb et al. 2007, Fortune et al. 2017, Pitman et al. 2020).

Moles (2022) enfatizó la necesidad de adoptar un enfoque holístico para describir la salud, mientras que Boileau (2024) definió el bienestar de los cetáceos como la combinación del estado físico, fisiológico y comportamental, siendo la condición física el primer indicador abordado. En cetáceos silvestres, cuatro variables clave han sido validadas mediante estudios médicos y fisiológicos: condición corporal, prevalencia de heridas, lesiones cutáneas y presencia de ectoparásitos (Bertulli et al. 2012, Hunt et al. 2013, Hermosilla et al. 2015, Hunt et al. 2015, Van Bresse et al. 2015, Ramp et al. 2021, Minton et al. 2022).

Dado el renovado interés en las evaluaciones visuales de salud de esta especie y las discusiones metodológicas planteadas en las recientes revisiones por expertos, surge la necesidad de desarrollar un marco sólido y estandarizado a partir de consultas bibliográficas a trabajos que (i) desarrollaran o aplicaran métodos visuales para evaluar la condición corporal, de piel o la presencia de heridas en cetáceos, (ii) describieran sistemas de puntuación o escalas de severidad basados en fotografías aéreas o de superficie, (iii) definieran criterios de calidad de imagen, (iv) abordaran la relación entre el estado físico, la reproducción y la salud de los individuos, y (v) describieran, caracterizaran o clasificaran lesiones, heridas o infecciones observadas en cetáceos. En este contexto, la presente tesina tuvo como objetivo establecer una metodología estandarizada para la evaluación visual de la condición física de BFA, basada en sets de

imágenes aéreas, que permita realizar comparaciones anuales de la condición física poblacional a escala regional y global (hemisferio sur), evaluar patrones demográficos, temporales y espaciales en la condición física, y respaldar el monitoreo a largo plazo en las diferentes áreas de reproducción.

1.1 Objetivos, hipótesis y predicciones

El **objetivo general** de esta tesina fue caracterizar la condición física de las BFA del Golfo San Matías mediante el desarrollo, y aplicación de un protocolo de evaluación visual basado en fotografías aéreas obtenidas para fotoidentificación. Dicho protocolo se construyó a partir de la revisión y adaptación de metodologías previamente desarrolladas para la evaluación visual de la salud y condición corporal en BF del Atlántico norte y australes, con el fin de generar una herramienta simple, estandarizada y confiable que permita evaluar comparativamente la condición física de los individuos, así como explorar patrones de variación asociados a características demográficas y temporales dentro del stock.

Del objetivo general se desprenden los siguientes **objetivos específicos**:

- Realizar una revisión de los protocolos previamente definidos para ballenas francas e incorporar las recomendaciones realizadas por los investigadores integrantes de SC-IWC para realizar una actualización y optimización de los mismos.
- A partir de la información recopilada en el objetivo particular anterior, desarrollar un protocolo simple y confiable para evaluar la condición física de las BFA.
- Evaluar y caracterizar la condición física de los individuos del catálogo de fotoidentificación del GSM, mediante el análisis de fotografías aéreas tomadas con drones, implementando los índices previamente desarrollados, y analizar su variación en relación con características demográficas (clase de edad y clase reproductiva) y temporales.

En este contexto, se proponen las siguientes **hipótesis y predicciones**:

H1) La condición física de las BFA es evaluable mediante índices visuales basados en fotografías aéreas que reflejan la acumulación de reservas energéticas en forma de grasa subcutánea, la presencia y severidad de heridas, y la integridad de la piel. De esta primera hipótesis se predice que **P1)** los tres índices—condición corporal (ICC), condición de la piel (ICP) y severidad de heridas (ISH)—reflejarán distintos componentes de la condición física y no mostrarán relaciones entre sí, evidenciando su carácter complementario, y **P2)** el ICC permitirá detectar una disminución progresiva de la condición corporal a lo largo de la temporada reproductiva.

H2) El stock de BFA del GSM se encuentra en buena condición física general, sin presentar variaciones interanuales en ninguno de sus índices. De aquí se predice que **P3)** los valores promedios obtenidos para cada índice de condición física reflejarán una buena condición corporal, buena condición de piel y baja incidencia y severidad de heridas, además de que **P4)** estos valores se mantendrán estables a lo largo del período analizado.

H3) La condición física de las BFA está influenciada por la clase de edad (juvenil/adulto) y la clase reproductiva (hembras con cría/individuos sin cría), mostrando diferencias significativas en los tres índices de condición física. De aquí se predice que **P5)** las hembras con cría presentarán peor condición corporal comparado con los individuos sin cría, **P6)** los individuos juveniles presentarán peor condición de piel comparado con los adultos, y **P7)** las hembras con cría presentarán mayor incidencia y severidad de heridas que los individuos sin cría.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y base de datos

El Golfo San Matías (GSM; Río Negro, Argentina) se encuentra ubicado en la costa atlántica de Argentina, entre los 40° 50' y 42° 15' S y entre 63° 05' y 65° 10' O. Con una extensión total

aproximada de 19.700 km², es el golfo más grande del norte de Patagonia y el segundo más grande de Argentina, después del Golfo San Jorge. El GSM es una cuenca semicerrada caracterizada por la presencia de dos grandes depresiones que alcanzan profundidades máximas entre 160 y 200 m en el centro de la misma y un umbral de menores profundidades en su boca, que oscila entre los 45 y 80 m (Mazio y Vara 1983, Piola y Scasso 1988). Se comunica con la Plataforma Continental Argentina adyacente a través de una boca amplia, que abre hacia el este y está comprendida entre Punta Bermeja (provincia de Río Negro) y Punta Norte en Península Valdés (provincia de Chubut). En su extremo noroeste se encuentra una gran bahía conocida como Bahía San Antonio (BSA; Figura 1).

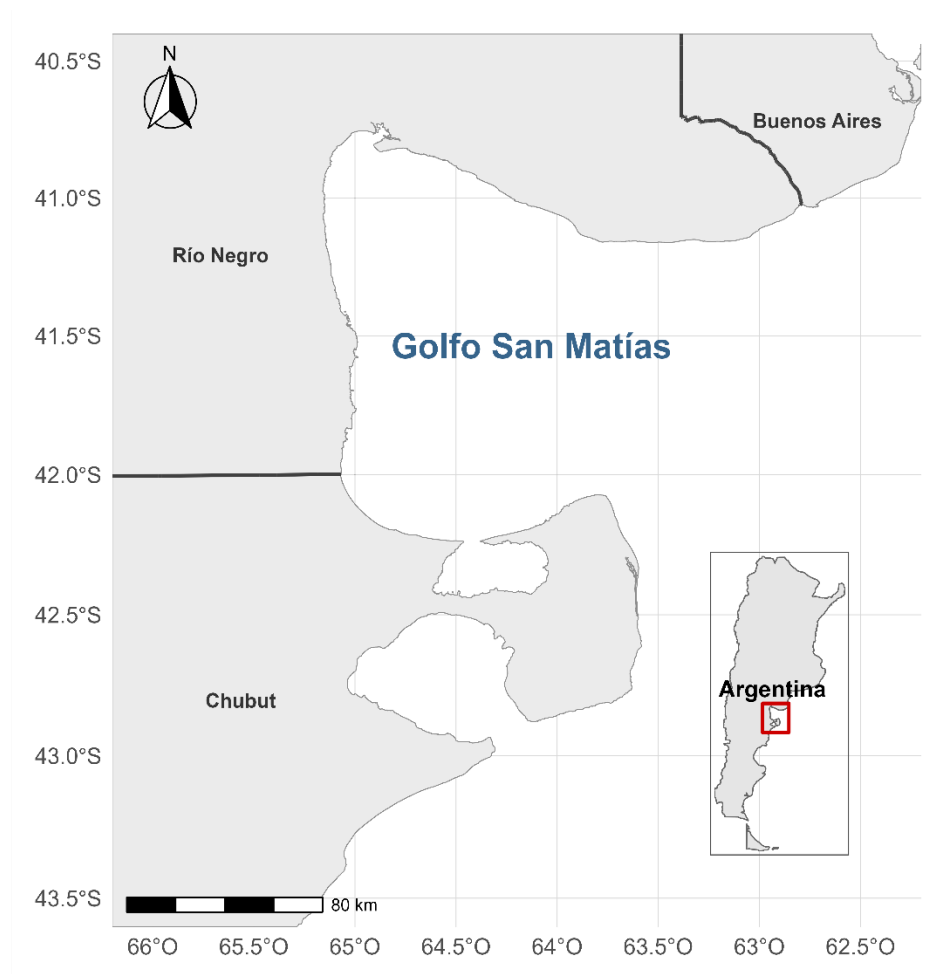


Figura 1. Mapa del sitio de estudio, Golfo San Matías (GSM), Patagonia norte, Argentina.

Desde un punto de vista ecológico, este golfo constituye un ambiente de importancia creciente para la BFA, evidenciando un proceso de recolonización y uso regular de su costa noroeste. La presencia de ballenas en el área se extiende entre las estaciones de invierno y primavera, alcanzando su máxima abundancia entre agosto y septiembre, concentrándose en aguas someras costeras donde predominan individuos solitarios y grupos reproductivos, lo que sugiere que el golfo funciona como zona de socialización y apareamiento, contribuyendo a la expansión y conectividad regional de la especie en el Atlántico Sudoccidental (Arias et al. 2018).

2.1.1. Conjunto de datos de fotoidentificación

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó la base de datos de fotoidentificación del GSM, Río Negro, Argentina (Arias et al. 2022). Esta base reúne fotografías obtenidas a partir del aporte ciudadano entre los años 2019-2024, a partir de imágenes tomadas desde embarcaciones y VANTs las cuales se tomaron enfocándose en el patrón de callosidades de la cabeza para su fotoidentificación. Cada registro fotográfico corresponde a un individuo identificado mediante sus patrones de callosidad y patrones de coloración naturales presentes en el cuerpo, y se encuentra asociado a un conjunto de variables generales resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables asociadas a cada registro fotográfico de una BFA perteneciente al catálogo de fotoidentificación del GSM.

Variable	Categorías / definición
Fecha de avistaje	Primer y último registro, cuando fuera observado en ≥ 2 ocasiones
Sexo	Macho / Hembra
Clase reproductiva	Hembra con cría (se asume hembra a un individuo acompañado de una cría) / Individuo sin cría
Clase de edad	Juvenil ($< 20\%$ longitud de la cabeza respecto al cuerpo) / Adulto ($> 20\%$; McAloose et al. 2016; Figura 2). Las hembras con cría se clasificaron siempre como adultos.
Heridas	Presencia, tipo y zona del cuerpo afectada
Lesiones de la piel	
<i>Cyamus erraticus</i>	Presencia y zona del cuerpo afectada

La información sobre sexo, clase reproductiva, clase de edad y lesiones, ciámidos y/o heridas se registró únicamente cuando las condiciones de observación y la calidad de las imágenes lo permitieron. La clase de edad se determinó a partir de fotografías en las que las ballenas se encontraban alineadas lo más rectas posible respecto al eje transversal del cuerpo. La proporción entre la longitud de la cabeza y la longitud corporal total se estimó mediante medición manual directa sobre la imagen visualizada en pantalla, utilizando una regla física, y se calculó el porcentaje correspondiente mediante una relación proporcional simple (Fig. 2).

2.2. Desarrollo metodológico y aplicación

El presente trabajo se estructuró en dos etapas principales: (1) el desarrollo de un protocolo de evaluación visual de la condición física de BFA juveniles y adultas, a partir de imágenes aéreas, elaborado a partir de la revisión crítica y actualización de metodologías previamente publicadas, y (2) la aplicación de dicho protocolo al conjunto de datos fotográficos de individuos fotoidentificados en el GSM, con el propósito de caracterizar este stock y evaluar variaciones en los índices propuestos en el protocolo de evaluación visual de la condición física a lo largo de las temporadas de estudio y entre años.

2.2.1. Desarrollo del protocolo de evaluación visual

El protocolo de evaluación visual de la condición física para la BFA fue desarrollado a partir de la revisión de metodologías previas (Pettis et al. 2004, Charlton et al. 2021) en conjunto con expertos (SORP), consultas bibliográficas de carácter exploratorio orientadas a antecedentes conceptuales y metodológicos, y el análisis de la base de datos de fotoidentificación de ballenas francas del GSM previamente mencionada (Arias et al. 2022). A partir de este proceso, se definieron y ajustaron las variables de evaluación de acuerdo con las características de las imágenes disponibles para el stock local.

La revisión y actualización de los protocolos previos para la evaluación visual de ballenas francas, permitió identificar las siguientes limitaciones: (i) la ausencia de criterios estandarizados u objetivos sobre la proporción mínima del cuerpo visible en fotografías requerida para realizar evaluaciones confiables; (ii) la ponderación arbitraria entre índices, sin un sistema de confianza asociado a la calidad o cobertura fotográfica; (iii) la interpretación ambigua de ciertos rasgos epidérmicos, como la descamación y la presencia de ciámidos, que la evidencia reciente demostró no siempre asociarse a una condición de deterioro; y (iv) la falta de incorporación explícita de heridas de origen antrópico o natural como indicadores

complementarios de la condición física. Este proceso permitió consolidar una base conceptual orientada a la elaboración de un protocolo objetivo, robusto y comparable entre distintas áreas de concentración de la especie, adaptado a las condiciones y características de las imágenes obtenidas en el GSM.

2.2.1.1. Revisión del material fotográfico y categorización de anomalías

Se realizó una revisión integral del material fotográfico contenido en la base de datos de fotoidentificación del GSM (2019–2024, Arias et al. 2022) con el objetivo de identificar, describir y clasificar la mayor cantidad posible de anomalías observadas en la piel y el cuerpo de los individuos, de acuerdo con sus características morfológicas, textura y coloración. La clasificación fue elaborada con base en la literatura (Tabla 2) y mediante consultas con especialistas en patología y salud de cetáceos (com. pers. Uhart M³).

³ *Comunicación personal con Marcela M. Uhart, investigadora del Southern Right Whale Health Monitoring Program, Puerto Madryn, Argentina.*

Tabla 2. Literatura especializada consultada para la clasificación de anomalías externas observadas en fotografías de BFA.

Tipo de anomalía	Descripción general	Principales referencias
Lesiones de la piel	Alteraciones no traumáticas de la piel	Geraci et al. 1979, Van Bresseem y Waerebeek 1996, Hamilton y Marx 2005, Brownell et al. 2007, Van Bresseem et al. 2009, Fazio 2012, Fiorito et al. 2015, Van Bresseem et al. 2015, Barlow et al. 2019, Toms et al. 2020
Heridas	Lesión física con alteración de la integridad de la piel causada por un trauma externo, de origen natural, antropogénico o desconocido	Robbins y Mattila 2001, 2004, Johnson et al. 2005, Mehta et al. 2007, Robbins 2009, Luksenburg 2014, Maron et al. 2015, Hill et al. 2017, Basran et al. 2019, Herr et al. 2020, Minton et al. 2022, Charlton et al. 2023, Gulland et al. 2024

2.2.1.2. Descripción del protocolo

El desarrollo del protocolo implicó la definición de criterios anatómicos y visuales de evaluación, la creación de escalas de puntuación cualitativas y la incorporación de mecanismos de control de calidad y confianza de observación. En conjunto, estos componentes conforman

una estructura que permite describir de manera objetiva la integridad física de las ballenas, estableciendo un marco común para la comparación de resultados entre diferentes períodos y áreas de concentración. Si bien el desarrollo del protocolo constituye uno de los principales resultados de este trabajo, su descripción se presenta en esta sección por tratarse del procedimiento analítico utilizado para la posterior evaluación de la condición física de los individuos, siguiendo a Pettis et al. (2004) y Boyd et al. (2019).

Sectorización anatómica del cuerpo

Con el fin de garantizar una evaluación visual sistemática y estandarizada entre individuos, el cuerpo de cada ballena fue dividido en ocho secciones anatómicas, que abarcan desde la cabeza hasta la aleta caudal en su lado dorsal, a partir de referencias morfológicas visibles en las imágenes (Figura 2). Esta segmentación permite realizar la evaluación no solo a nivel del individuo completo, sino también de manera independiente en cada sección corporal, mejorando la detección y cuantificación de lesiones cutáneas, heridas y cambios en la condición corporal, especialmente en individuos para los cuales se dispone de cobertura fotográfica de buena calidad pero que no abarcan la totalidad de su cuerpo.

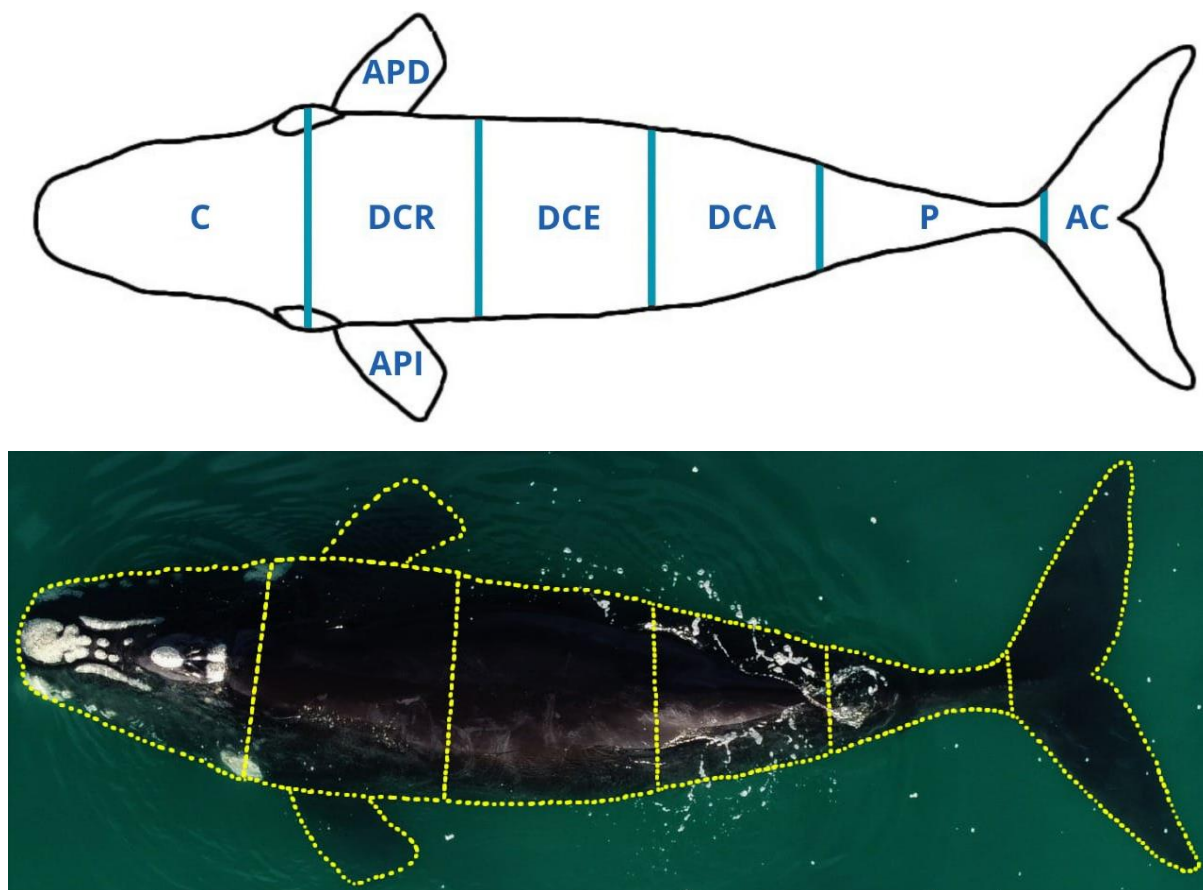


Figura 2. Sectorización anatómica de una BFA. Arriba: ilustración esquemática de las ocho secciones corporales utilizadas en el protocolo de evaluación visual. C: cabeza; DCR: sección dorso-craneal; DCE: sección dorso-central; DCA: sección dorso-caudal; P: pedúnculo caudal; AC: aleta caudal; APD: aleta pectoral derecha; API: aleta pectoral izquierda. Abajo: fotografía aérea de una BFA con líneas amarillas discontinuas que delimitan las ocho secciones corporales. Foto: Nicolás Cetra, Las Grutas.

La transición entre la cabeza (C) y la sección dorso-craneal (DCR) fue delimitada trazando una línea transversal al cuerpo, a la altura del punto medio de las callosidades de las “cejas”, la cual marca el límite posterior de la cabeza. Esta primera sección, que se extiende desde la punta del rostro hasta dicha línea, representa aproximadamente el 25 % de la longitud corporal total

(Christiansen et al. 2018). A partir de esta línea, el cuerpo fue dividido en tres secciones dorsales consecutivas—craneal, central y caudal (DCR, DCE y DCA)—comprendidas entre el límite posterior de la cabeza y el inicio del pedúnculo caudal, y subdivididas de manera proporcional aproximada, de modo que cada una abarca alrededor del 15 % de la longitud corporal total.

El inicio del pedúnculo caudal (P) se definió como el punto a partir del cual el cuerpo comienza a estrecharse de manera evidente en sentido transversal. La transición entre el pedúnculo y la aleta caudal (AC) se estableció en la zona donde el cuerpo vuelve a ensancharse y adquiere una forma triangular, correspondiente a la base de la aleta. Por último, las aletas pectorales derecha e izquierda (APD y API) fueron consideradas secciones independientes, dado que la cobertura fotográfica suele ser desigual entre ambos lados. En todos los casos, se evaluó únicamente la superficie dorsal, con el fin de estandarizar el área analizada y garantizar la comparabilidad entre individuos.

Cada sección corporal fue evaluada de manera independiente, siempre que se encontrara completamente visible en al menos una fotografía de calidad adecuada (ver siguiente sección). En caso contrario, la sección fue excluida del análisis, evitando sesgos asociados a evaluaciones parciales o de baja calidad (Bradford et al. 2009, Hill et al. 2017).

Selección de imágenes y conformación de sets de imágenes

La selección de imágenes para el análisis se realizó considerando de manera conjunta la calidad fotográfica y la cobertura corporal mínima, criterios aplicados simultáneamente para determinar la aptitud de cada registro fotográfico. Cada fotografía fue evaluada en función de dos componentes principales: la definición de la imagen y la visibilidad del agua, los cuales en conjunto determinan la capacidad de distinguir rasgos físicos relevantes del individuo, como el contorno de las secciones corporales visibles, las texturas de la piel y la presencia de lesiones.

La definición de la imagen se entendió como el grado de nitidez, contraste y luminosidad que permite distinguir con precisión el contorno y los detalles del cuerpo del individuo en la fotografía, considerando su resolución, enfoque y exposición. La visibilidad del agua se definió como el grado en que la claridad y la condición superficial del agua permiten identificar los rasgos corporales del individuo, tanto en la superficie como en las zonas parcialmente sumergidas; factores como la turbidez, el oleaje y los reflejos reducen esta visibilidad e interfieren con la precisión de la evaluación.

Ambos componentes se calificaron mediante una escala ordinal de tres niveles (1 a 3), donde el valor 1 indicó condiciones óptimas y el valor 3 condiciones inadecuadas para la evaluación (Tablas 3 y 4). Las fotografías que obtuvieron una puntuación de 3 en cualquiera de los dos componentes fueron excluidas del análisis. A partir de la combinación de ambos criterios se estableció un índice de Calidad Fotográfica (CF) con tres niveles de adecuación visual: CF-1, óptima (1–1); CF-2, buena (1–2 o 2–1); y CF-3, mala (2–2). Solo las fotografías clasificadas como CF-1 o CF-2 fueron consideradas aptas para la evaluación de la condición física.

Tabla 3. Índice de definición de imagen y sus correspondientes categorías de puntuación, con ejemplos fotográficos. Fotos: (1) Sebastián Leal, Las Grutas; (2) Candela Fernández, Puerto San Antonio Este; (3) Sebastián Leal, Las Grutas.

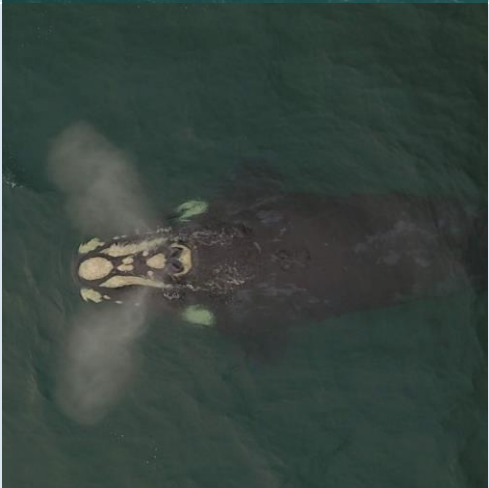
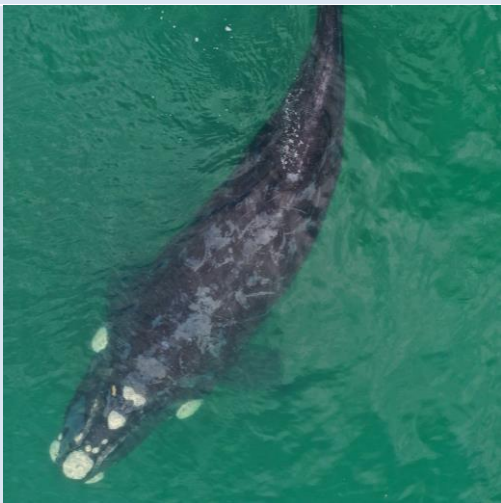
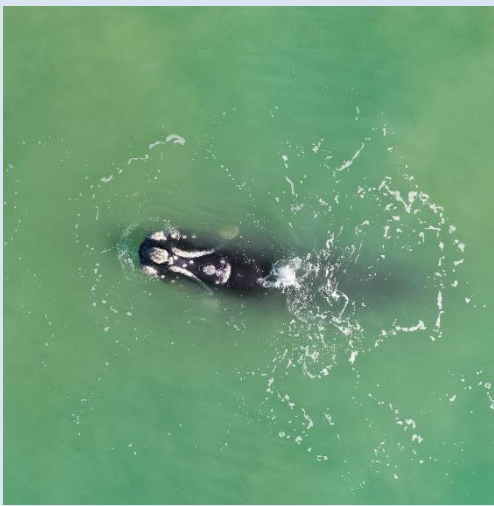
<i>Definición de imagen</i>		
1	La imagen es nítida y muestra detalles claros que permiten una evaluación precisa de los rasgos clave.	
2	La imagen es borrosa, oscura y/o está sobreexpuesta; sin embargo, los rasgos clave aún son parcialmente visibles.	
3	La imagen es demasiado borrosa, demasiado oscura y/o está demasiado sobreexpuesta, lo que imposibilita la observación de los rasgos clave.	

Tabla 4. Índice de visibilidad del agua y sus correspondientes categorías de puntuación, con ejemplos fotográficos. Fotos: (1), (2) y (3) Sebastián Leal, Las Grutas.

<i>Visibilidad del agua</i>		
<i>1</i>	El agua es suficientemente clara, y la superficie se mantiene calma y sin perturbaciones, lo que permite que los rasgos clave bajo el agua sean claramente visibles, sin distorsión.	
<i>2</i>	El agua es ligeramente turbia y/o la superficie presenta perturbaciones que generan cierta distorsión en la visibilidad bajo el agua. Aunque la visibilidad se ve reducida, aún es posible evaluar al menos algunos rasgos clave sumergidos.	

3	El agua es muy turbia y/o la superficie presenta fuertes perturbaciones que impiden una visibilidad clara de los rasgos sumergidos y genera una distorsión que hace que la observación bajo el agua, e incluso en la superficie, sea apenas posible.	
---	---	--

De manera complementaria, para que un individuo fotoidentificado pudiera ser incorporado al análisis, se requirió que las fotografías seleccionadas mostraran de forma completa al menos las tres primeras secciones corporales (C, DCR y DCE). Este criterio permitió asegurar que las evaluaciones se realizaran sobre un número mínimo de secciones visibles, representativas del estado general del individuo.

Las fotografías que cumplieron simultáneamente con los criterios de calidad fotográfica (CF-1 o CF-2) y cobertura corporal mínima fueron agrupadas en sets de imágenes independientes, definidos como el conjunto de registros fotográficos de un mismo individuo obtenidos en un mismo día o con una diferencia máxima de 19 días entre sí, en los casos en que el individuo fue avistado en más de una ocasión durante la temporada. Este intervalo temporal se estableció siguiendo la evidencia de Christiansen et al. (2018), quienes determinaron que un período mínimo de 20 días entre avistamientos es necesario para detectar un cambio cuantificable en la condición corporal. Cuando un individuo presentó más de un set de imágenes dentro de una misma temporada, se retuvo únicamente el correspondiente al período de la temporada con menor representación de datos, con el fin de equilibrar la distribución temporal del esfuerzo de

muestreo y evitar la pseudorreplicación. En los casos de reavistajes interanuales de un mismo individuo, cada avistaje se consideró como un set independiente.

Descripción de índices de condición física

El protocolo contempla la evaluación de la condición física externa de la BFA mediante tres índices visuales complementarios: índice de condición corporal (ICC), índice de condición de la piel (ICP) e índice de severidad de heridas (ISH). El ICC se construyó como una variable binaria, que clasifica a los individuos según su condición corporal general, mientras que el ICP y el ISH se basan en escalas numéricas ordinales, en las que los valores más bajos indican una mejor condición. Las puntuaciones se asignaron de manera independiente a cada sección corporal visible y se registraron de forma sistemática en planillas, garantizando una evaluación estandarizada y reproducible de los tres componentes. En los casos en que se trabajó con sets de imágenes que abarcaron 2 o más días de observación, la puntuación de los ICP e ISH se basó en la apariencia del individuo hacia el final del set, dado que la presencia o persistencia de las lesiones, de *C. erraticus* y de las heridas se consideró un indicador más confiable de mala condición que su presencia transitoria o ausencia al principio del set.

- Índice de condición corporal

El ICC evalúa la forma general del cuerpo de las ballenas a partir de la observación visual de dos secciones dorsales: dorso-craneal (DCR) y dorso-central (DCE). La selección de estas regiones se fundamenta en estudios previos que demostraron que las hembras con cría tienden a perder grasa principalmente entre el 35 % y el 75 % de la longitud corporal medida desde el rostro, mientras que la cabeza y la cola permanecen relativamente estables (Christiansen et al. 2018). De manera complementaria, Johnston et al. (2021) evidenciaron que las mediciones comprendidas entre el 30 % y el 80 % de la longitud total del cuerpo reflejan de forma más

precisa la condición corporal individual. En este trabajo, este criterio se aplicó a todas las clases reproductivas.

El índice utiliza una escala simplificada de dos categorías:

- ICC-1 (buena condición): el cuerpo presenta una forma globosa o rectangular, con las secciones DCR y DCE mostrando una leve convexidad o perfil rectangular, y un adelgazamiento gradual hacia la cola a partir de la sección DCA. El cuerpo puede verse más ancho detrás de los ojos.
- ICC-2 (mala condición): el cuerpo presenta una forma cónica o semicónica, con un adelgazamiento que comienza de manera temprana —habitualmente desde la sección DCR— y se acentúa hacia la región caudal. Este estrechamiento puede evidenciarse en la parte posterior de la DCR o incluso inmediatamente detrás de los ojos, generando una pendiente continua a lo largo del dorso (Figura 3).

La asignación del valor de ICC se realizó en función de las combinaciones de formas observadas en las secciones DCR y DCE. Estas combinaciones se establecieron a partir de los patrones morfológicos descritos en el protocolo, donde las configuraciones que incluían formas redondeadas o rectangulares se asociaron a una buena condición corporal, mientras que aquellas que presentaron transiciones hacia perfiles más angulares o afilados correspondieron a mala condición corporal (Tabla 5).

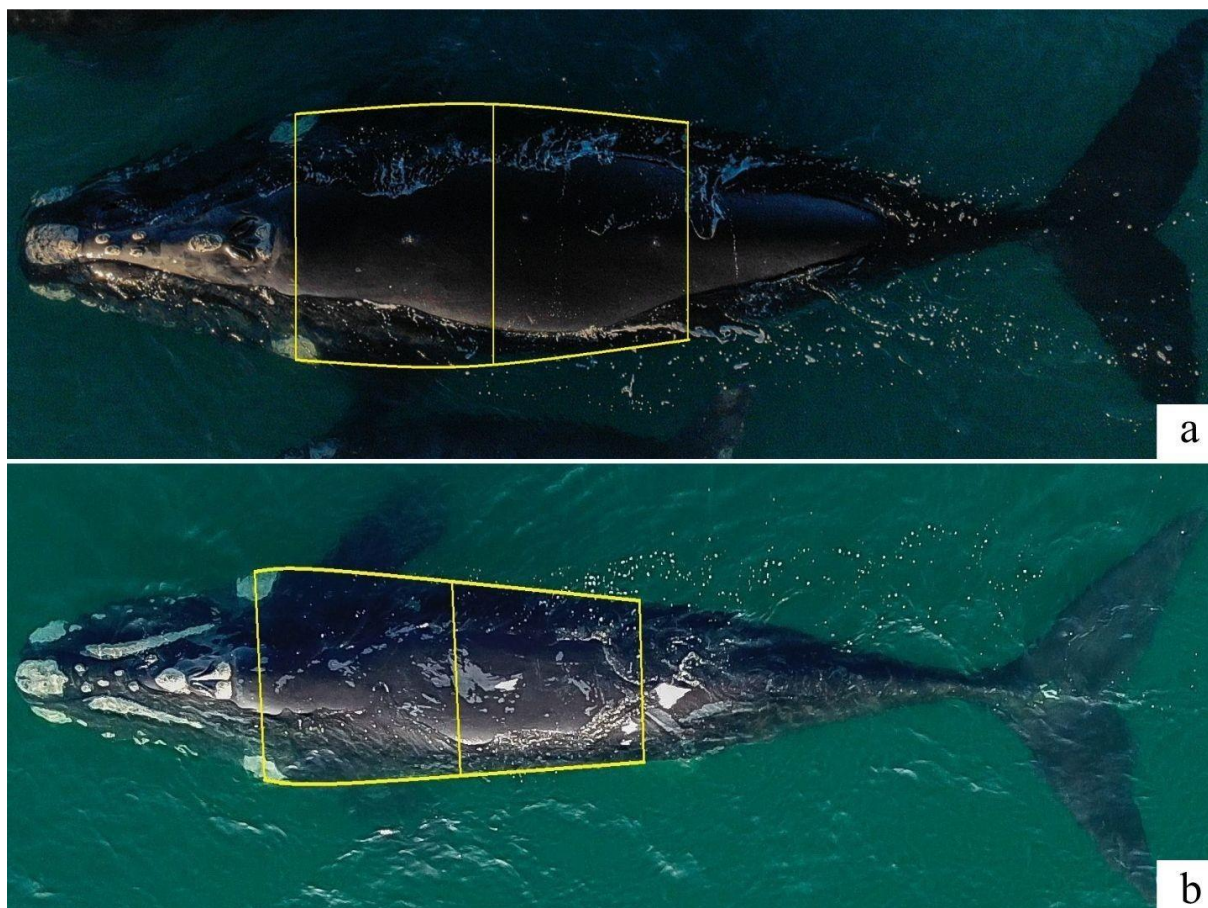


Figura 3. Ejemplos de clasificación del índice de condición corporal (ICC) en BFA a partir de imágenes aéreas. (a) Individuo en buena condición corporal (ICC-1), con una forma general globosa. (b) Individuo en mala condición corporal (ICC-2), con un adelgazamiento progresivo y perfil más cónico. Las líneas amarillas delimitan las secciones dorso-cranial (DCR) y dorso-central (DCE), utilizadas para la evaluación visual de la condición corporal.

Tabla 5. Criterios de asignación del ICC según las combinaciones de formas observadas en las secciones DCR y DCE. Los valores más bajos (1) indican mejor condición corporal, caracterizada por formas redondeadas o rectangulares, mientras que los valores más altos (2) reflejan una reducción en la condición corporal, asociada a perfiles más cónicos o afinados.

	Forma de DCR	Forma de DCE	Valor
Condición corporal	Ligeramente redondeado	Ligeramente redondeado	1
	Ligeramente redondeado	Rectangular	
	Rectangular	Rectangular	
	Rectangular	Cónico	2
	Cónico	Cónico	

Cuando se contó con más de una imagen de un mismo individuo, se seleccionó aquella que mejor cumpliera los siguientes criterios: la ballena debía encontrarse alineada tanto lateral como verticalmente y posicionada perpendicular a la cámara, de modo que su cuerpo formará un ángulo recto respecto a la línea de visión. Esta posición reduce las distorsiones generadas por el ángulo de toma y facilita una evaluación más precisa de la forma corporal, incluso cuando la calidad de la imagen no es óptima.

- Índice de condición de la piel

Se evaluó la condición superficial de la piel de las ballenas a través del ICP sobre cada sección individual considerando dos componentes principales: la proporción de la sección corporal cubierta por lesiones cutáneas y la presencia de ciámidos (*C. erraticus*) junto con su proporción de cobertura. Se consideró como lesión cutánea toda alteración no traumática en el aspecto o la

textura de la piel, como las asociadas a enfermedades, reacciones alérgicas, neoplasias, entre otros (com. pers. Uhart, M.⁴). Ejemplos de las lesiones observadas se presentan en el **Anexo A**. La evaluación del índice se realizó exclusivamente sobre imágenes clasificadas como CF-1, ya que este nivel de calidad permite distinguir con claridad los rasgos cutáneos. Asimismo, sólo se asignó un valor de condición de piel a los individuos que presentaron al menos tres secciones corporales visibles en imágenes CF-1, criterio necesario para obtener valores confiables.

El valor del ICP por sección se asignó en una escala ordinal de cuatro categorías, donde los valores más bajos representaron mejor condición de piel (Tabla 6). Un valor de ICP = 1 correspondió a piel sin lesiones y con cobertura de *C. erraticus* inferior al 50%; un valor de ICP = 2 se asignó cuando las lesiones afectaron menos del 25% de la sección y la cobertura de *C. erraticus* se mantuvo por debajo del 50%; un valor de ICP = 3 cuando las lesiones ocuparon entre el 25% y el 75% de la sección, también con cobertura de *C. erraticus* menor al 50%; y un valor de ICP = 4 cuando la cobertura de *C. erraticus* superó el 50% —independientemente de la extensión de las lesiones— o cuando las lesiones afectaron más del 75% de la sección, aunque la presencia de *C. erraticus* fuera limitada. Se adoptó un umbral del 50% de cobertura de *C. erraticus* como referencia para distinguir una presencia compatible con su asociación normal respecto de una potencialmente vinculada a problemas de piel, condición corporal o heridas.

El valor final de ICP para cada set de imágenes se obtuvo promediando los valores asignados a cada sección evaluada, obteniéndose así un valor continuo. Este valor representó el valor promedio de condición de piel del individuo en el período temporal correspondiente a dicho set.

⁴ Comunicación personal con Marcela M. Uhart, investigadora del Southern Right Whale Health Monitoring Program, Puerto Madryn, Argentina.

Tabla 6. Criterios de asignación del índice de condición de piel en función de la proporción de cada sección visible cubierta por al menos una lesión y la proporción de cada sección visible cubierta por *Cyamus erraticus*. Los valores varían entre 1 (mejor condición) y 4 (peor condición).

Condición de piel	Proporción de sección visible cubierta por lesiones	Proporción de sección visible cubierta por <i>Cyamus erraticus</i>	Valor
	Ausente	<50%	1
	<25%	<50%	2
	25-75%	<50%	3
	>75%	-	4
	-	≥50%	4

- Índice de severidad de heridas

Se evaluó la presencia y severidad de heridas en ballenas a través del ISH, tanto de origen antropogénico —colisiones con embarcaciones o enmallamientos en artes de pesca u otros desechos marinos— como de origen natural, incluyendo heridas ocasionadas por interacciones con gaviotas y marcas de depredadores (p. ej., orcas y tiburones). Estas heridas se caracterizan por su origen traumático y por implicar una ruptura o discontinuidad en la integridad de la piel, excluyéndose las marcas resultantes del roce o contacto entre individuos durante interacciones sociales (com. pers. Uhart, M.⁵). Las heridas se clasificaron dentro de 7 categorías según su origen (interacción con gaviotas, predación, colisión con embarcaciones, enmallamiento,

⁵ Comunicación personal con Marcela M. Uhart, investigadora del Southern Right Whale Health Monitoring Program, Puerto Madryn, Argentina.

asociadas a artefactos de telemetría, múltiples y origen indeterminado) y se describieron en el **Anexo B.**

Este índice se basó en tres componentes principales: (i) presencia y profundidad de las heridas, evaluada en función del tejido más profundo afectado (Olaya-Ponzone et al. 2020), (ii) proporción de la sección corporal afectada, y (iii) la sección anatómica en la que se localiza la lesión. Estos componentes se evaluaron en cada sección corporal visible, y las combinaciones biológicamente posibles se puntuaron con base en criterios veterinarios y en lineamientos utilizados para la evaluación de heridas graves en mamíferos marinos, considerando que heridas o traumas en regiones funcionalmente críticas —como cabeza, pedúnculo caudal y aletas— pueden comprometer funciones vitales (p. ej., contusión, compromiso de locomoción, alimentación, etc., Andersen et al. 2008; Tabla 7).

Tabla 7. Criterios de asignación del índice de severidad de heridas en función de la profundidad, la sección corporal afectada y la proporción, considerando únicamente las combinaciones biológicamente posibles. Los valores varían de 1 (menor severidad) a 4 (mayor severidad). El término “Indistinto” indica que el valor aplica a cualquier sección corporal o que la proporción de la sección visible afectada no es relevante para su asignación, según corresponda. C = cabeza; DCR = dorso-craneal; DCE = dorso-central; DCA = dorso-caudal; P = pedúnculo caudal; AC = aleta caudal; APD = aleta pectoral derecha; API = aleta pectoral izquierda.

	Profundidad	Proporción de sección visible con herida	Secciones afectadas	Valor
Severidad de heridas	Ausente	-	-	1
	Piel	Indistinto	Indistinto	1
	Grasa	<25%	Indistinto	1
	Grasa	≥25%	Indistinto	2
	Músculo	<25%	Indistinto	2
	Músculo	≥25%	Indistinto	3
	Hueso	<50%	DCR,DCE,DCA,APD/I	3
	Hueso	≥50%	DCR,DCE,DCA,APD/I	4
	Hueso	Indistinto	C,P	4
	Amputación	<25%	AC,APD/I	2
	Amputación	25-50%	AC,APD/I	3
	Amputación	≥50%	AC,APD/I	4

El valor del ISH por sección se asignó en una escala ordinal de cuatro categorías, donde los valores más bajos representaron menor severidad. Un valor de ISH = 1 se asignó a las secciones sin heridas o con marcas superficiales en la piel (rasguños o cicatrices menores), así como a aquellas donde las heridas no superaron la capa de grasa y afectaron $< 25\%$ de la sección evaluada, consideradas sin efecto significativo sobre la condición física general del individuo. Un valor de ISH = 2 se otorgó a casos en los que las heridas comprometieron parcialmente la capa de grasa, afectando $\geq 25\%$ de la sección evaluada, o a aquellos en donde se alcanzó el tejido muscular en $< 25\%$, pudiendo generar una respuesta inmune y de cicatrización con un costo energético asociado; este valor también se aplicó a amputaciones parciales ($< 25\%$) que no comprometieron la movilidad. Un valor de ISH = 3 correspondió a heridas más severas, que afectaron el tejido muscular en $\geq 25\%$ de la sección, o bien al tejido óseo en $< 50\%$ de las secciones dorsales (DCR, DCE, DCA) o pectorales (APD/I), pudiendo provocar hemorragias y tiempos de cicatrización prolongados. Este valor también incluyó amputaciones moderadas (25–50%) que afectaron la movilidad y, por tanto, implicaron un mayor impacto sobre el comportamiento y el balance energético del individuo. Finalmente, un valor de ISH = 4 se reservó para los casos de mayor severidad, donde las heridas alcanzaron el hueso y afectaron $\geq 50\%$ de las secciones dorsales o pectorales, o cualquier lesión ósea localizada en la cabeza (C) o el pedúnculo caudal (P). Asimismo, este valor se asignó a amputaciones graves en las que se perdió $\geq 50\%$ de la aleta afectada, generando una limitación sustancial del movimiento y un riesgo elevado para la supervivencia a largo plazo.

En los casos en que una misma sección corporal presentó múltiples heridas, la proporción afectada se calculó como la suma de todas las lesiones visibles en dicha sección, independientemente de su tipo u origen. La profundidad se determinó a partir del tejido más interno afectado, dado que este representa la herida con mayor demanda energética de

cicatrización y mayor potencial de afectar la condición física del individuo. Por ejemplo, si una sección presentó dos heridas infligidas por gaviotas —una que alcanzó la grasa y otra el músculo—, o bien una herida de gaviota y otra causada por una hélice, la proporción afectada se sumó y la profundidad se clasificó según el tejido más profundo comprometido.

El valor final de ISH para cada set de imágenes se obtuvo promediando los valores asignados a cada sección corporal evaluada, generando así una variable continua. Este valor representó el grado promedio de severidad de las heridas del individuo en el período temporal correspondiente a dicho set.

Asignación de clases de confianza

En la evaluación de los índices de condición física que dependen de la observación de múltiples secciones corporales (ICP e ISH), el valor final se calcula a partir de las secciones efectivamente evaluadas, y su fiabilidad está directamente relacionada con la cantidad y combinación de secciones visibles. Para controlar los posibles sesgos asociados a la visibilidad incompleta del cuerpo, se asignó una clase de confianza a cada evaluación, determinada según el número y disposición de las secciones corporales visibles (Tabla 8). Estas clases fueron definidas de manera arbitraria, pero fundamentadas en criterios anatómicos y funcionales, tales como la cobertura mínima de las secciones dorsales clave para la evaluación de la condición corporal y de la piel (C, DCR y DCE), la incorporación progresiva de secciones caudales y apendiculares con alto valor informativo (DCA, P, AC, APD y API), y el aumento de la confiabilidad asociado a una mayor proporción del cuerpo visible y a la simetría lateral de las observaciones.

Tabla 8. Tabla de referencia utilizada para la asignación automática de clases de confianza según la cantidad y combinación de secciones corporales visibles. Las clases van de 1 (baja a moderada) a 6 (máxima confianza), reflejando un aumento progresivo en la confiabilidad de la evaluación de los índices visuales. C = cabeza; DCR = dorso-craneal; DCE = dorso-central; DCA = dorso-caudal; P = pedúnculo caudal; AC = aleta caudal; APD = aleta pectoral derecha; API = aleta pectoral izquierda.

Combinación de secciones	Clases de confianza
C,DCR,DCE,	1 - Confianza baja a moderada
C,DCR,DCE,API,	1 - Confianza baja a moderada
C,DCR,DCE,APD,	1 - Confianza baja a moderada
C,DCR,DCE,APD,API,	1 - Confianza baja a moderada
C,DCR,DCE,DCA,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,DCA,API,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,DCA,APD,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,DCA,APD,API,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,P,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,P,API,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,P,APD,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,P,APD,API,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,AC,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,AC,API,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,AC,APD,	2 - Confianza moderada
C,DCR,DCE,AC,APD,API,	2 - Confianza moderada

C,DCR,DCE,P,AC	3 - Confianza moderada a alta
C,DCR,DCE,P,AC,APD,	3 - Confianza moderada a alta
C,DCR,DCE,P,AC,APD,API,	3 - Confianza moderada a alta
C,DCR,DCE,DCA,P,	3 - Confianza moderada a alta
C,DCR,DCE,DCA,AC,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,DCA,P,API,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,DCA,P,APD,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,DCA,AC,API,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,DCA,AC,APD,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,DCA,P,APD,API,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,DCA,AC,APD,API,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,P,AC,API,	4 - Confianza alta
C,DCR,DCE,DCA,P,AC,	5 - Confianza muy alta
C,DCR,DCE,DCA,P,AC,APD,	5 - Confianza muy alta
C,DCR,DCE,DCA,P,AC,API,	5 - Confianza muy alta
C,DCR,DCE,DCA,P,AC,APD,API,	6 - Máxima confianza - visibilidad completa

Diseño de la planilla de registro y material suplementario

Como parte del desarrollo de este protocolo, se diseñó una serie de planillas de evaluación estandarizada destinadas a automatizar el ingreso y la organización de información, reduciendo la subjetividad y errores de registro. Esta herramienta contiene tres hojas de trabajo principales detalladas en el **Anexo C**, las cuales integran campos automáticos que verifican la validez temporal del set, asignan clases de confianza según las secciones visibles y calculan los valores de cada índice a partir de fórmulas preseteadas. De esta forma, permite estandarizar el proceso

de evaluación y contribuye a que los criterios metodológicos se apliquen de forma homogénea entre evaluadores.

2.2.2. Aplicación del protocolo

Se aplicó el protocolo de evaluación visual previamente desarrollado a la base de datos de fotoidentificación del GSM (2019–2024, Arias et al. 2022) con el objetivo de caracterizar la condición física del stock de las BFA que utilizan esta área durante su período reproductivo. La aplicación del protocolo comprendió tres etapas principales: (i) la selección de individuos e imágenes evaluadas dentro de sets de imágenes independientes, (ii) el procedimiento de evaluación de las secciones corporales y (iii) la obtención de los valores finales para cada índice e individuo.

Se incluyeron en el análisis todas las ballenas fotoidentificadas entre 2019 y 2024 que contaron con imágenes clasificadas como CF-1 o CF-2 y que presentaron al menos las secciones corporales C, DCR y DCE visibles. Las evaluaciones se realizaron de forma sistemática siguiendo los criterios establecidos en el protocolo y registrando toda la información obtenida en las planillas desarrolladas para ese fin. Para cada set de imágenes, se identificaron las secciones corporales visibles y se registró la calidad fotográfica de cada una; a partir de ello, el sistema asignó automáticamente la correspondiente clase de confianza según el número y combinación de secciones evaluables. Sobre esta base, se aplicaron los tres índices de condición física (ICC, ICP e ISH) de acuerdo con las escalas y criterios definidos para cada uno, completando la evaluación sección por sección en la hoja “Scoring template” del material suplementario. Los valores finales de cada índice por set se obtuvieron a partir de estas evaluaciones y se integraron en la hoja “Overall indices”, que consolida los valores finales. Paralelamente, toda la información detallada de cada sección corporal quedó registrada en la

hoja “All sections evaluated”, conformando una base de datos unificada y coherentes para su posterior análisis estadístico.

2.3. Análisis de datos

Todos los análisis estadísticos y la visualización de resultados se realizaron en el entorno estadístico R (R Core Team 2024) utilizando RStudio (Posit Team 2024). El procesamiento de datos y la visualización gráfica se llevaron a cabo principalmente mediante los paquetes *tidyverse* (Wickham et al. 2019) y *ggplot2* (Wickham 2016).

2.3.1. Variación temporal de los índices de condición física

Con el objetivo de analizar posibles variaciones interanuales en la condición física de los individuos, se compararon los valores medios del ICC, ICP e ISH a lo largo del período 2019–2024. Para el ICC, dado su carácter binario (1 = buena condición; 2 = mala condición), se aplicó una prueba de chi-cuadrado de independencia a fin de evaluar si la proporción de individuos con cada categoría de condición corporal difería significativamente entre años. En el caso de los índices continuos ordinales (ICP e ISH), se empleó la prueba de Kruskal–Wallis (KW). Además, para el ICC se estimaron las proporciones de individuos en cada categoría (1 = buena, 2 = mala), mientras que para los ICP e ISH se calcularon los estadísticos descriptivos básicos (media, desviación estándar, mínimo y máximo). Las tendencias interanuales se representaron gráficamente mediante líneas de tendencia con intervalos de confianza del 95 %.

2.3.2. Análisis de asociación entre índices de condición física

Con el objetivo de evaluar si los índices desarrollados—ICC, ICP e ISH—representan componentes complementarios de la condición física y explorar posibles asociaciones entre ellos, se analizaron las relaciones entre pares de índices utilizando únicamente los sets de imágenes en los que los tres índices pudieron ser aplicados de manera simultánea. Dado que el

ICC es una variable binaria (1 = buena condición corporal; 2 = mala condición corporal) y que el ICP y el ISH corresponden a variables continuas con valores entre 1 y 4, se realizaron comparaciones entre categorías de ICC para los valores de ICP e ISH mediante pruebas no paramétricas de Wilcoxon. Asimismo, se evaluó la asociación entre ICP e ISH mediante correlaciones de Spearman.

2.3.3. Modelado de los índices de condición física

Se construyeron modelos lineales generalizados (GLM) para evaluar los factores que explican la variación en los índices de condición física—ICC, ICP e ISH—, ajustados de manera independiente para cada índice, utilizando la función *glm()* del paquete *stats* de R. Los resúmenes de los modelos y las tablas de resultados (coeficientes, errores estándar, odds ratios, valores p e intervalos de confianza) se obtuvieron utilizando el paquete *broom* de R (Robinson et al. 2023). En todos los casos, los análisis se realizaron a nivel de set de imágenes, considerando una única observación por individuo y período.

Como variables explicativas comunes se incluyeron el día del año (DDA, continua), el año (A, categórica), la clase reproductiva (CR, categórica) y la clase de edad (CE, categórica). La variable Sexo fue excluida de los modelos debido a su elevada proporción de datos faltantes, y se eliminaron los registros clasificados como Desconocido para alguna de las variables explicativas. Inicialmente, se ajustó una estructura de modelo saturada que incluyó todas las interacciones de primer orden entre las variables $[(DDA + A + CR + CE)^2]$. Posteriormente, se aplicó un procedimiento de selección de modelos por pasos basado en el criterio de información de Akaike (AIC), en dirección “both”, con el objetivo de identificar la estructura más parsimoniosa y con mayor soporte según los datos. La evaluación del ajuste de los modelos y las métricas empleadas para la interpretación se detallan a continuación para cada índice, de acuerdo con la naturaleza de la variable respuesta.

2.3.3.1. Evaluación de la condición corporal

Se construyó un GLM con distribución binomial y función de enlace logit para evaluar la condición corporal, utilizando como variable respuesta binaria el ICC (ICC: 0 = buena condición; 1 = mala condición), derivada de sus valores originales (1 = buena, 2 = mala). A partir del modelo más parsimonioso se estimaron los coeficientes, sus odds ratios y los intervalos de confianza al 95%, con el fin de facilitar la interpretación biológica de los efectos. La bondad de ajuste se evaluó mediante la devianza residual, el pseudo- R^2 de McFadden calculado con el paquete *pscl* (Jackman 2020) y el área bajo la curva ROC (AUC), estimada con el paquete *pROC* (Robin et al. 2011). Asimismo, se verificó la ausencia de colinealidad entre predictores mediante el factor de inflación de la varianza (VIF), implementado con el paquete *car* (Fox & Weisberg 2019). Finalmente, se generaron curvas de predicción con intervalos de confianza del 95% que describen la probabilidad de presentar mala condición corporal a lo largo del año, diferenciadas por clase de edad y clase reproductiva. Como complemento descriptivo, se calcularon las proporciones de individuos en buena y mala condición corporal por clase de edad y clase reproductiva, con el objetivo de caracterizar la distribución general de la condición corporal y respaldar las tendencias inferidas por el modelo.

2.3.3.2. Evaluación de la condición de la piel

Se construyó un GLM con distribución normal para evaluar la condición de la piel, utilizando como variable respuesta continua el ICP. A partir del modelo óptimo se estimaron los coeficientes (β), errores estándar y valores p asociados a cada predictor. La capacidad explicativa se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2) y su versión ajustada (R^2_{adj}), así como a través de los errores medios de predicción —el error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). Estos índices reflejan la magnitud promedio del error de las predicciones en la escala del ICP, penalizando en mayor (RMSE) o menor (MAE) grado los

desvíos grandes. Además, se generaron curvas de predicción con intervalos de confianza del 95% para describir la variación del ICP a lo largo de la temporada reproductiva, diferenciadas por clase de edad.

Se calculó la proporción de individuos con al menos una sección corporal afectada por al menos una lesión cutánea. Con el fin de evaluar si el número de secciones lesionadas por ballena aumenta proporcionalmente con el número de secciones visibles, se analizó la relación entre ambas variables mediante un GLM con distribución Poisson y función de enlace logarítmica. Se consideró el número de secciones lesionadas por individuo como variable respuesta, y el número de secciones visibles como variable explicativa. Adicionalmente, se calculó la proporción de las categorías de cobertura de lesiones (<25%, 25-75%, >75%) por sección corporal en aquellas en las que se encontró al menos una lesión. La consistencia del patrón de cobertura entre las distintas secciones corporales se evaluó mediante un test de chi-cuadrado (χ^2) o un test exacto de Fisher en los casos donde se presentaron frecuencias bajas.

Se registró la proporción de individuos con al menos una sección corporal afectada por la presencia de ciámidos (*C. erratycus*). Además, se calcularon las proporciones de secciones evaluadas que presentaron ciámidos en presencia y ausencia de lesiones, para poder explorar si la presencia de ciámidos co-ocurre con lesiones cutáneas. Para esto, se construyó una tabla 2×2 (lesión presente/ausente $\times$ ciámidos presente/ausente) a nivel de sección corporal y se aplicó chi-cuadrado con corrección de Yates o test exacto de Fisher cuando hubo conteos bajos. Las métricas de desempeño se obtuvieron utilizando el paquete *performance* (Lüdtke et al. 2021).

2.3.3.3. Evaluación de la severidad de las heridas

Se construyó un GLM con distribución Gamma y función de enlace logarítmica para evaluar la severidad de heridas, utilizando como variable respuesta continua el ISH. Para cada set de imágenes se determinó la presencia o ausencia de heridas visibles, registradas por sección

corporal. Se consideró que un set presentaba afectación cuando al menos una de las secciones analizadas evidenció alteraciones compatibles con heridas. Se generaron curvas de predicción con intervalos de confianza del 95% para describir la variación del ISH a lo largo de la temporada reproductiva según la clase reproductiva.

En los sets con presencia de heridas, se calcularon las frecuencias y proporciones de los distintos tipos registrados, considerando una única ocurrencia por tipo dentro de cada set para evitar duplicaciones entre secciones. Los registros con datos faltantes en las variables necesarias para cada contraste fueron excluidos del análisis. Además, se obtuvieron calcularon frecuencias y proporciones para el tipo de herida predominante (infligidas por gaviotas) considerando la distribución corporal (por sección), profundidad del daño, y proporción de la sección afectada por la herida.

Se evaluó si la ocurrencia de heridas infligidas por gaviotas varía a lo largo de la temporada reproductiva y entre clases reproductivas, a partir de los registros de heridas de gaviota en cada sección corporal. La variable respuesta se definió como binaria, indicando la presencia (1) o ausencia (0) de heridas de dicho tipo. Se utilizó un test exacto de Fisher para evaluar diferencias en la proporción de individuos afectados entre clases reproductivas—hembras con cría e individuos sin cría. Adicionalmente, se evaluó la tendencia temporal en la probabilidad de presentar heridas mediante un GLM con distribución binomial y enlace logit, utilizando como predictores el día del año y la clase reproductiva, incluyendo su interacción para explorar posibles diferencias en la variación temporal entre grupos.

2.4. Análisis de robustez del protocolo

2.4.1. Análisis de sensibilidad al número de secciones visibles

Se realizó un análisis de sensibilidad destinado a cuantificar la variación del valor promedio de los índices de condición física frente a la disponibilidad de secciones corporales visibles y testear el criterio previamente establecido, que exige un mínimo de tres secciones visibles para considerar evaluable un set de imágenes. El análisis se aplicó únicamente a ICP e ISH, ya que ambos pueden estimarse sobre todas las secciones corporales.

Para cada set de imágenes, se organizó una base de datos en formato “ancho”, donde las columnas correspondieron a las secciones corporales (C, DCR, DCE, DCA, P, AC, APD y API) y las filas a cada set. A partir de estas matrices, en primer lugar, se obtuvo el valor “real” del índice para cada set, utilizando todas las secciones visibles disponibles. Luego, para cada set, se generaron todas las posibles combinaciones de secciones visibles tomando $n = 1, 2, 3 \dots 8$, y se recalculó el índice usando únicamente las secciones incluidas en cada una de esas combinaciones. Para cada n , se evaluó cómo cambió el valor de los índices cuando la cantidad de información se reduce a partir de un conjunto de promedios parciales. Para cada caso, se estimó la proporción de combinaciones en las que la diferencia relativa entre el valor real y el valor parcial fue $\leq 10\%$, definida como nivel de confianza (indicador de la sensibilidad del promedio del índice frente al número de secciones visibles).

2.4.2. Evaluación de la sensibilidad del sistema de clasificación de condición corporal

Con el objetivo de evaluar la sensibilidad del sistema de clasificación de formas de secciones propuesto —basado en la observación conjunta de las secciones dorso-craneal (DCR) y dorso-central (DCE)— se analizó si las combinaciones morfológicas definidas reflejan los cambios esperados en la condición corporal a lo largo de la temporada reproductiva. Se asumió que, con el avance de la temporada, los individuos tienden a experimentar una disminución en el espesor

graso subcutáneo como consecuencia del gasto energético asociado a la reproducción y ayuno durante el período reproductivo (Christiansen et al. 2023), lo cual se traduce en una transición progresiva desde formas más redondeadas hacia perfiles más angulares o cónicos.

Para verificar esta tendencia, se empleó un modelo multinomial ajustado mediante la función *multinom()* del paquete *nnet* de R (Venables et al. 2001), considerando como variable respuesta la combinación morfológica observada entre las secciones DCR y DCE, y como variable explicativa continua el día del año. Cada set de imágenes fue representado por una única observación, compuesta por las formas clasificadas en ambas secciones. Las combinaciones posibles se ordenaron según un gradiente teórico de condición corporal decreciente: (i) Ligeramente redondeado–Ligeramente redondeado, (ii) Ligeramente redondeado–Rectangular, (iii) Rectangular–Rectangular, (iv) Rectangular–Cónico, y (v) Cónico–Cónico.

La significancia estadística de los coeficientes se evaluó mediante el estadístico *z* y sus valores *p* asociados. A partir del modelo ajustado, se calcularon las probabilidades predichas y sus intervalos de confianza del 95% mediante un procedimiento de bootstrap no paramétrico con 500 réplicas, a fin de obtener estimaciones robustas sin incrementar innecesariamente el costo computacional (Efron & Tibshirani 1993).

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de datos

Las evaluaciones de la condición física de BFA se realizaron a partir de 1.955 imágenes de 302 sets pertenecientes a individuos juveniles y adultos obtenidas entre 2019 y 2024, que cumplieron con los criterios previamente establecidos de selección de imágenes. Estos registros representan el 69,0% de las ballenas fotoidentificadas en dicho período. El 14,6% (n=44) de los

sets de imágenes incluyen más de una observación, con un intervalo promedio de 6,8 días entre el primer y último registro (DE= 5,6; rango = 1–17 días).

De los 302 sets de imágenes analizados, la identificación del sexo fue posible en una proporción reducida de los casos (28,5%), con un predominio de hembras entre los individuos sexados. Tanto la clase reproductiva como la clase de edad pudieron determinarse en la mayoría de los casos, correspondiendo al 93,7% en la primera, en su mayoría individuos sin cría, y al 83,5% en la segunda, observándose una mayor representación de individuos juveniles. En cuanto a la cobertura corporal, la mayoría de los sets presentó entre cuatro y seis secciones visibles, lo que se reflejó en una alta proporción de clases de confianza intermedias (clases 2 y 5). Solo un bajo porcentaje de los sets incluyó la totalidad del cuerpo visible. El ISH fue el más ampliamente aplicable, pudiendo evaluarse en el 97,0% de los casos, y presentó valores bajos y poco variables en el conjunto del período analizado. Asimismo, el ICC pudo evaluarse en la mayoría de los casos (86,4%), con un predominio de individuos clasificados en buena condición corporal. En contraste, el ICP solo pudo estimarse en aproximadamente la mitad de los sets, reflejando los mayores requerimientos de calidad y cobertura fotográfica de este índice (Tabla 9).

Tabla 9. Características generales de los sets de imágenes analizados.

Bloque A. Información biológica			
Variable	Categoría	n	%
Sexo	Hembras	50	58,2
	Machos	36	41,8
	Total	86	28,5
Clase reproductivas	Hembras con cría	25	8,9
	Individuos sin cría	258	91,1
	Total	283	93,7
Clase de edad	Juveniles	117	70,2
	Adultos	75	29,8
	Total	252	83,5
Bloque B. Cobertura corporal y clases de confianza			
Variable	Categoría	n	%
Número de secciones visibles	3	48	15,9
	4	106	35,1
	5	65	21,5
	6	61	20,2
	7	18	6,0
	8	4	1,3
Clases de confianza	1	53	17,5
	2	115	38,1
	3	29	9,6

	4	37	12,3	
	5	64	21,2	
	6	4	1,3	
Bloque C. Aplicabilidad y distribución de índices				
Variable	Sets evaluables (%)	n	Media ± DE	Rango
ICC	86,4	261	-	1-2
ICP	50,7	153	1,39 ± 0,45	1,00-3,25
ISH	97,0	293	1,01 ± 0,07	1,00-1,75

3.1.1. Variación temporal de los índices de condición física

No se observaron diferencias significativas a través de los años en la proporción de sets de imágenes de individuos con ICC = 1 e ICC = 2 (chi-cuadrado, $p = 0,579$), ni en los valores medios anuales obtenidos para ICP (media = 1,25; KW, $p = 0,131$) e ISH (media = 1,01; KW, $p = 0,711$). Las tendencias reflejan una variación interanual limitada, lo que indica una condición física general estable a lo largo del período analizado (Figura 4; Tabla 10).

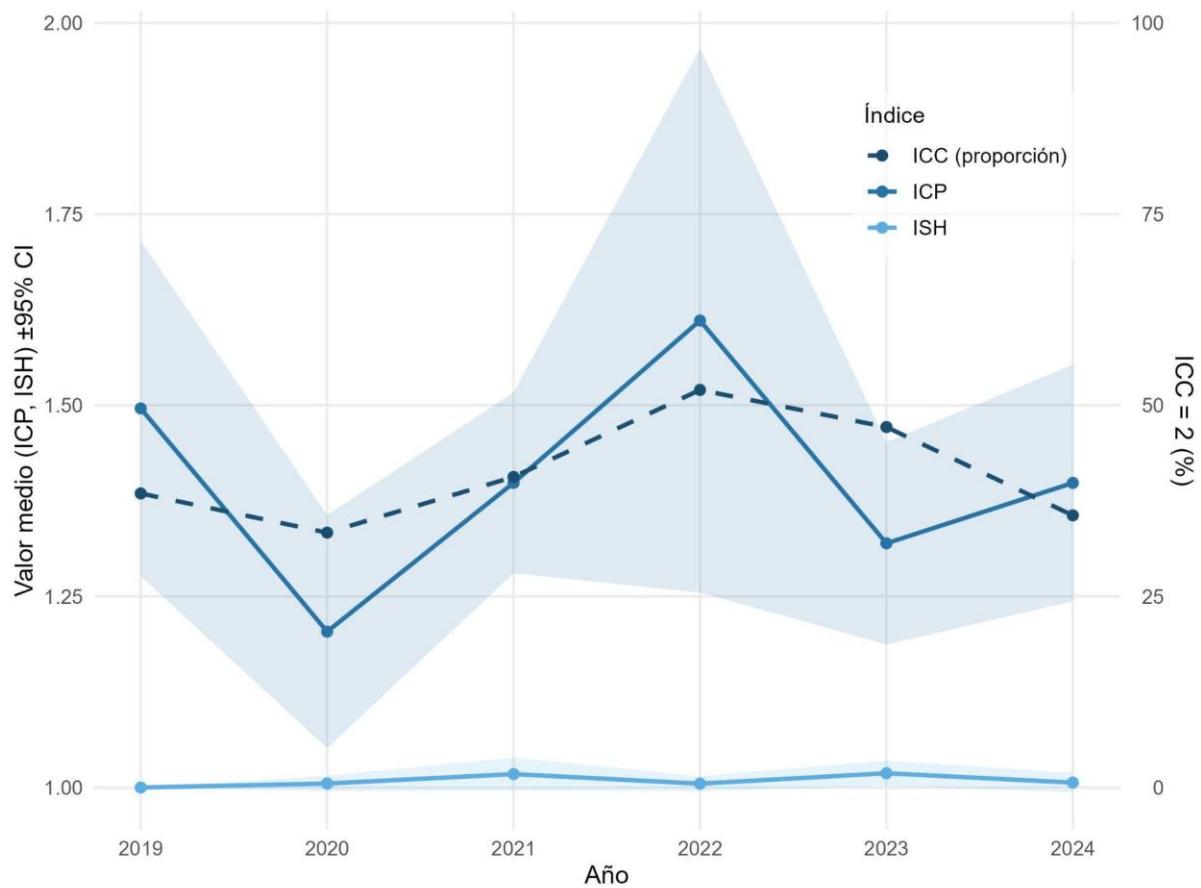


Figura 4. Variación interanual de los índices de condición física para BFA en el GSM entre 2019 y 2024. Las líneas continuas corresponden a los valores medios anuales de los ICP e ISH, mostrados en el eje izquierdo. La línea punteada (ICC) representa la proporción de sets de imágenes de individuos con ICC = 2, mostrada en el eje derecho. Las bandas sombreadas indican los intervalos de confianza del 95% para ICP e ISH.

Tabla 10. Frecuencia y proporción de sets de imágenes de individuos con mala condición corporal (ICC = 2) y valores medios anuales ($\pm$ DE) de los ICP e ISH de BFA en el GSM entre 2019 y 2024.

Año	ICC			ICP			ISH		
	n total	n ICC= 2	% ICC= 2	n	media	DE	n	media	DE
2019	13	5	38,5	8	1,50	0,32	12	1,00	0,00
2020	30	10	33,3	17	1,20	0,32	32	1,00	0,03
2021	64	26	40,6	43	1,40	0,40	73	1,02	0,09
2022	25	12	48,0	14	1,61	0,68	33	1,00	0,03
2023	70	33	47,1	31	1,32	0,38	81	1,02	0,08
2024	59	20	33,9	40	1,40	0,50	62	1,01	0,05
Total	261	106	40.6	153	1,39	0,45	293	1,01	0,07

3.1.2. Asociación entre índices de condición física

Se evaluó el 69% de los sets de imágenes analizados ($n = 131$), correspondientes a aquellos registros en los que fue posible estimar simultáneamente el ICC, el ICP y el ISH. No se detectaron diferencias significativas en los valores de ICP entre individuos con buena (ICC = 1) y mala condición corporal (ICC = 2; Wilcoxon, $p = 0,628$). De manera similar, los valores de ISH no difirieron significativamente entre ambas categorías de ICC (Wilcoxon, $p = 0,080$). Asimismo, no se observó correlación entre los valores de ICP e ISH (Spearman, $\rho = -0,01$; $p = 0,910$).

3.1.3. Evaluación de la condición corporal

El análisis comparativo de modelos indicó que el modelo que incluyó el día del año, la clase reproductiva y la clase de edad obtuvo el mayor soporte para explicar la probabilidad de mala condición corporal en los sets de imágenes ($AIC = 279,47$; devianza = 271,47; $gl = 210$; Tabla 11). Este modelo presentó un peso de evidencia $w = 0,71$, mientras que el modelo que incluyó además la interacción entre clase reproductiva y clase de edad mostró un peso moderado ($\Delta AIC = 1,83$; $w = 0,29$). Ambos modelos fueron considerados estadísticamente equivalentes ($\Delta AIC < 2$), aunque el modelo sin interacciones se consideró más parsimonioso y fue retenido para la interpretación. Los modelos restantes, con estructuras más complejas, presentaron un soporte despreciable ($\Delta AIC > 10$; $w \approx 0$). En términos de capacidad explicativa, el modelo final explicó aproximadamente un 12,0% de la variabilidad en la probabilidad de mala condición corporal (pseudo- R^2 de McFadden = 0,12) y presentó una capacidad discriminante moderada ($AUC = 0,74$), lo que indica que las variables consideradas capturan parte relevante, aunque no la totalidad, de los factores que determinan la condición corporal de los individuos en cada set.

Tabla 11. Modelos evaluados para explicar la probabilidad de mala condición corporal (BC = 2) en BFA, considerando como variables explicativas el día del año (DDA), el año (A), la clase reproductiva (CR) y la clase de edad (CE). Los modelos se ordenaron según el soporte dado por los datos, considerando el criterio de información de Akaike (AIC). Además, se indica la devianza residual, la diferencia en AIC (ΔAIC) respecto al mejor modelo y el peso de cada modelo (w).

Modelo	Predictores incluidos	Devianza	AIC	ΔAIC	w
1	DDA + CR + CE	271,47	279,47	0,00	0,71
2	DDA + CR + CE + CR:CE	271,30	281,30	1,83	0,29
3	DDA + CR + CE + DDA:CR + DDA:CE + CR:CE	266,70	293,68	14,21	0,00
4	(DDA + A + CR + CE) ^ 2	259,27	309,27	29,80	0,00

Los resultados indicaron un efecto positivo, aunque no significativo, del día del año ($\beta = 0,009$; $p = 0,06$), evidenciando una tendencia al deterioro progresivo de la condición corporal a medida que avanza la temporada reproductiva en todos los grupos analizados (Figura 5). En términos de odds ratio, esto implica un incremento aproximado del 0,9 % en la probabilidad de mala condición por cada día adicional de la temporada ($OR = 1,01$; $IC95\% = 1,00-1,02$). La clase de edad mostró un efecto significativo ($p = 0,02$), con los juveniles presentando una menor probabilidad de mala condición en comparación con los adultos ($OR = 0,45$; $IC95\% = 0,22-$

0,90). En tanto, la clase reproductiva presentó una tendencia no significativa ($p = 0,07$), indicando que los individuos sin cría tendían a encontrarse en mejor condición corporal que las hembras con cría ($OR = 0,37$; $IC95\% = 0,12-1,06$).

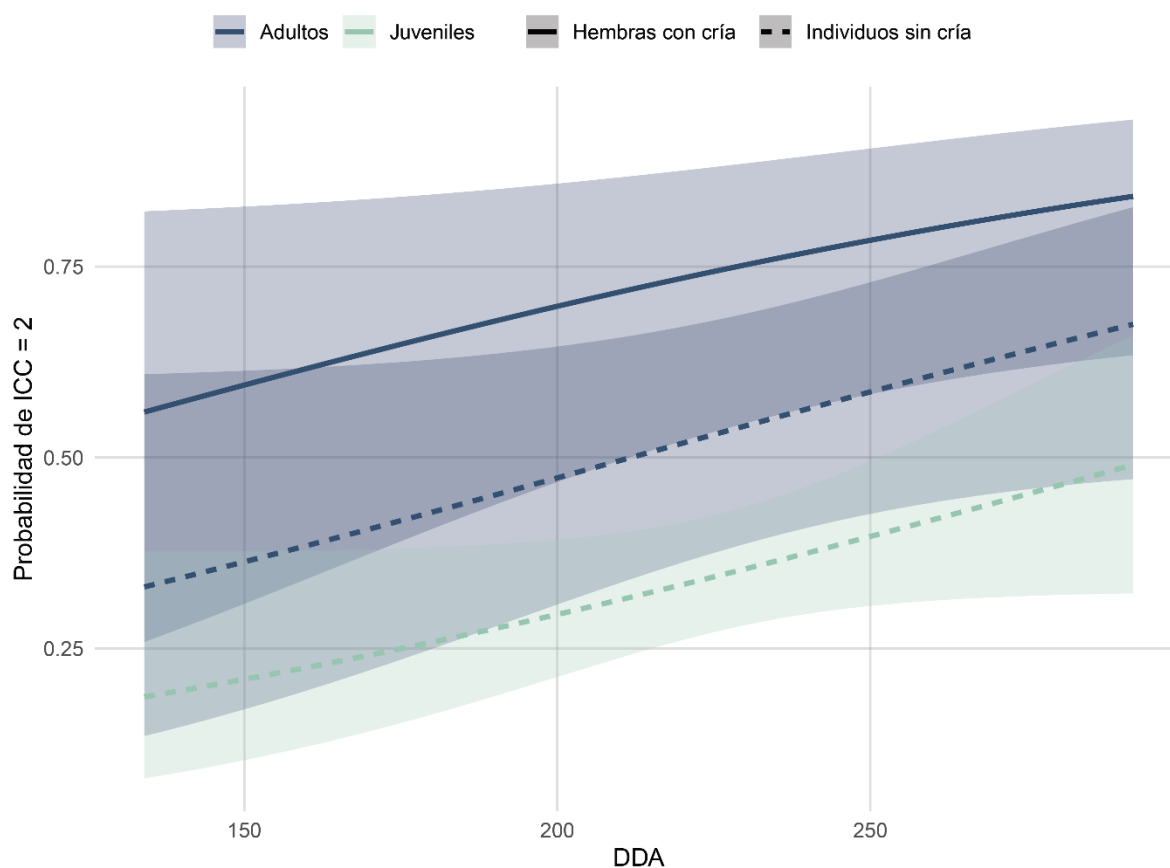


Figura 5. Curvas de predicción de la probabilidad de mala condición corporal ($ICC = 2$) en función del día del año (DDA), separadas por clase de edad (adultos, juveniles) y clase reproductiva (hembras con cría, individuos sin cría). Las bandas representan $IC95\%$.

De manera complementaria, las proporciones observadas en los datos respaldaron las tendencias inferidas por el modelo. Entre los adultos, el 62,9% de los registros correspondió a mala condición corporal ($n = 39$), mientras que en los juveniles predominó la buena condición (64,8%; $n = 105$). Por otro lado, las hembras con cría fueron el grupo más afectado, con un 75%

en mala condición ($n = 18$), en contraste con los individuos sin cría, entre los cuales prevaleció la buena condición (61,7%; $n = 145$; Figuras 6 y 7).

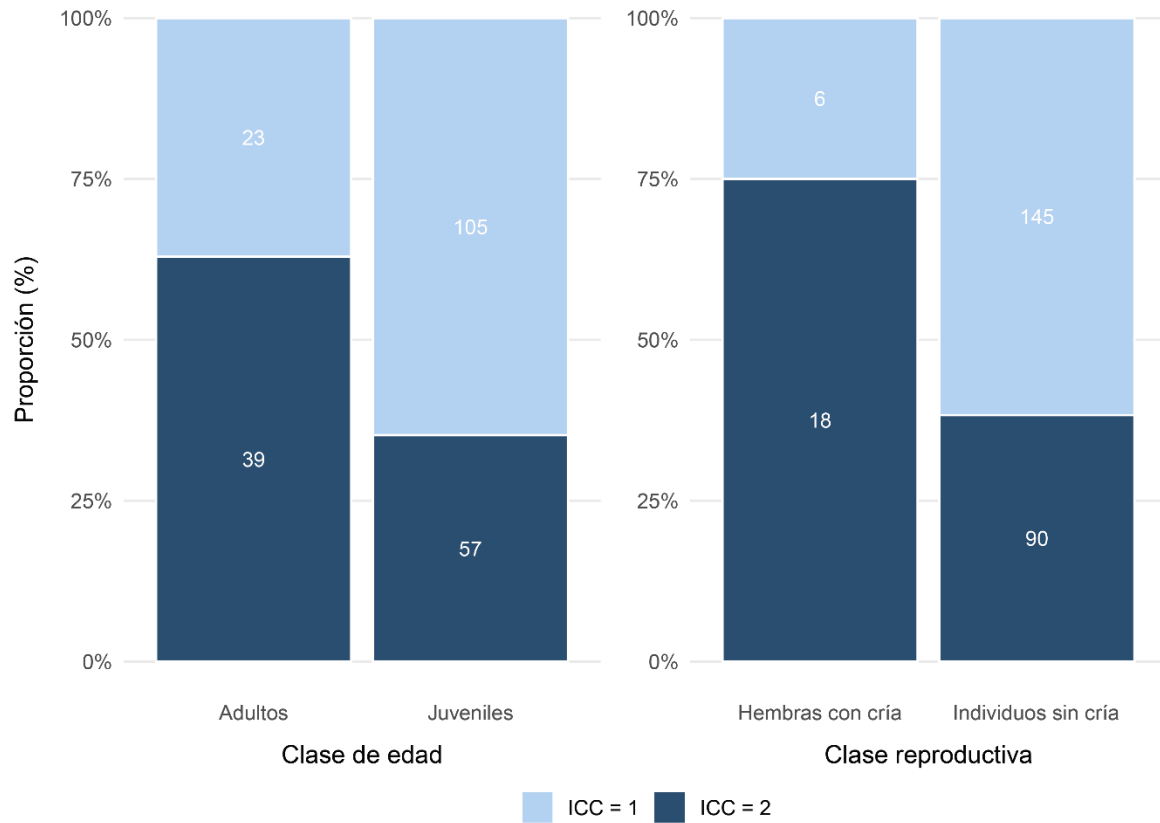


Figura 6. Distribución de la condición corporal (ICC) de BFA. (a) Proporción sets de imágenes de individuos con buena (ICC = 1, azul) y mala condición corporal (ICC = 2, rosa) según la clase de edad (juveniles y adultos). (b) Proporción según la clase reproductiva (hembras con cría e individuos sin cría). Los valores dentro de las barras indican el número de sets evaluados por categoría.

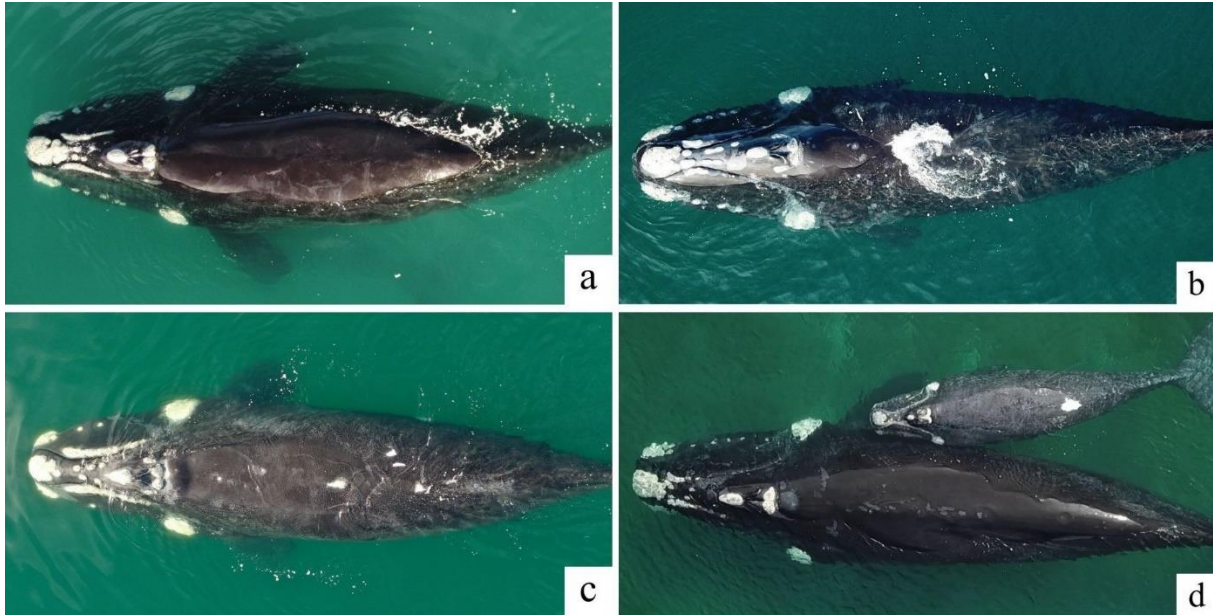


Figura 7. Ejemplos de BFA evaluadas según clase de edad (arriba) y clase reproductiva (abajo). Arriba: individuos sin cría —(a) juvenil en buena condición corporal (ICC = 1) y (b) adulto en mala condición corporal (ICC = 2). Abajo: (c) individuo sin cría en buena condición corporal (ICC = 1) y (d) hembra con cría en mala condición corporal (ICC = 2).

3.1.4. Evaluación de la condición de la piel

El análisis comparativo de modelos indicó que el modelo que incluyó el día del año, el año de observación, la clase de edad y la interacción entre el día del año y el año presentó el mayor soporte para explicar la variación en el ICP observada en los sets de imágenes (AIC = 141,54; devianza = 20,65; gl = 117; Tabla 12). Este modelo presentó el mayor peso de evidencia ($w = 0,50$), seguido por el modelo que además incluyó la clase reproductiva ($\Delta AIC = 0,86$; $w = 0,33$). Ambos modelos fueron considerados estadísticamente equivalentes ($\Delta AIC < 2$), aunque el modelo sin la clase reproductiva se consideró más parsimonioso y fue retenido para la interpretación. Los modelos restantes, con estructuras más complejas, presentaron progresivamente menor soporte (modelo 3, $\Delta AIC = 2,25$, $w = 0,16$; modelo 4, $\Delta AIC = 7,2$, $w = 0,01$). En términos de capacidad explicativa, el modelo seleccionado explicó

aproximadamente un 8,0% de la variación total ($R \approx 0,08$; R^2 ajustado $\approx 0,05$). El error medio de predicción fue $RMSE \approx 0,41$ y $MAE \approx 0,31$ en la escala de ICP, indicando una precisión moderada del modelo en la estimación de la condición de la piel.

Tabla 12. Modelos evaluados para explicar la variación en la condición de la piel (ICP) en BFA, considerando como variables explicativas el día del año (DDA), el año (A), la clase reproductiva (CR) y la clase de edad (CE). Los modelos se ordenaron según el soporte dado por los datos, considerando el criterio de información de Akaike (AIC). Además, se indica la devianza residual, la diferencia en AIC (ΔAIC) respecto al mejor modelo y el peso de cada modelo (w).

Modelo	Predictores incluidos	Devianza	AIC	ΔAIC	w
1	DDA + A + CE + DDA:A	20,65	141,54	0,00	0,55
2	DDA + A + CR + CE + DDA:A	20,46	142,40	1,83	0,36
3	M2 + A:CE	20,03	143,79	14,21	0,17
4	(DDA + S + CR + CE) ^ 2	19,86	148,76	29,80	0,01

En términos de efectos, entre los predictores incluidos, solo la clase de edad presentó un efecto estadísticamente significativo ($\beta = 0,24 \pm 0,09$; $p = 0,008$), con individuos juveniles exhibiendo valores de ICP significativamente más altos que los adultos, lo que sugiere una condición de piel relativamente más comprometida en juveniles. Si bien el día del año no mostró efectos

significativos sobre la condición de la piel ($\beta = 0,05 \pm 0,04$; $p = 0,209$), su coeficiente positivo indica una leve tendencia al deterioro de esta condición hacia el final de la temporada reproductiva.

Las curvas de predicción generadas a partir del modelo (Figura 8) mostraron una tendencia general de incremento leve del ICP a lo largo de la temporada, compartida entre clases etarias. Las ballenas juveniles presentaron mayor probabilidad de mala condición de piel a lo largo de toda la temporada, mientras que las adultas mostraron menor probabilidad.

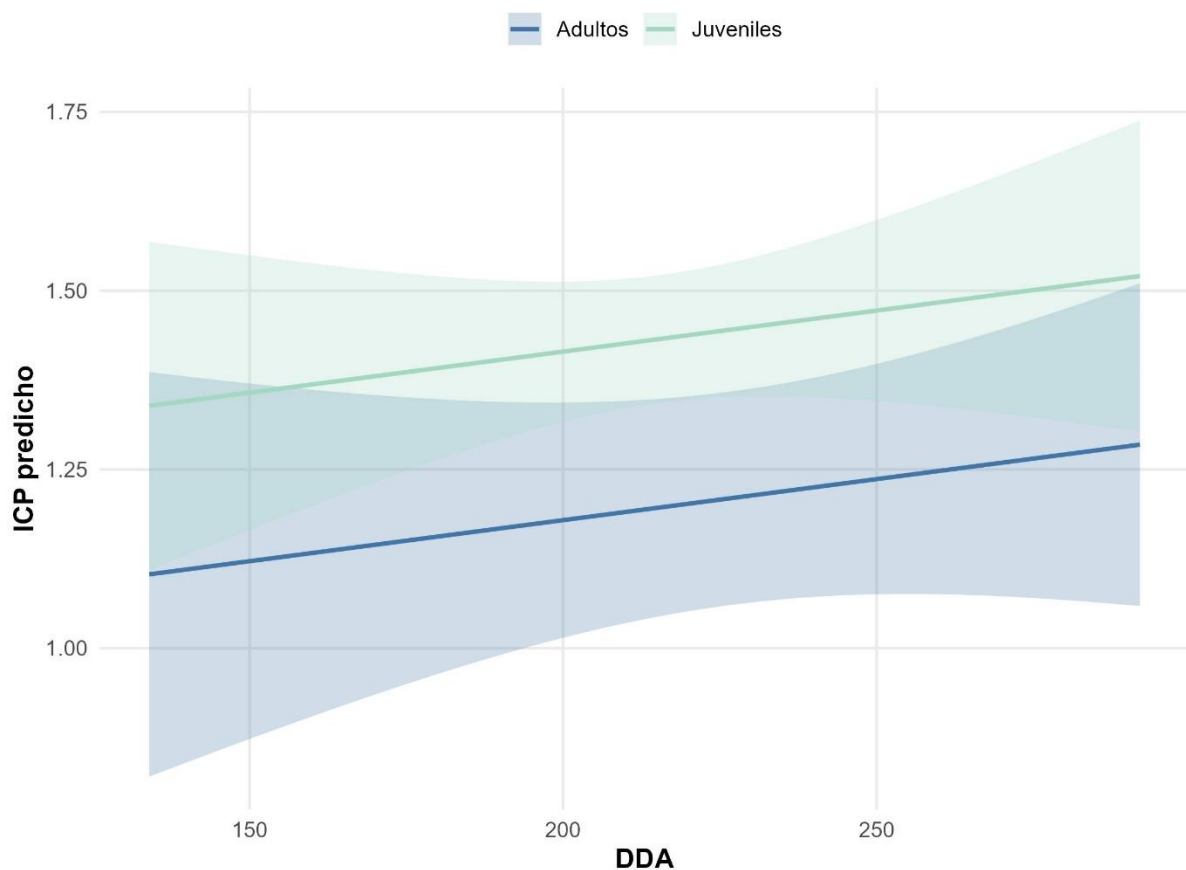


Figura 8. Curvas de predicción de la condición de piel (ICP) en función del día del año (DDA), separadas por clase de edad (adultos y juveniles). Las líneas representan los valores predichos de ICP (1 = buena condición, 4 = mala condición). Las bandas sombreadas corresponden a intervalos de confianza del 95 %.

De los 153 sets de imágenes para los cuales se pudo evaluar el ICP, el 66,0% (n = 101) presentó al menos una lesión cutánea en alguna de las secciones corporales analizadas (Figura 9). En las secciones que presentaron al menos una lesión (n = 192), la cobertura de éstas fue predominantemente baja: el 81,8 % (n = 157) de los casos correspondió a coberturas < 25%, el 17,2% (n = 33) a coberturas intermedias (25–75%) y solo el 1,0 % (n = 2) a coberturas > 75%. Este patrón se mantuvo de manera consistente entre todas las secciones corporales ($\chi^2 = 5,21$; gl = 14; p = 0,98; test exacto de Fisher, p = 1; Figura 10a). Se observó una relación positiva y significativa entre el número de secciones visibles y el número de secciones lesionadas (modelo Poisson, $\beta = 0,27 \pm 0,07$, z = 4,08, p < 0,001; Figura 10b). No se detectó sobre dispersión (disp = 1,12; p = 0,091), indicando un ajuste adecuado del modelo. Por cada sección visible adicional, el número esperado de secciones con lesión aumentó un 31%.

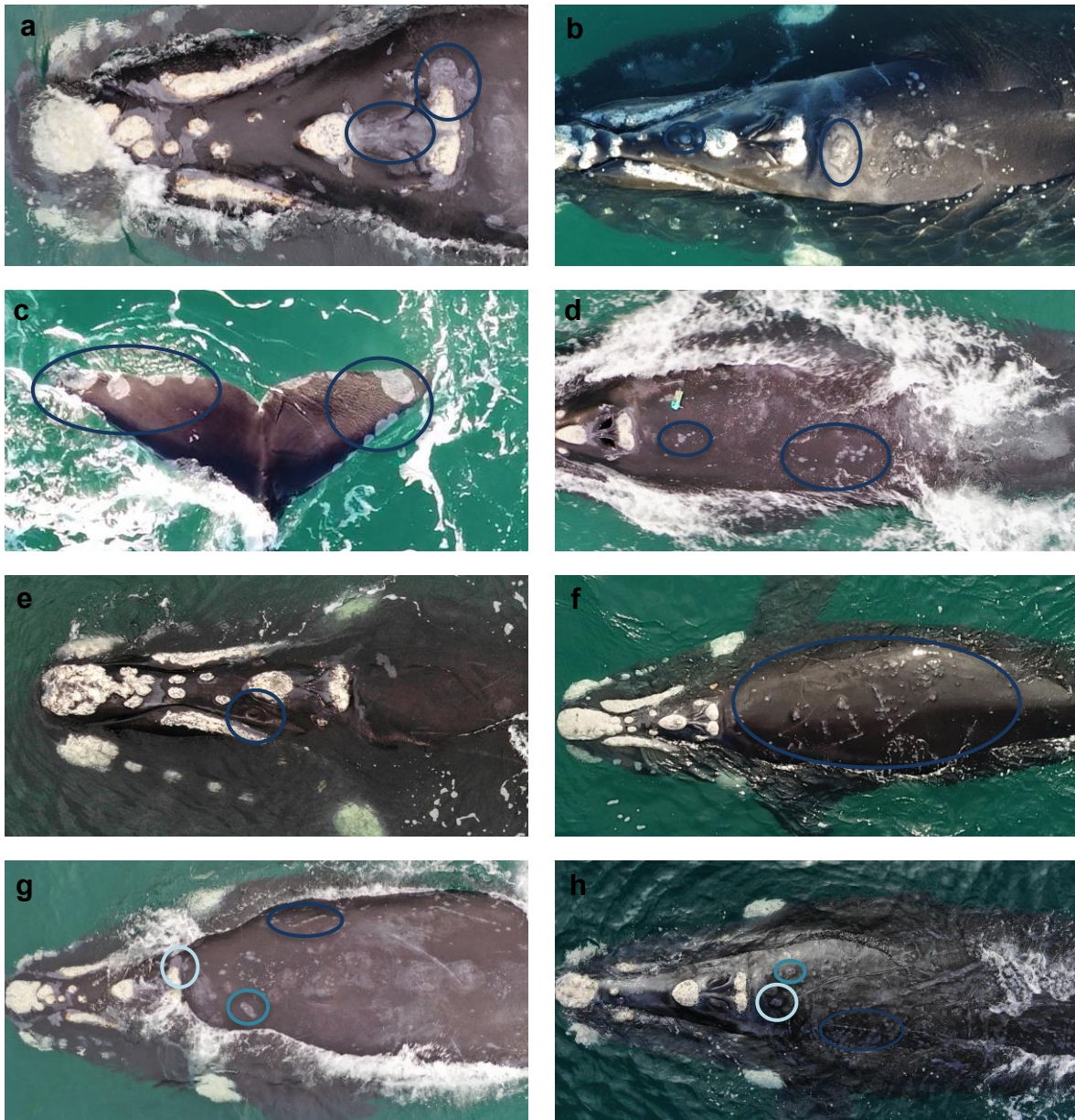


Figura 9. Lesiones cutáneas observadas en BFA registradas en el GSM. (a) ampollas ubicadas en la cabeza, alrededor en la zona de los espiráculos y la callosidad detrás de éstos; (b) agrupaciones de ampollas en la sección dorso-craneal, junto a una ampolla abierta en la cabeza, debajo de la brazola; (c), (d) y (e) lesiones compatibles con poxvirus de los cetáceos, categorizadas como poxvirus-tattoo—típicas marcas grises circulares observadas en la cola de un individuo y las descritas por Fazio (2012) en la sección dorso-craneal, respectivamente—y poxvirus-anillos—lesiones circulares con una apariencia en forma de anillo y centro

ligeramente elevado.; (f) múltiples manchas blancas asociadas a marcas lineales en las secciones dorso-craneal y -central; (g) y (h) individuos con co-ocurrencia de lesiones, ambos presentando manchas blancas asociadas a marcas lineales (azul petróleo) + poxvirus-tattoo (turquesa) + ampollas (celeste claro).

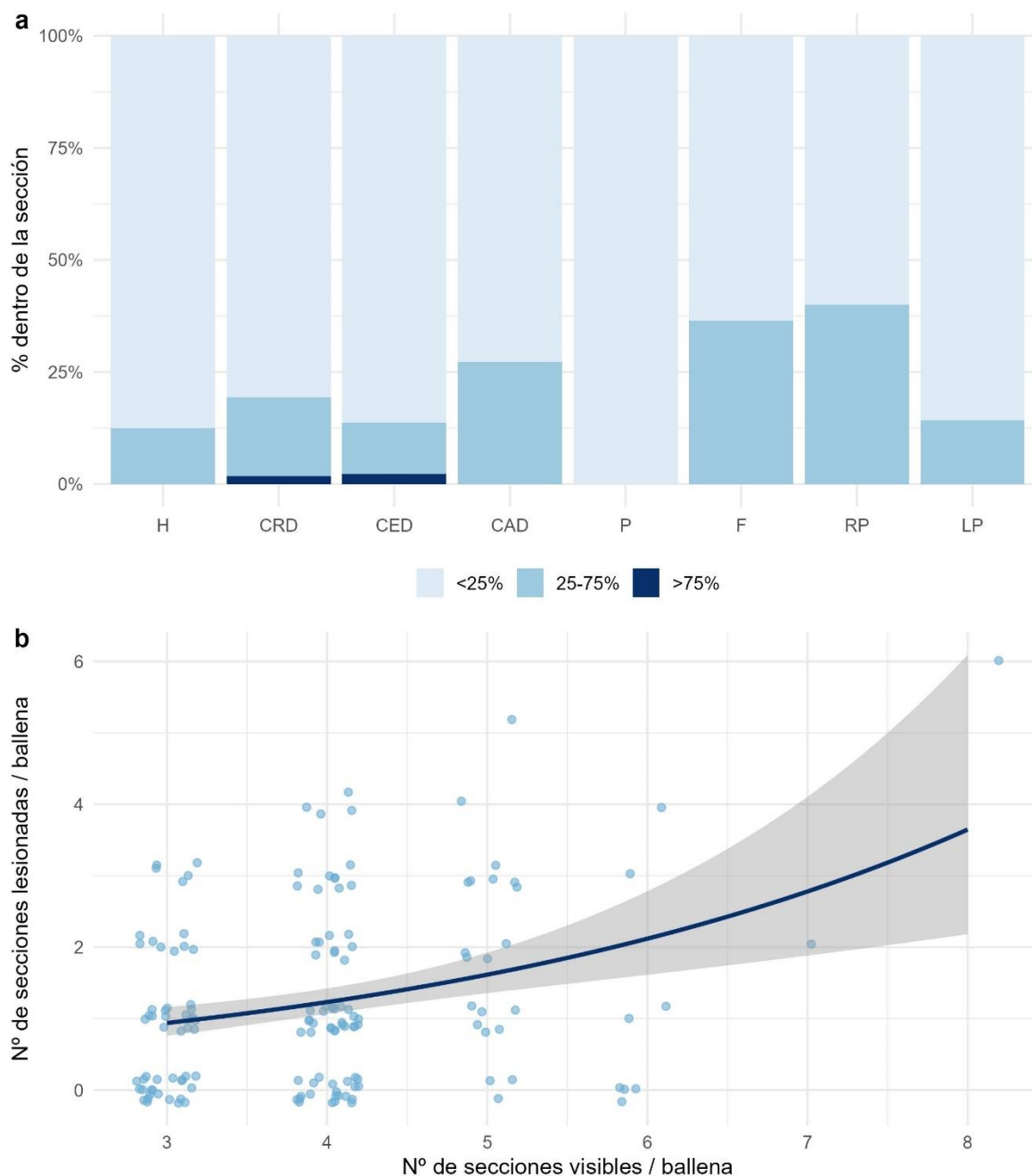


Figura 10. Frecuencia, cobertura y distribución de las lesiones cutáneas registradas en BFA.

(a) Distribución de las categorías de cobertura de las lesiones dentro de cada sección corporal (<25%, 25–75% y >75%). (b) Relación entre el número de secciones visibles y el número de secciones lesionadas por set. C: cabeza; DCR: sección dorso-craneal; DCE: sección dorso-central; DCA: sección dorso-caudal; P: pedúnculo caudal; AC: aleta caudal; APD: aleta pectoral derecha; API: aleta pectoral izquierda.

Por otra parte, de los 153 sets evaluados para ICP, en el 54,2% ($n = 83$) se registró presencia de ciámidos en al menos una sección. De las 192 secciones evaluadas que presentaron lesiones, los ciámidos estuvieron presentes en el 16,1% de los casos ($n = 31$), mientras que de las 411 secciones sin lesión aparente estuvieron presentes en el 15,6% ($n = 64$). Además, la cobertura de ciámidos fue homogénea: en todos los casos correspondió a <25% del área infestada, lo que sugiere que, cuando están presentes, la intensidad de infestación es baja. No se detectó asociación entre la presencia de lesiones y la presencia de ciámidos por sección corporal ($\chi^2 = 5,21$; $gl = 14$; $p = 0,98$; test exacto de Fisher, $p = 1$; Figura 12b), aunque la falta de variación en la cobertura impidió comparar la distribución de coberturas entre secciones con y sin lesiones.

3.1.5. Evaluación de la severidad de las heridas

El análisis comparativo de modelos indicó que el modelo que incluyó el día del año, el año de observación, la clase de edad y la interacción entre el día del año y la clase reproductiva, presentó el mayor soporte para explicar la variación en la severidad de heridas (ISH) de los sets de imágenes de los individuos ($AIC = -742,09$; devianza = 0,46; $gl = 218$; Tabla 13). Los modelos alternativos, con estructuras más complejas, presentaron progresivamente menor soporte ($\Delta AIC > 1$; $w \approx 0$). En términos de capacidad explicativa, el modelo final explicó

aproximadamente un 7,0% de la variación total ($R \approx -0,02$; R^2 ajustado $\approx 0,06$), indicando que existen efectos detectables, pero de magnitud moderada.

De los efectos principales, ninguno mostró efectos significativos en la severidad de las heridas (día del año, $p = 0,21$; año, $p = 0,83$; clase de edad, $p = 0,52$; clase reproductiva, $p = 0,53$). La interacción día del año $\times$ clase reproductiva resultó significativa (DDA $\times$ CR, $p = 0,025$), indicando que la relación temporal entre la severidad de heridas y el progreso de la temporada difiere entre hembras con cría e individuos sin cría. El análisis de coeficientes mostró que los individuos sin cría presentaron valores de ISH esperados aproximadamente 25 % menores que las hembras con cría al inicio de la temporada ($\beta = -0,29 \pm 0,14$; $p = 0,033$; $\exp(\beta) = 0,75$), y que su tendencia temporal fue prácticamente estable ($\beta_{_DDA:CRSinCría} = +0,0014 \pm 0,0006$; $p = 0,027$; Figura 11), sugiriendo que el ISH de individuos sin cría se mantuvo relativamente estable a lo largo de la temporada, en contraste con la mejoría observada en hembras con cría.

Tabla 13. Modelos evaluados para explicar la variación en el ISH en BFA, considerando como variables explicativas el día del año (DDA), el año (Año), la clase reproductiva (CR) y la clase de edad (CE). Los modelos se ordenaron según el soporte dado por los datos, considerando el criterio de información de Akaike (AIC). Además, se indica la devianza residual, la diferencia en AIC (ΔAIC) respecto al mejor modelo y el peso de cada modelo (w).

Modelo	Predictores incluidos	Devianza	AIC	ΔAIC	w
1	A + CE + DDA×CR	-742,09	141,54	0,00	0,99
2	DDA + A + CR + CE	0,49	142,40	10,96	0,00
3	(DDA + A + CR + CE) ²	0,43	143,79	15,38	0,00
4	DDA + A + CR + CE + DDA×A	0,47	148,76	15,40	0,00
5	DDA + A + CR + CE + A×CE	0,48	-723,12	18,97	0,00

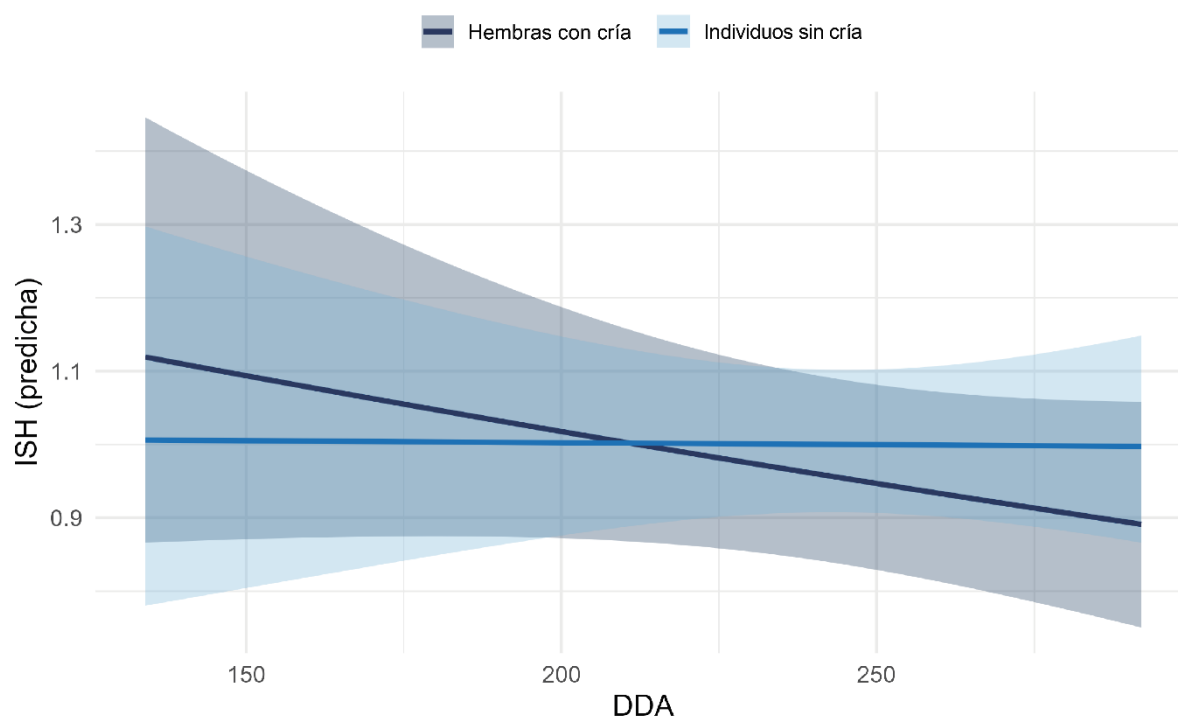


Figura 11. Curvas de predicción del ISH en función del día del año (DDA), separadas por clase reproductiva (CR, hembras con cría e individuos sin cría). Las líneas representan los valores predichos de ISH (1 = buena condición, 4 = mala condición). Las bandas sombreadas corresponden a intervalos de confianza del 95 %.

De los 293 sets de imágenes evaluados para el ISH, en el 66,5 % ($n = 195$) se observaron individuos con al menos una sección corporal con alteraciones compatibles con las heridas descritas en el Anexo B. Las heridas infligidas por gaviotas fueron ampliamente predominantes, detectadas en el 88,7% ($n = 173$) de los casos. En menor proporción, se observaron heridas de origen indeterminado en el 8,2% de los casos ($n = 16$) y todas las demás categorías de heridas se observaron en $\leq 5,0\%$ del total (predación, $n = 10$; múltiples, $n = 7$; colisiones con embarcaciones, $n = 1$; enmallamientos, $n = 3$; asociadas a telemetría, $n = 2$).

Se exploraron los resultados relacionados a heridas infligidas por gaviota por ser mayoritariamente más frecuentes. Se concentraron principalmente en el dorso de los individuos, afectando con mayor frecuencia las secciones CRD (76,3%, n = 132), DCE (71,7%, n=124) y DCA (48,0%, n = 83), mientras que la sección P fue afectada esporádicamente (4,6%, n = 8; Figura 12a). En cuanto a la profundidad, la mayoría de las heridas fueron superficiales y afectaron únicamente la piel (58,5%, n = 203) o ya se encontraron cicatrizadas, mientras que el 41,5% alcanzó la capa de grasa subcutánea (n = 144), sin registrarse heridas que comprometieran tejido muscular ni de mayor profundidad (Figura 12b). La extensión del área afectada también fue reducida: en el 90,8% de las secciones las heridas representaban <25% de la superficie visible y en un 9,2% de los casos entre el 25–50%, sin casos que superaran el 50% de la superficie visible (Figura 12c).

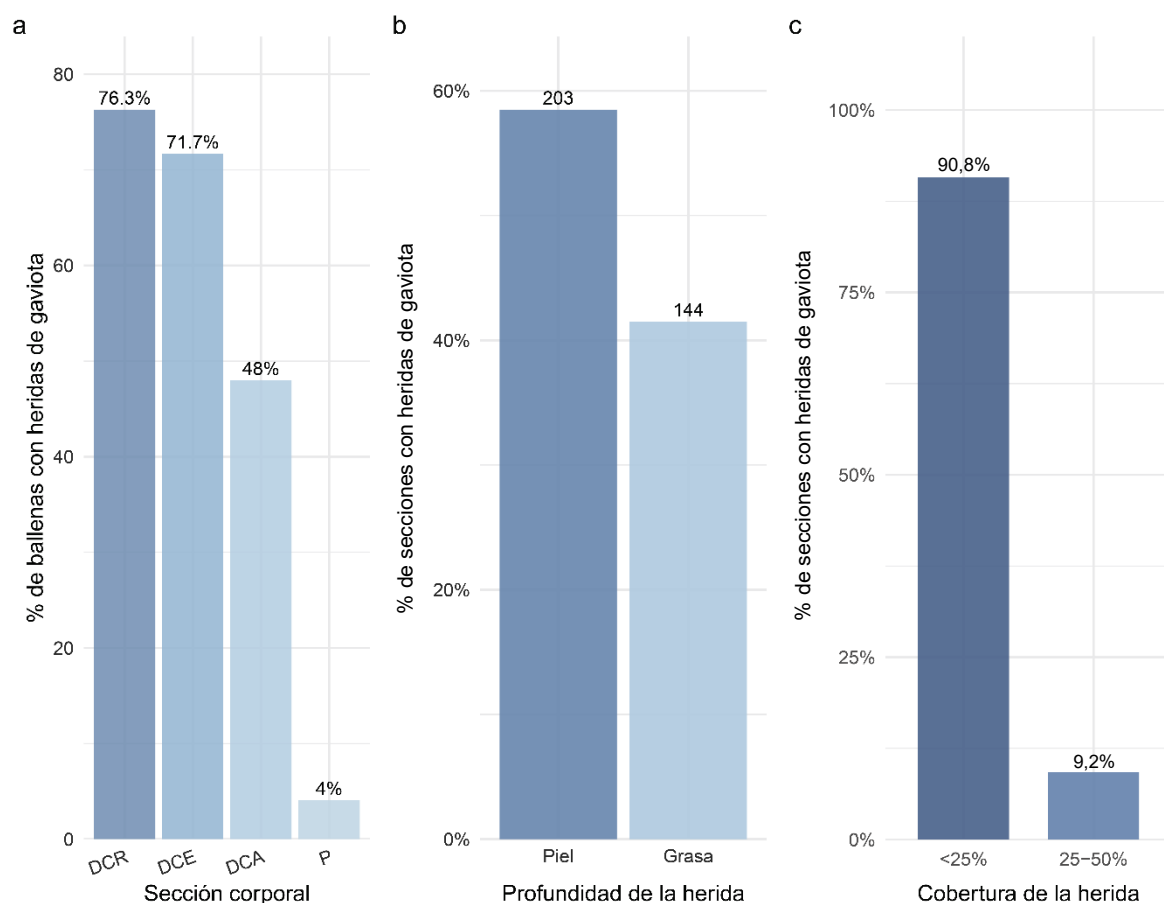


Figura 12. Distribución y características de las heridas infligidas por gaviotas en BFA(a) Porcentaje de ballenas con heridas según la sección corporal afectada (DCR: dorso-craneal, DCE: dorso-central, DCA: dorso-caudal, P: pedúnculo). (b) Profundidad de las heridas registradas, expresada como número y porcentaje de secciones afectadas según el tejido comprometido. Se excluyó del análisis el único caso de Amputación. (c) Porcentaje de cobertura de las heridas infligidas por gaviotas, expresado como número y porcentaje de secciones afectadas según la categoría de cobertura.

La proporción de sets de imágenes de individuos con heridas infligidas por gaviota (Figura 13) difirió significativamente entre clases reproductivas (test exacto de Fisher, $p = 0,031$; OR = 0,39, IC₉₅ % = 0,14–0,98; Figura 14a). Las hembras con cría presentaron heridas en el 75,9 %

de los registros ($n = 22$), mientras que en los individuos sin cría la proporción fue de 54,9 % ($n = 145$). Sin embargo, al evaluar simultáneamente el efecto del día del año, las diferencias entre clases reproductivas no resultaron significativas (GLM binomial; $\beta_{\text{SinCría}} = 2,12 \pm 3,77$; $z = 0,56$; $p = 0,57$), y tampoco se detectó un efecto de interacción entre día del año y clase reproductiva ($z = -0,81$; $p = 0,42$), lo que indica que la tendencia temporal fue similar en ambos grupos. A pesar de ello, el patrón descriptivo observado en la Figura 14b evidencia un aumento marcado en la probabilidad de presentar este tipo de heridas hacia el final de la temporada, especialmente por parte de las hembras con cría, aunque el efecto no fue estadísticamente significativo ($\beta = 0,0227 \pm 0,0161$; $z = 1,41$; $p = 0,16$).



Figura 13. Ejemplos de heridas infligidas por gaviotas. (a) Herida pequeña que alcanza la grasa con baja proporción de cobertura corporal. (b) Múltiples heridas en estado de cicatrización con mayor proporción de cobertura corporal. Imágenes: Sebastián Leal, Las Grutas.

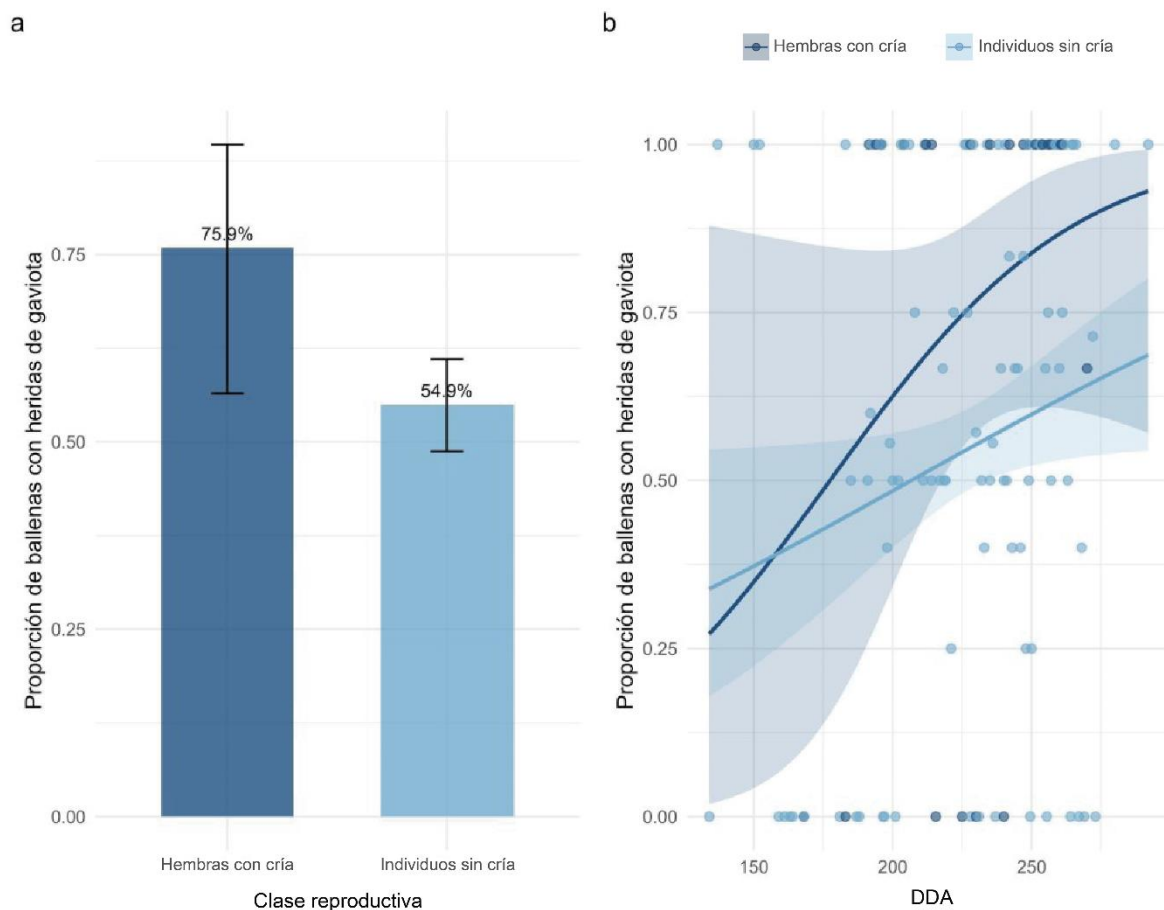


Figura 14. Frecuencia y variación temporal de heridas infligidas por gaviota en BFA registradas en el GSM. (a) Proporción de BFA con heridas de gaviota por clase reproductiva, con IC95%. (b) Variación temporal en la proporción de ballenas con heridas de gaviotas en función del día del año (DDA), por clase reproductiva. Los puntos representan los valores observados por día, y las bandas los intervalos de confianza del 95%.

3.2. Análisis de robustez del protocolo

3.2.1. Análisis de sensibilidad al número de secciones visibles

El análisis de sensibilidad al número de secciones visibles mostró que el nivel de confianza del ICP aumentó progresivamente con el número de secciones visibles (Figura 15, Tabla 14). Con ≤ 2 secciones visibles, el valor promedio del índice difirió más del 10% respecto al valor

obtenido con todas las secciones en más del 40% de los casos, reflejando una baja estabilidad (43,7% y 51,0% de confianza, respectivamente). La confianza aumentó notablemente con tres secciones visibles (77,3%) y alcanzó valores superiores al 90% con ≥ 4 secciones (93,6%), estabilizándose por encima del 95% con ≥ 5 secciones visibles (96,9%, $n = 5$; 99,2%, $n = 6$; 100% $n = 7$, $n = 8$). Estos resultados confirman que la estabilidad del índice aumenta conforme se incrementa el número de secciones visibles, y aportan soporte cuantitativo al sistema de clases de confianza definido en el protocolo. En efecto, las combinaciones de tres secciones visibles —que en el protocolo corresponden a clases de confianza baja a moderada— mostraron una variabilidad notable respecto al valor total, mientras que las combinaciones con ≥ 4 secciones —clasificadas como confianza alta o muy alta— presentaron diferencias menores al 10% en más del 90% de los casos.

En contraste, el ISH mostró niveles de confianza elevados incluso con pocas secciones visibles (96,0% con una sección, >99% con ≥ 4 secciones; Fig. 15). Este patrón se explica por la baja variabilidad del ISH entre secciones corporales: la mayoría de las ballenas presentaron valores uniformes de baja severidad (media = $1,01 \pm 0,12$; rango = 1–3). En consecuencia, el promedio del índice varió mínimamente al reducir el número de secciones incluidas, lo que generó altos niveles de confianza incluso en escenarios con información limitada.

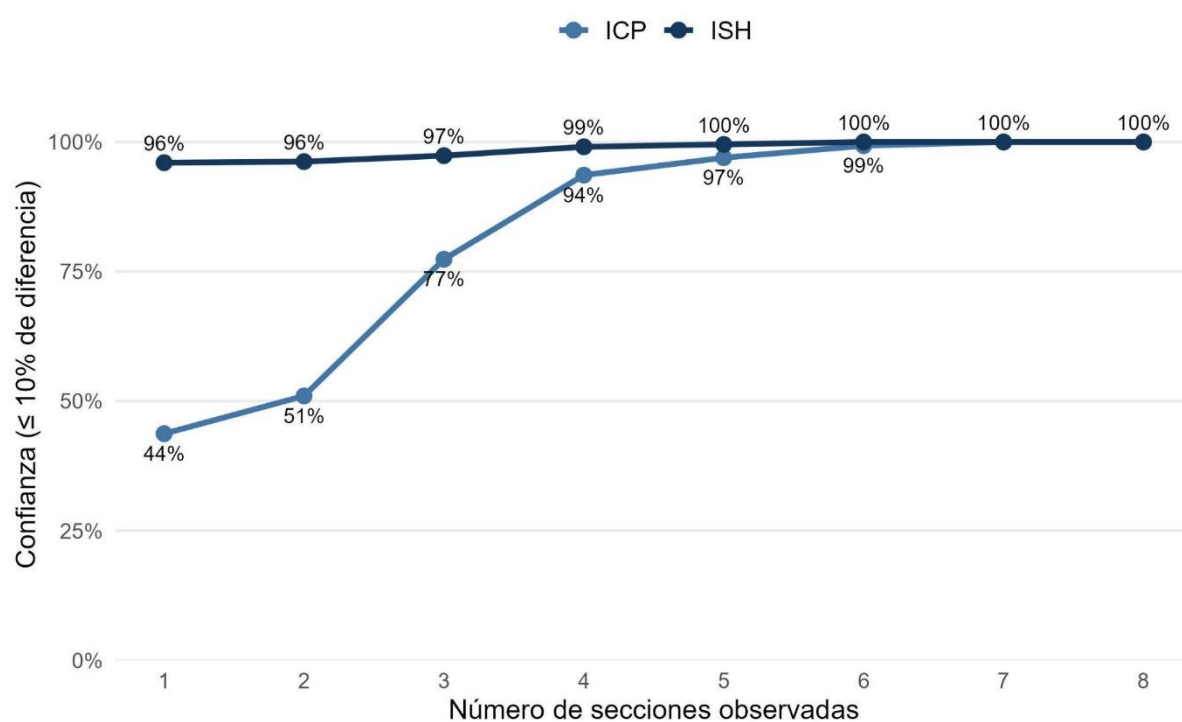


Figura 15. Relación entre el número de secciones corporales visibles y el nivel de confianza del ICP y el ISH. El nivel de confianza representa el porcentaje de casos en los que el valor promedio del índice difirió $\leq 10\%$ respecto al valor obtenido con todas las secciones visibles.

Tabla 14. Nivel de confianza (porcentaje de casos con $\leq 10\%$ de diferencia respecto al valor total) en función del número de secciones corporales visibles, para el ICP y el ISH.

Nº de secciones visibles	Confianza ICP (%)	Confianza ISH (%)
1	44	96
2	51	96
3	77	97
4	94	99
5	97	99
6	99	100
7	100	100
8	100	100

3.2.2. Evaluación de la sensibilidad del sistema de clasificación de condición corporal

Las combinaciones Rectangular–Rectangular ($n = 134$) y Rectangular–Cónica ($n = 82$) fueron las más frecuentes, representando los estados intermedios del gradiente morfológico de condición corporal (52,1% y 31,9%, respectivamente), mientras que la combinación Ligeramente redondeado–Rectangular fue poco común ($n = 13$; 5,0%). En cambio, las configuraciones extremas —correspondientes tanto a la mejor (Ligeramente redondeado–Ligeramente redondeado, $n = 7$) como a la peor (Cónico–Cónico, $n = 25$) condición corporal— se registraron con baja frecuencia durante todo el período de observación (2,7% y 9,7%, respectivamente; Figura 16a).

La probabilidad de ocurrencia de las distintas combinaciones morfológicas entre las secciones dorso-craneal (DCR) y dorso-central (DCE) varió en función del día del año. Las combinaciones asociadas a formas más angulares, como Rectangular–Cónica ($\beta = 0.0087$, $p =$

0.078) y Cónica–Cónica ($\beta = 0.0103$, $p = 0.194$), mostraron una tendencia a incrementar su probabilidad hacia el final de la temporada, mientras que las configuraciones más redondeadas, Ligeramente redondeado–Ligeramente redondeado ($\beta = -0.0190$, $p = 0.087$) y Ligeramente redondeado–Rectangular ($\beta = -0.0030$, $p = 0.747$), tendieron a disminuir.

Las probabilidades predichas y sus intervalos de confianza del 95%, mostraron una tendencia estable y un comportamiento consistente entre las combinaciones más frecuentes. Las curvas predichas evidenciaron que los estados intermedios dominaron durante la mayor parte de la temporada, mientras que las combinaciones más extremas aumentaron hacia el final del año (Figura 16b).

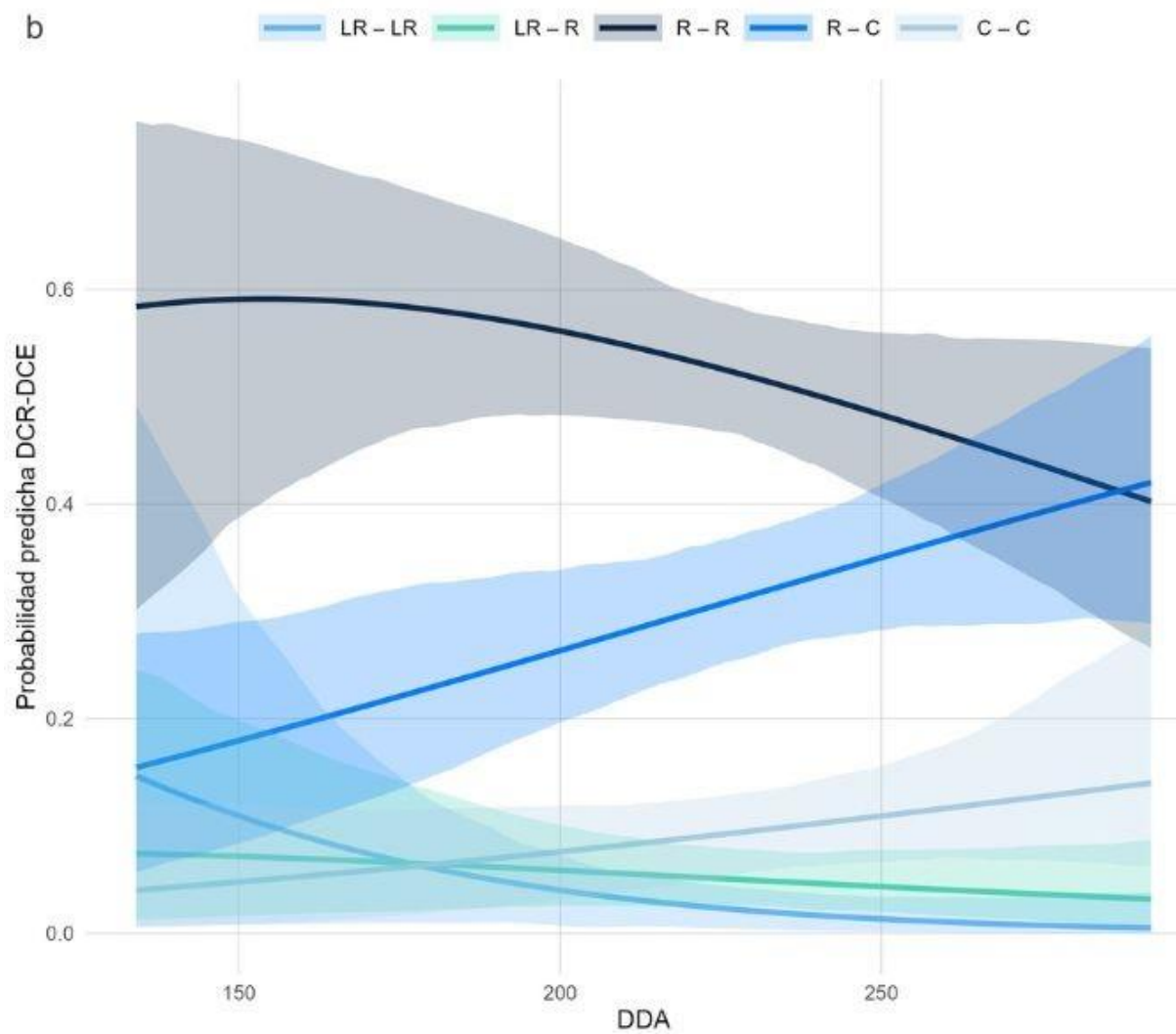
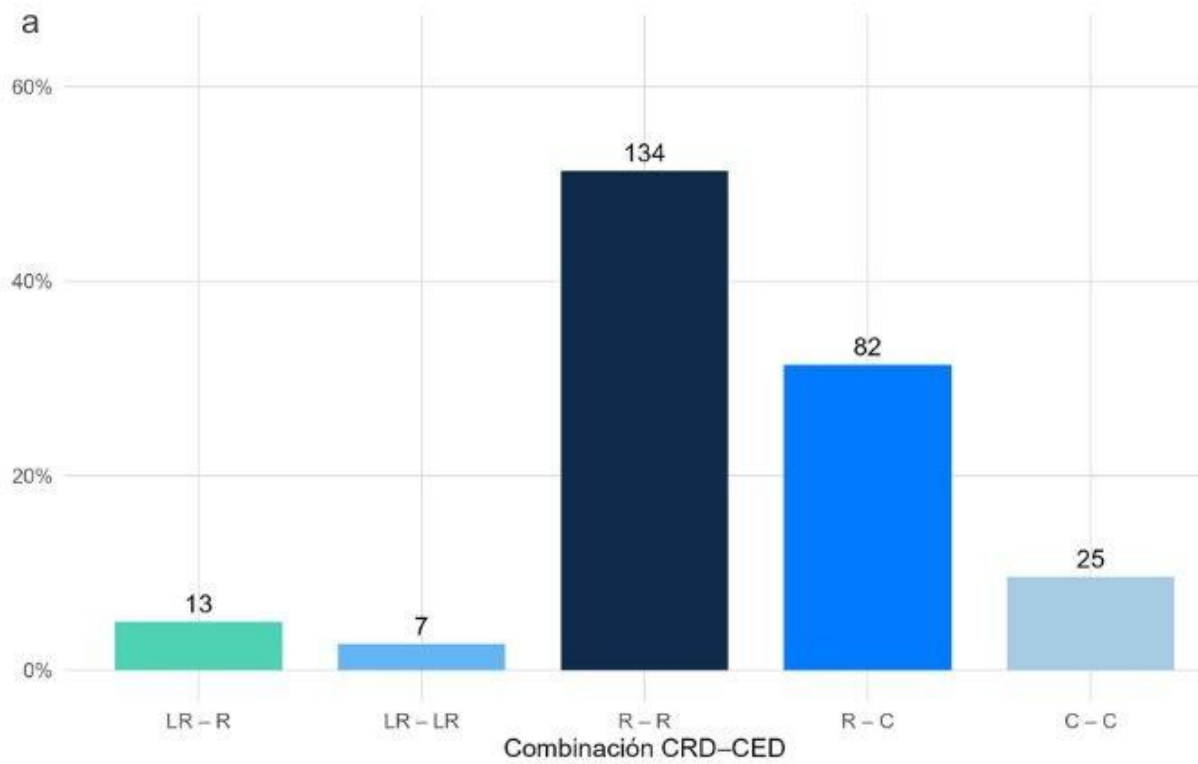


Figura 16. Frecuencia relativa y evolución temporal de las combinaciones morfológicas CRD–CED. (a) Porcentaje de sets clasificados en cada combinación de forma corporal derivada de las secciones dorso-craneal (CRD) y dorso-central (CED). Las combinaciones. (b) Probabilidades predichas de ocurrencia de cada combinación morfológica en función del día del año (DDA). Las líneas representan las probabilidades medias predichas y las bandas sombreadas indican los intervalos de confianza del 95%. Las combinaciones se ordenan según un gradiente decreciente de condición corporal: LR–LR: Ligeramente redondeado–Ligeramente redondeado; LR–R: Ligeramente redondeado–Rectangular; R–R: Rectangular–Rectangular; R–C: Rectangular–Cónico; C–C: Cónico–Cónico.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La evaluación visual de la condición física constituye una herramienta clave para comprender la dinámica poblacional y el estado de salud de los cetáceos. En este contexto, las metodologías no invasivas basadas en evaluaciones visuales han cobrado creciente relevancia, al permitir el monitoreo de individuos y poblaciones a largo plazo con un impacto mínimo sobre los animales, y han sido recomendadas como herramientas prioritarias para la evaluación de la salud y la condición física de los cetáceos (IWC 2018).

En este trabajo se desarrolló y aplicó un protocolo visual estandarizado para la BFA que integra tres índices —ICC, ICP e ISH— con el fin de caracterizar el estado físico de los individuos que utilizan el GSM durante el período reproductivo. Los resultados obtenidos evidencian la capacidad del protocolo para detectar variaciones temporales y demográficas en la condición física, integrando de manera complementaria indicadores del estado corporal y dérmico de los individuos. En conjunto, este enfoque representa un avance metodológico en la evaluación no invasiva de grandes cetáceos, fortaleciendo las bases para su aplicación comparativa entre distintas áreas de concentración. Además, el hecho de que esta metodología pueda aplicarse

sobre material fotográfico histórico incrementa notablemente su utilidad para realizar análisis retrospectivos vinculados con la reproducción y la supervivencia de los individuos.

Los análisis de asociación entre los índices no revelaron relaciones fuertes entre el ICC, el ICP y el ISH. La ausencia de diferencias significativas en los valores de ICP e ISH entre individuos con buena y mala condición corporal, así como la falta de correlación entre la condición de la piel y la severidad de heridas, indica que cada índice captura dimensiones distintas de la condición física. Este resultado refuerza el carácter complementario del enfoque propuesto, en el que la condición corporal, la integridad dérmica y la presencia y severidad de heridas responden a procesos parcialmente independientes y no necesariamente sincrónicos. En este sentido, los resultados obtenidos validan la **predicción 1**, que planteaba que los índices reflejarían componentes distintos de la condición física sin mostrar asociaciones fuertes entre sí. No obstante, la baja variabilidad observada en el ISH, asociada a la escasa presencia de heridas severas, pudo haber limitado la detección de asociaciones más sutiles, sin invalidar la independencia funcional entre los índices.

La condición corporal, medida mediante el ICC, mostró disminución progresiva a lo largo de la temporada reproductiva, lo que concuerda con la **predicción 2**, que postulaba que el ICC permitiría detectar esta variación en la condición. Este patrón temporal es consistente con lo observado en otras poblaciones de BFA y otros mysticetos con comportamientos migratorios, donde la pérdida gradual de reservas lipídicas durante la estadía en áreas de reproducción refleja el gasto energético asociado a la lactancia y el ayuno (Ball et al. 2015, Christiansen et al. 2018, Aoki et al. 2021). De esta manera, los resultados obtenidos validan la predicción de que el ICC es sensible a este proceso fisiológico ampliamente estudiado y documentado, evidenciando su capacidad para reflejar un aspecto clave de la condición física.

En términos generales, la condición física de las BFA evaluadas en el GSM mostró niveles consistentes con una buena condición general en los tres índices evaluados, consistente con la **predicción 3**. En dicha área de estudio, Arias et al. (2018) reportaron un proceso de recolonización y un uso reproductivo sostenido del área, indicativos de un stock saludable y en recuperación. De manera similar, evaluaciones fotogramétricas realizadas en las Auckland Islands (Nueva Zelanda), evidencian una condición corporal favorable y consistente con una población en recuperación y expansión tras la caza histórica, donde las diferencias observadas entre clases reproductivas responden a variaciones fisiológicas naturales y no a signos de deterioro (Christiansen et al. 2020, 2023). En conjunto, estos antecedentes refuerzan la interpretación de que las BFA del GSM presentan un estado físico compatible con poblaciones estables y saludables en contextos de baja presión antrópica.

En contraste, otras poblaciones de BF han mostrado tendencias opuestas, evidenciando un deterioro progresivo de su condición física asociado a factores ambientales o antrópicos. En el hemisferio sur, Vermeulen et al. (2023) reportaron un declive sostenido en la condición corporal de las hembras reproductivas de BFA en Sudáfrica a lo largo de tres décadas (1988–2018), vinculado a una menor disponibilidad de alimento en las áreas de alimentación subantárticas (Germishuizen et al. 2024). De manera aún más marcada, las poblaciones de BF del Atlántico Norte presentan una alta frecuencia de individuos con heridas de origen antrópico en mala condición corporal (Pettis et al. 2004, Rolland et al. 2016, Christiansen et al. 2020). En éstas, las heridas por enmallamientos y colisiones han sido asociadas a incrementos de estrés crónico, fecundidad reducida y un deterioro general de la condición corporal (Pettis y Hamilton 2016). En este sentido, los resultados obtenidos para el GSM reflejan un escenario opuesto, caracterizado por la estabilidad y el predominio de individuos en buena condición física durante el período 2019–2024, sustentado en la baja incidencia de heridas graves y la predominancia

de lesiones leves. Este hallazgo refuerza la **predicción 4**, que postulaba que los valores promedio de los índices de condición física se mantendrían estables a lo largo del período analizado, destacando la necesidad de evaluaciones regionales para comprender las respuestas diferenciadas de los stocks de BFA frente a variaciones ambientales y antrópicas.

Los tres índices de condición física se vieron influenciados por las características demográficas del stock de BFA, tanto por la clase de edad (juveniles/adultos) y la clase reproductiva (hembras con cría/individuos sin cría). Los resultados obtenidos al evaluar la condición corporal entre clases reproductivas apoyaron parcialmente la **predicción 5**, aunque las diferencias entre hembras con cría e individuos sin cría fueron marginalmente no significativas ($p = 0,07$). Las hembras con cría tendieron a tener una mayor probabilidad de mala condición corporal, lo que concuerda con lo documentado en otras poblaciones de cetáceos, donde las hembras reproductivas suelen experimentar un mayor costo fisiológico derivado de la inversión maternal (Pettis et al. 2011, Bradford et al. 2012, Aoki et al. 2021, Johnston et al. 2021). Respecto a la condición de la piel, los juveniles mostraron un mayor compromiso de la integridad dérmica en comparación con los adultos, lo que se ve reflejado en valores más altos de ICP a lo largo de toda la temporada reproductiva. Este patrón podría estar vinculado a respuestas inmunes inmaduras y poco eficientes a estresores ambientales en individuos juveniles. Aunque las respuestas inmunológicas dependientes de la edad en los cetáceos no están bien caracterizadas, estudios en mamíferos indican que el sistema inmunológico es relativamente inmaduro en las primeras etapas de vida y se fortalece con la exposición a antígenos y la adquisición de memoria inmunitaria durante la vida adulta. En neonatos y juveniles, tanto la inmunidad innata como la adaptativa muestran respuestas más débiles comparadas con individuos adultos, lo que conlleva una mayor susceptibilidad a infecciones y daños en la integridad de la piel (Simon et al. 2015, MacGillivray & Kollman 2014). Esta evidencia general respalda la **predicción 6** y sugiere que

los juveniles podrían ser más vulnerables a ciertos factores estresantes en comparación con los adultos.

Los resultados del análisis del ISH evidenciaron una mayor afectación en las hembras con cría comparado con los individuos sin cría, presentando un porcentaje significativamente mayor de heridas comparado con los individuos sin cría (75,9% frente a 54,9%), lo que respalda la **predicción 7** de que las hembras reproductivas son más vulnerables y se encuentran expuestas de manera diferencial a algunos tipos de impactos. La mayoría de las lesiones fueron de origen natural, principalmente atribuibles a interacciones con gaviotas, con predominio de heridas superficiales localizadas en las secciones dorsales del cuerpo. Este patrón coincide con lo documentado para PV, donde las lesiones por gaviotas constituyen una afección recurrente (Fazio 2012, Sironi et al. 2018). Las diferencias observadas entre clases reproductivas en la incidencia de este tipo de heridas confirman una mayor susceptibilidad de las hembras con cría a este tipo de agresión. Esta mayor vulnerabilidad podría estar relacionada con comportamientos que implican una exposición prolongada en superficie, como la lactancia o el descanso conjunto con la cría, lo que incrementa las oportunidades de ataque por parte de las gaviotas (Rowntree et al. 1998, Marón et al. 2015). En PV, las hembras con cría también presentan una elevada frecuencia y extensión de heridas, particularmente hacia el final de la temporada, cuando las gaviotas utilizan la acumulación de lesiones previas y el desgaste físico de las ballenas (Marón et al. 2015). Además del daño tisular, se ha demostrado que la exposición crónica a interacciones con gaviotas genera una respuesta de estrés fisiológico sostenida, evidenciada por incrementos en los niveles hormonales asociados al estrés en ballenatos de BFA (Fernández Ajó et al. 2020). En el GSM, aunque las heridas observadas fueron en su mayoría superficiales y no se detectó un efecto significativo en el incremento observado en la frecuencia de este tipo de heridas hacia el final de la temporada, se observa un patrón

demográfico temporal similar al de PV, lo que sugiere que muchas de las ballenas afectadas podrían haber estado expuestas previamente a dicha interacción en esa zona. Este patrón temporal, aunque sutil, resulta consistente con observaciones previas de movimientos entre el GSM y el Golfo Nuevo (Chubut; Zerbini et al. 2018).

La baja incidencia de heridas de origen antrópico (enmalles o colisiones) observadas en este estudio es consistente con patrones documentados a escala regional para la población de BFA del Atlántico sudoccidental, donde las afecciones predominantes corresponden a interacciones naturales, y los eventos asociados a colisiones con embarcaciones o enmallamientos han sido históricamente poco frecuentes (Rowntree et al. 2001, Sironi et al. 2018). En este sentido, la escasa frecuencia de este tipo de heridas sugiere una exposición relativamente baja a impactos antrópicos severos a escala poblacional. A nivel local, durante su permanencia reproductiva en aguas del GSM, los individuos evaluados tampoco evidenciaron una señal marcada de presión antrópica reciente. No obstante, dado el carácter altamente migratorio de la especie, no puede descartarse que algunas heridas puntuales hayan sido adquiridas fuera del área de estudio, y que cambios futuros en la presión antrópica modifiquen este escenario. Esta interpretación local debe además considerarse en un contexto más amplio, ya que a escala global la exposición de grandes cetáceos a impactos antrópicos varía considerablemente entre regiones en función del grado de intervención humana y del uso del espacio marino, con áreas que presentan niveles de riesgo sustancialmente mayores que otros sectores del rango de distribución de las especies (Leaper et al. 2023). En consecuencia, el registro ocasional de cicatrices compatibles con artes de pesca y registros ocasionales de heridas paralelas y simétricas de potenciales interacciones con embarcaciones (obs. pers.) resalta la necesidad de mantener un monitoreo continuo, dado que un incremento de estas interacciones podría afectar la condición física y el bienestar de los individuos. El ISH—al igual que otros sistemas de evaluación de severidad de heridas y su

impacto en la condición física general utilizados en cetáceos (Boileau et al. 2024, Linden et al. 2024)—muestra así un claro potencial como herramienta para evaluar el estado general de los individuos y como indicador temprano de posibles impactos antropogénicos o cambios en el estado de salud de la población.

Entre las principales limitaciones de este estudio se destacan la variabilidad en la calidad de las imágenes, la imposibilidad de observar regiones ventrales y la dependencia del ángulo de captura. Estas restricciones son comunes en estudios que utilizan material fotográfico retrospectivo, en los cuales la zona corporal capturada originalmente no siempre coincide con la requerida para la evaluación de la condición física, lo que puede generar un elevado número de determinaciones desconocidas (Bradford et al. 2012). No obstante, este estudio demostró que las fotografías tomadas con fines de fotoidentificación también pueden aprovecharse eficazmente para realizar una evaluación visual de la condición física, ampliando así su potencial de uso en estudios poblacionales.

A futuro, se propone realizar evaluaciones de concordancia entre evaluadores (p. ej., coeficientes de Cohen's Kappa o Krippendorff's Alpha), con el fin de cuantificar la reproducibilidad del protocolo y fortalecer su aplicabilidad en estudios colaborativos a gran escala. Además, dado que la estructura del protocolo favorece la integración con nuevas aproximaciones metodológicas, —como la fotogrametría aérea para estimar volúmenes corporales o curvas morfométricas de condición, y el análisis de marcadores endocrinos en muestras de excreciones o piel (p. ej., glucocorticoides u hormonas reproductivas)—, se propone validar y **ampliar los índices mediante correlaciones fisiológicas directas**, evaluando su sensibilidad ante cambios reales en la condición corporal y la posibilidad de identificar posibles umbrales biológicos relevantes.

En conjunto, el protocolo de evaluación visual desarrollado constituye una herramienta robusta, reproducible y de bajo costo para caracterizar la condición física de las BFA a partir de material fotográfico. Su aplicación sistemática permitirá monitorear la evolución del estado poblacional en el GSM y facilitar comparaciones entre áreas de concentración del hemisferio sur, contribuyendo a una gestión más informada de la conservación de la especie.

BIBLIOGRAFÍA

Andersen MS, Forney KA, Cole TVN, Eagle T, Angliss R et al. (2008) Differentiating serious and non-serious injury of marine mammals: Technical report of the Serious Injury Technical Workshop, National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NMFS-OPR-39.

Arias M, Coscarella M, Svendsen GM, Romero MA, Curcio N et al. (2017) Changes in the distribution and abundance of southern right whale (*Eubalaena australis*) in San Matías Gulf (Patagonia, Argentina). Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee SC/67A/CMP/06.

Arias M, Coscarella MA, Romero MA, Svendsen GM, Ocampo Reinaldo M et al. (2018a) Impact of whale-watching on Southern Right Whale (*Eubalaena australis*) in Patagonia: Assessing the effects from its beginnings in the context of population growth. Tourism Management Perspectives 27: 1-9.

Arias M, Coscarella MA, Romero MA, Sueyro N, Svendsen GM et al. (2018b) Southern right whale *Eubalaena australis* in Golfo San Matías (Patagonia, Argentina): evidence of recolonisation. PloS One 13(12).

Arias, M (2019) Distribución, comportamiento y evaluación del impacto de las embarcaciones turísticas sobre la ballena franca austral (*Eubalaena australis*) en el Golfo San Matías. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires.

Arias M, Dalia A, Marino C, Blanco A, Crespo E, González R (2022) Catálogo de foto-identificación de ballenas francas del Golfo San Matías. Informe Técnico N°02-2022. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Nacional del Comahue: 1-9.

- Aoki K, Isojunno S, Bellot C, Iwata T, Kershaw J et al. (2021)** Aerial photogrammetry and tag-derived tissue density reveal patterns of lipid-store body condition of humpback whales on their feeding grounds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 288(1943).
- Ball HC, Stavarz M, Oldaker J, Usip SA, Londrville RL et al. (2015)** Seasonal and ontogenetic variation in subcutaneous adipose of the bowhead whale (*Balaena mysticetus*). *The Anatomical Record* 298: 1416–1423.
- Bannister JL (2018)** Project A7: Monitoring Population Dynamics of ‘Western’ Right Whales of Southern Australia (2015–2018). Technical report, National Environment Science Program, Australian Commonwealth Government.
- Bertulli CG, Cecchetti A, Van Bresse MF, Van Waerebeek K (2012)** Skin disorders in common minke whales and white-beaked dolphins off Iceland, a photographic assessment. *Journal of Marine Animals and Their Ecology* 5(2): 29-40.
- Boileau A, Blais J, Van Bresse MF, Hunt KE, Ahloy-Dallaire J et al. (2024)** Physical Measures of Welfare in Fin (*Balaenoptera physalus*) and Humpback Whales (*Megaptera novangliae*) found in an anthropized Environment: Validation of a First Animal-Based indicator in Mysticetes. *Animals* 14(23).
- Bradford AL, Weller DW, Ivashchenko YV, Burdin AM, Brownell Jr RL (2009)** Anthropogenic scarring of western gray whales (*Eschrichtius robustus*). *Marine Mammal Science* 25(1): 161-175.
- Bradford AL, Weller DW, Punt AE, Ivashchenko YV, Burdin AM et al. (2012)** Leaner leviathans: Body condition variation in a critically endangered whale population. *Journal of Mammalogy* 93(1): 251–266.
- Brandão A, Ross-Gillespie A, Vermeulen E, Butterworth DS (2023)** A photo-identification-based assessment model of southern right whales *Eubalaena australis* surveyed in South

African waters, with a focus on recent low counts of mothers with calves. *African Journal of Marine Science* 45(1): 15-27.

Carroll EL, Patenaude NJ, Alexander A, Steel D, Harcourt R et al. (2011) Population structure and individual movement of southern right whales around New Zealand and Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 432: 257-268.

Carroll EL, Rayment WJ, Alexander AM, Baker CS, Patenaude NJ et al. (2014) Reestablishment of former wintering grounds by New Zealand southern right whales. *Marine Mammal Science* 30(1): 206-220.

Carroll EL, Charlton C, Vermeulen E, Jackson JA, Clarke P (2020) Roadmap to success for the International Whaling Commission–Southern Ocean Research Partnership (IWC-SORP) Theme 6—The Right Sentinel for Climate Change: Linking southern right whale foraging ecology to demographics, health and climate. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee Paper SC/68B/SH/07.

Carroll EL, Riekkola L, Andrews-Goff V, Scott Baker C, Constantine R et al. (2022) New Zealand southern right whale (*Eubalaena australis*; Tohorā nō Aotearoa) behavioural phenology, demographic composition, and habitat use in Port Ross, Auckland Islands over three decades: 1998–2021. *Polar Biology* 45: 1441–1458.

Charlton C, Vermeulen E, Hörbst S, Gregory E, Christiansen F (2021) Global, standardized southern right whale qualitative visual health assessment protocol. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee Paper SC/68C/SH/21.

Christiansen F, Dujon AM, Sprogis KR, Arnould JP, Bejder L (2016) Noninvasive unmanned aerial vehicle provides estimates of the energetic cost of reproduction in humpback whales. *Ecosphere* 7(10).

Christiansen F, Vivdier F, Charlton C, Ward R, Amerson A et al. (2018) Maternal body size and condition determine calf growth rates in southern right whales. *Marine Ecology Progress Series* 592: 267-281.

Christiansen F, Sironi M, Moore MJ, Di Martino M, Ricciardi M et al. (2019) Estimating body mass of free-living whales using aerial photogrammetry and 3D volumetrics. *Methods in Ecology and Evolution* 10(12): 2034-2044.

Christiansen F, Dawson SM, Durban JW, Fearnbach H, Miller CA et al. (2020) Population comparison of right whale body condition reveals poor state of the North Atlantic right whale. *Marine Ecology Progress Series* 640: 1–16

Christiansen F, Sprogis KR, Nielsen MLK, Vikingsson GA, Rasmussen MH (2023) Measuring the energy expenditure and body condition of southern right whales (*Eubalaena australis*) using aerial photogrammetry and respiration. *Journal of Experimental Biology* 226.

Christiansen F, Madsen PT, Andrews-Goff V, Double MC, Rojas-Bracho L et al. (2025) Extreme capital breeding for giants: Effects of body size on humpback whale energy expenditure and fasting endurance. *Ecological Modelling*, 501.

Cooke JG, Rowntree VJ, Payne R (2001) Estimates of demographic parameters for southern right whales (*Eubalaena australis*) observed off Península Valdés, Argentina. *Journal of Cetacean Research and Management (Special Issue 2)*: 125–132.

Crespo EA, Pedraza SN, Dans SL, Svendsen GM, Degradi M, Coscarella MA (2019) The southwestern Atlantic southern right whale (*Eubalaena australis*) population is growing but at a decelerated rate. *Marine Mammal Science* 35(1): 93–107.

Efron B, Tibshirani RJ (1993) An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall/CRC, New York.

Fazio A (2012) Alimentación de gaviotas cocineras (*Larus dominicanus*) de piel y grasa de ballenas francas del sur (*Eubalaena australis*) en Península Valdés, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires.

Fernández Ajó AA, Hunt KE, Giese AC, Sironi M, Uhart M et al. (2020) Retrospective analysis of the lifetime endocrine response of southern right whale calves to gull wounding and harassment: a baleen hormone approach. *General and Comparative Endocrinology* 296.

Fortune SME, Koski WR, Higdon JW, Trites AW, Baumgartner MF, Ferguson SH (2017) Evidence of molting and the function of “rock nosing” behavior in bowhead whales in the eastern Canadian Arctic. *PLoS ONE* 12(11).

Fox J, Weisberg S (2019) *An R Companion to Applied Regression* (3rd ed.). Sage Publications.

Hermosilla C, Silva LM, Prieto R, Kleinertz S, Taubert A et al. (2015) Endo-and ectoparasites of large whales (Cetartiodactyla: Balaenopteridae, Physeteridae): Overcoming difficulties in obtaining appropriate samples by non-and minimally-invasive methods. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 4(3): 414-420.

Hill AN, Karniski C, Robbins J, Pitchford T, Todd S et al. (2017) Vessel collision injuries on live humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, in the southern Gulf of Maine. *Marine Mammal Science* 33(2): 558-573.

Hörbst S (2019) Visual health assessment of parous female southern right whales (*Eubalaena australis*) off the southern Cape coast, South Africa. Master’s thesis, University of Pretoria, South Africa.

Hunt KE, Moore MJ, Rolland RM, Kellar NM, Hall AJ et al. (2013) Overcoming the challenges of studying conservation physiology in large whales: a review of available methods. *Conservation Physiology* 1(1).

Hunt KE, Rolland RM, Kraus SD (2015) Conservation physiology of an uncatchable animal: the North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*). Integrative and Comparative Biology 55(4): 577-586.

IWC (2001) Report of the Workshop on the Comprehensive Assessment of Right Whales: A worldwide comparison. Journal of Cetacean Research and Management, Special Issue 2: 1-60.

IWC (2018) Report of the Scientific Committee. International Whaling Commission. Meeting held in Slovenia, 24 April–6 May 2018.

Jackman S (2020) pscl: Classes and Methods for R Developed in the Political Science Computational Laboratory. R package version 1.5.5.

Jackson JA, Patenaude NJ, Carroll E, Baker CS (2008) How few whales were there after whaling? Inference from contemporary mtDNA diversity. Molecular Ecology 17(1): 236-251.

Jackson JA, Carrol EL, Smith TD, Zerbini AN, Patenaude NJ et al. (2016) An integrated approach to historical population assessment of the great whales: case of the New Zealand southern right whale. Royal Society open science 3(3).

Johnston DW, Rayment WJ, Dawson SM, Slooten E (2021) Morphometrics and body condition of southern right whales (*Eubalaena australis*) on the calving grounds at Port Ross, Auckland Islands. Marine Mammal Science 37(2): 395–413.

Leaper R, Calderan S, Cooke JG, Zerbini AN, Silva MA et al. (2023) Assessing the risk of ship strikes to large whales: global patterns and management implications. Journal of Cetacean Research and Management 24: 1–20.

Linden DW, Hostetler JA, Pace III RM, Garrison LP, Knowlton AR et al. (2024) Quantifying uncertainty in anthropogenic causes of injury and mortality for an endangered baleen whale. Ecosphere 15(12).

Lüdecke D, Ben-Shachar MS, Patil I, Waggoner P, Makowski D (2021) performance: An R package for assessment, comparison and testing of statistical models. *Journal of Open Source Software* 6(60).

MacGuillivray RE, Kollman TR (2014) Immunological responses in early life and their developmental regulation. *Frontiers in Immunology* 5(317).

Marón CF, Rowntree VJ, Sironi M, Uhart M, Payne RS et al. (2015) Estimating population consequences of increased calf mortality in the southern right whales off Argentina. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee Paper SC/66a/BRG/1.

Mazio CA, Vara CD (1983) Las mareas del golfo San Matías. Informe Técnico 13/1983, Servicio de Hidrografía Naval.

McAloose D, Rago V, Di Martino M, Chirife A, Olson S et al. (2016) Post-mortem findings in southern right whales (*Eubalaena australis*) at Península Valdés, Argentina, 2003–2012.

Minton G, Van Bresse MF, Willson A, Collins T, Al Harthi S et al. (2022) Visual health assessment and evaluation of anthropogenic threats to Arabian Sea humpback whales in Oman. *Journal of Cetacean Research and Management* 23: 59-79.

Moles M (2022) Testing of a standardised protocol for visual health assessment of southern right whales (*Eubalaena australis*). Master's thesis, University of Cape Town, South Africa.

Morfeld KA, Lehnhardt J, Alligood C, Bolling J, Brown JL (2014) Development of a body condition scoring index for female African elephants validated by ultrasound measurements of subcutaneous fat. *PloS ONE* 9(4).

Olaya-Ponzone L, Espada R, Martín Moreno E, Cárdenas Marcial I, García-Gómez JC (2020) Injuries, healing and management of common dolphins (*Delphinus delphis*) in human-impacted waters in the south Iberian Peninsula. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 100(2): 315–325.

Payne R, Brazier O, Dorsey E, Perkins J, Rowntree VJ, Titus A (1983) External features in southern right whales, *Eubalaena australis*, and their use in identifying individuals. In R. Payne (Ed.), *Communication and behavior of whales*: 371–445.

Payne R. (1986) Long term behavioral studies of the southern right whale (*Eubalaena australis*). Technical report, International Whaling Commission (Special Issue 10): 161–167.

Peters MDJ, Godfrey CM, Khalil H, McInerney P, Parker D et al. (2015) Guidance for conducting systematic scoping reviews. *International Journal of Evidence-Based Healthcare* 13(3): 141-146.

Pettis HM, Rolland RM, Hamilton PK, Brault S, Knowlton AR et al. (2004) Visual health assessment of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) using photographs. *Canadian Journal of Zoology* 82(1): 8-19.

Pettis HM, Hamilton PK, Knowlton AR, Winsor MH (2011) Photographic evaluation of body condition of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) over time. *Endangered Species Research* 15(2): 155–164.

Pettis HM, Hamilton PK (2016) North Atlantic Right Whale Consortium Annual Report Card. Technical report, North Atlantic Right Whale Consortium.

Piola AR, Scasso LM (1988) Circulación en el Golfo San Matías. *Geoacta* 15(1): 33–51.

Pitman RL, Durban JW, Joyce T, Fearnbach H, Panigada S et al. (2020) Skin in the game: Epidermal molt as a driver of long-distance migration in whales. *Marine Mammal Science* 36(2): 565-594.

Posit Team (2024) RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, Massachusetts.

R Core Team (2024) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ramp C, Gaspard D, Gavrilchuk K, Unger M, Schleimer A et al. (2021) Up in the air: drone images reveal underestimation of entanglement rates in large humpback whales. *Endangered Species Research* 44: 33-44.

Raverty SA, Rhodes LD, Zabek E, Eshghi A, Cameron CE et al. (2020). Pathology findings and causes of death of southern resident killer whales (*Orcinus orca*). *Diseases of Aquatic Organisms* 141: 63–78.

Reeb D, Best PB, Kidson SH (2007) Structure of the integument of southern right whales, *Eubalaena australis*. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology* 290(6): 596-613.

Robin X, Turck N, Hainard A, Tiberti N, Lisacek F et al. (2011) pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. *BMC Bioinformatics* 12: 77.

Robinson D, Hayes A, Couch S (2023) broom: Convert Statistical Objects into Tidy Tibbles. R package version 1.0.5.

Rolland RM, Schick RS, Pettis HM, Knowlton AR, Hamilton PK et al. (2016) Health of North Atlantic right whales, *Eubalaena glacialis*, over three decades: from individual health to demographic and population health trends. *Marine Ecology Progress Series* 542: 265–282

Romero MA, Coscarella MA, Adams GD, Pedraza JC, González RA et al. (2022) Historical reconstruction of the population dynamics of southern right whales in the southwestern Atlantic Ocean. *Scientific Reports* 12(1).

Rowntree VJ (1996) Feeding, distribution, and reproductive behavior of cyamids (Crustacea: Amphipoda) living on humpback and right whales. *Canadian Journal of Zoology* 74: 103-109.

Rowntree VJ, McGuinness P, Marshall K, Payne R, Sironi M, Seger J (1998) Increased harassment of right whales (*Eubalaena australis*) by kelp gulls (*Larus dominicanus*) at Península Valdés, Argentina. *Marine Mammal Science* 14(1): 99–115.

Rowntree VJ, Payne RS Schell DS (2001) Changing patterns of habitat use by southern right whales (*Eubalaena australis*) on their nursery ground at Península Valdés, Argentina, and in their long-range movements. *Journal of Cetacean Research and Management Special Issue 2*: 133–143.

Simon AK, Hollander GA, McMichael A (2015) Evolution of the immune system in humans. *Nature Reviews Immunology* 15(6): 379–389.

Sironi M, Rowntree VJ, Uhar M (2018) Anthropogenic impacts on southern right whales (*Eubalaena australis*) at Península Valdés, Argentina. *Marine Mammal Science* 34(4): 915–935.

Stamation K, Watson M, Moloney P, Charlton C, Bannister JL (2020) Population estimate and rate of increase of Southern Right whales *Eubalaena australis* in Southeastern Australia. *Endangered Species Research* 41: 373–383.

Thomas PO, Uhart M, McAloose D, Sironi M et al. (2013) Workshop on the southern right whale die-off at Península Valdés, Argentina. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee, SC/60/BRG15.

Tormosov DD, Mikhaliyev YA, Best PB, Zemsky VA, Sekiguchi K et al. (1998) Soviet catches of southern right whales *Eubalaena australis*, 1951–1971. Biological data and conservation implications. *Biological Conservation* 86(2): 185-197.

Valenzuela LO, Sironi M, Rowntree VJ, Seger J (2009) Isotopic and genetic evidence for culturally inherited site fidelity to feeding grounds in southern right whales (*Eubalaena australis*). *Molecular Ecology* 18(5): 782–791.

Van Bresse MFE, Flach L, Reyes JC, Echegaray M, Santos M et al. (2015) Epidemiological characteristics of skin disorders in cetaceans from South American waters. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 10(1): 20-32.

- Venables WN, Ripley BD (2002)** Modern Applied Statistics with S (4th ed.). Springer.
- Vermeulen E (2013)** Abundance estimates of southern right whales (*Eubalaena australis*) in Bahía San Antonio, Patagonia, Argentina. *Journal of Cetacean Research and Management* 13(1): 47–51.
- Vermeulen E, Wilkinson C, Thornton M, Peters IT, Findlay K (2018)** Report on the Mammal Research Institute Whale Unit Southern Right Whale Survey – 2017. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee SC/67B/SH/01.
- Vermeulen E, Wilkinson C, Thornton M (2019)** Report on 2018 southern right whale aerial survey, South Africa. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee SC/68A/SH/01.
- Vermeulen E, Thavar T, Glarou M, Ganswindt A, Christiansen F (2023)** Decadal decline in maternal body condition of a Southern Ocean capital breeder. *Scientific Reports* 13(1).
- Vilches FO, Sironi M, Zerbini AN, Fernández SJ, Uhart MM, Rowntree VJ (2023)** Life histories of satellite-tracked southern right whales (*Eubalaena australis*) through photo-identification and citizen science in Patagonia, Argentina. *Aquatic Mammals* 49(2): 109–131.
- Von Duyke AL, Stimmelmayer R, Sheffield G, Sformo T, Suydam R et al. (2016)** Prevalence and abundance of cyamid “whale lice” (*Cyamus* spp., Crustacea: Amphipoda) on subsistence-harvested bowhead whales (*Balaena mysticetus*). *Arctic* 69(2): 149-159.
- Wickham H (2016)** ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.
- Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan L et al. (2019)** Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software* 4(43): 1686.
- Zerbini AN, Andrews-Goff V, Costa-Urrutia P, Double MC, Findlay K et al. (2018)** Satellite tracking of southern right whales (*Eubalaena australis*) indicates connectivity between calving grounds and feeding areas. *Marine Mammal Science* 34(3): 843–868.

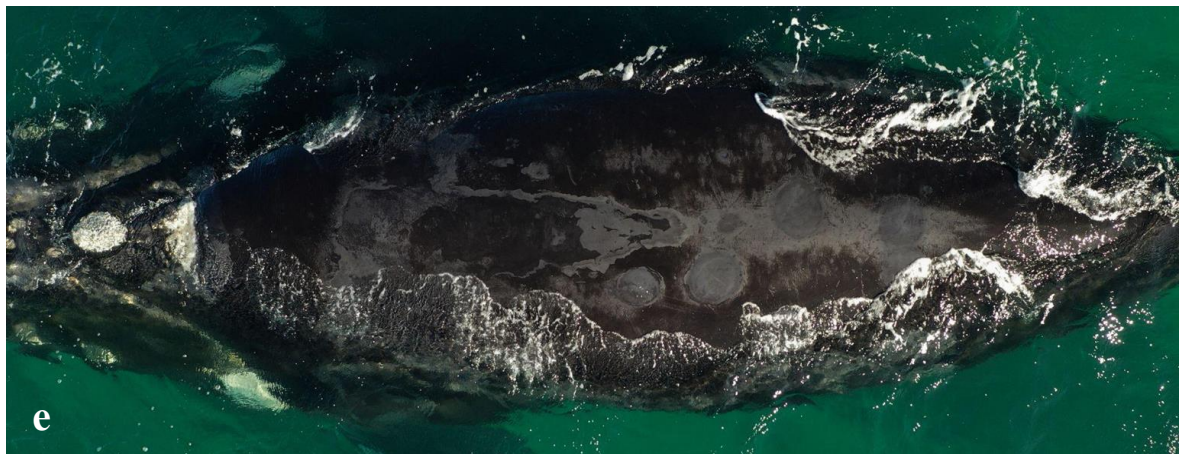
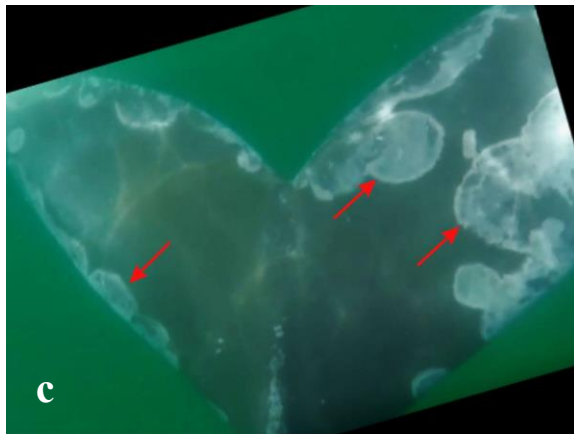
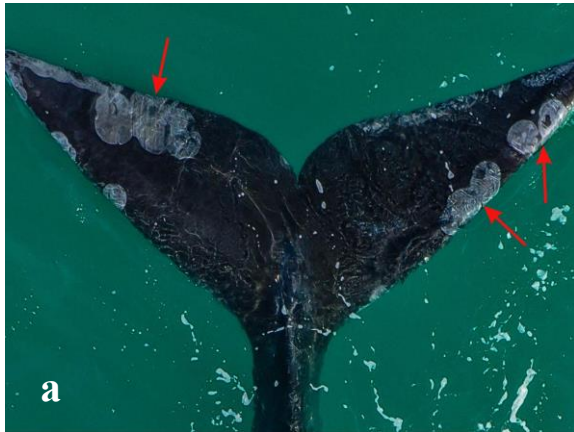
ANEXO A: Tipos de lesiones de la piel

Las lesiones de la piel se definen como cualquier alteración anormal no traumática en la apariencia o textura de la piel causada por enfermedades, alergias, cáncer, entre otros factores. Los tipos de lesiones cutáneas que se describen a continuación no constituyen una lista exhaustiva, sino que representan algunos de los casos más comúnmente observados.

1) Lesiones de la piel compatibles con poxvirus:

Se han asociado dos tipos distintos de lesiones con infecciones por poxvirus en cetáceos. Un tipo, conocido como “*lesión tipo tattoo*”, se caracteriza por presentar formas irregulares, textura punteada y una coloración gris, negra o amarillenta (Van Bressem et al. 2009). El otro tipo consiste en manchas grises circulares, planas o ligeramente elevadas, con una apariencia de punto o anillo, que pueden presentarse aisladas o fusionarse formando parches más grandes (Geraci et al. 1979).

A) Lesiones tipo tattoo:



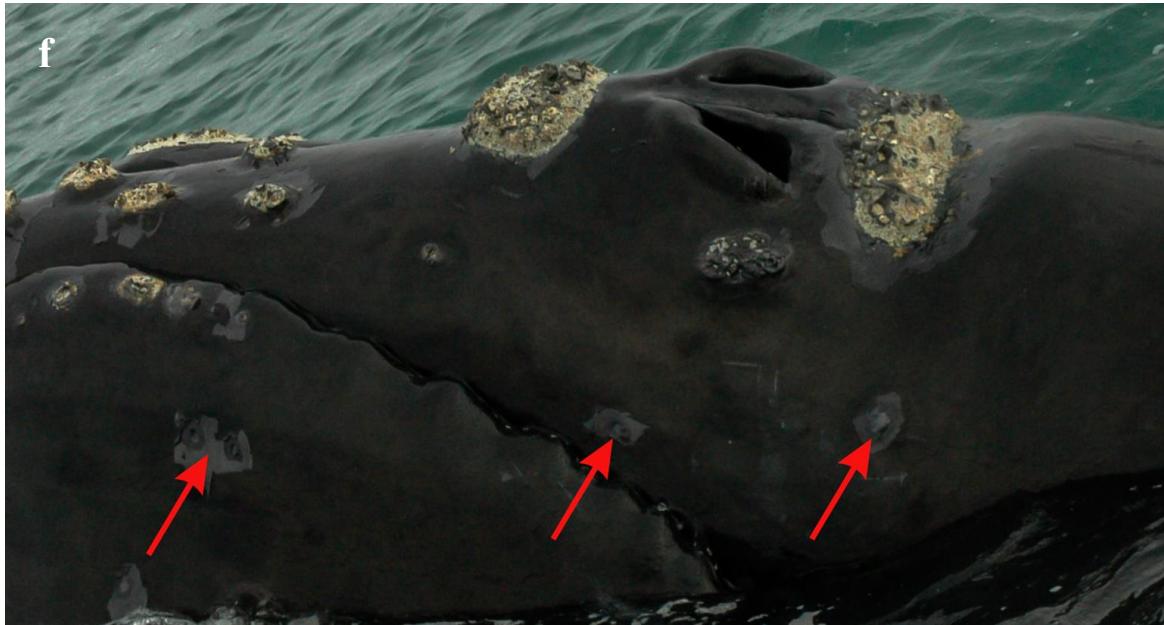


Figura S1. Lesiones tipo tattoo (tattoo skin diseases-like lesions; flechas rojas) observadas en BFA, posiblemente causadas por el “poxvirus de cetáceos” (CPV, por sus siglas en inglés), el cual produce marcas irregulares de color gris, negro o amarillento con un patrón punteado característico (Van Bressem y Waerebeek 1996, Van Bressem et al. 2009, Fazio 2012, Van Bressem et al. 2015). (a), (b) and (c) muestran manchas circulares grises típicamente observadas en la aleta caudal y las aletas pectorales. (d) muestra marcas grises irregulares en el lado izquierdo de la cabeza. (e) muestra manchas circulares grises típicas sobre el lado dorsal de una ballena. (f) muestra lesiones semejantes a las lesiones tipo tattoo descritas por Fazio et al. (2012). Créditos: (a) y (e) Sebastián Leal, Cota Cero, Las Grutas; (b) Candela Fernández, Puerto San Antonio Este; (c) Agustín Sánchez, Rupestre Avistajes, Puerto San Antonio Este; (d) y (f) Magdalena Arias, Las Grutas.

B) Lesiones en forma de anillo:

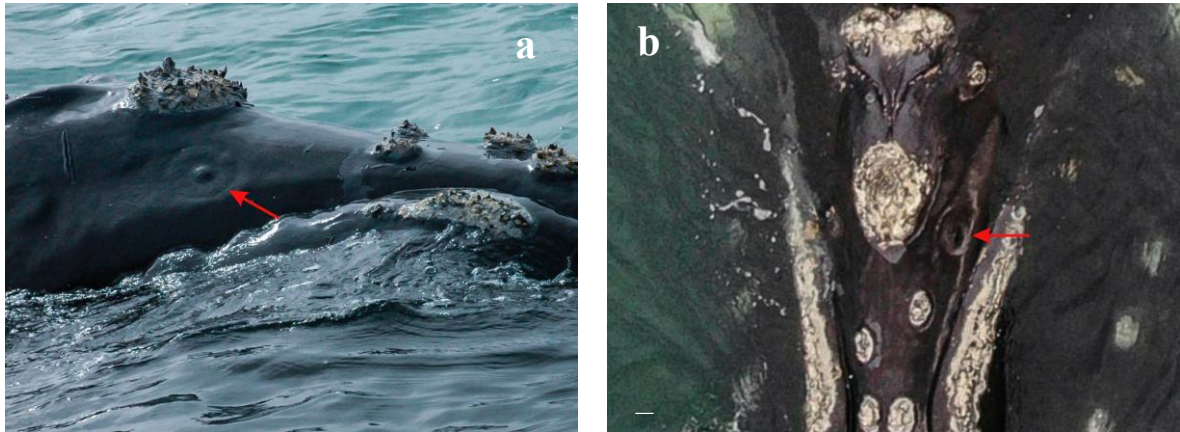


Figure S2. Lesiones en forma de anillo (flechas rojas) observadas en BFA, definidas como lesiones cutáneas circulares con una apariencia de punto central o anillo y un centro ligeramente elevado, las cuales son compatibles con infecciones por poxvirus en cetáceos (Fiorito et al. 2015). (a) y (b) muestran ejemplos de este tipo de lesiones ubicadas a los laterales de la cabeza en dos ballenas diferentes. Créditos: (a) Magdalena Arias, Las Grutas; (b) Agustín Baraschi, Atlántico Avistajes, Las Grutas.

2) Ampollas o lesiones vesiculares:

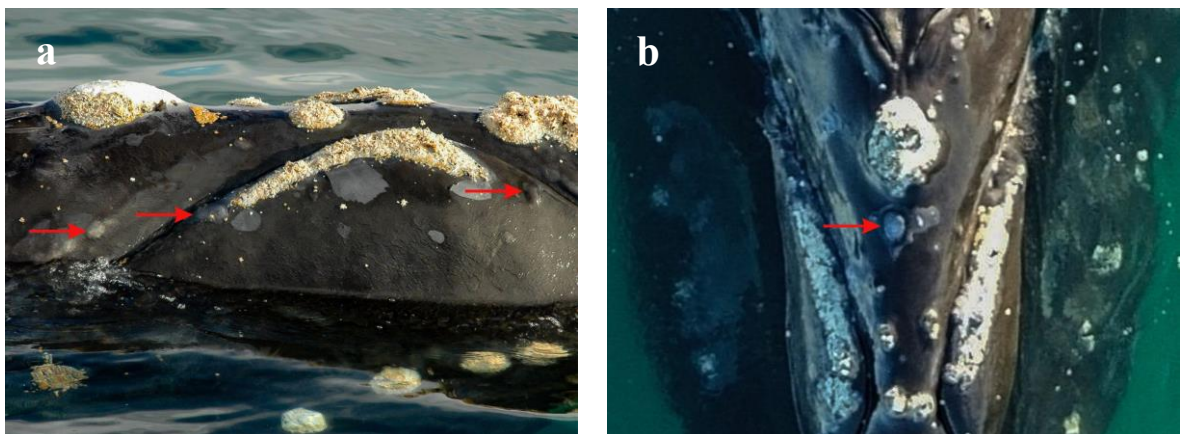




Figura S3. Ampollas o lesiones vesiculares (flechas) observadas en BFA, definidas como elevaciones de la epidermis llenas de aire o fluido, generalmente redondeadas, que pueden presentarse aisladas o agrupadas. En este último caso, pueden volverse completamente irregulares en forma, elevación y bordes, mostrando a menudo decoloración en su interior. Ambos tipos pueden encontrarse en cualquier parte del cuerpo (Hamilton y Marx 2005, Brownell et al. 2007, Fazio 2012, Barlow et al. 2019). *(a)* muestra ampollas o lesiones vesiculares en el lateral derecho de la cabeza. *(b)* muestra una posible ampolla abierta o lesión vesicular en la parte dorsal de la cabeza. *(c)* y *(d)* muestran ampollas agrupadas que varían en forma y tamaño. Créditos: *(a)* Magdalena Arias, Las Grutas; *(b)*, *(c)* y *(d)* Sebastián Leal, Cota Cero, Las Grutas.

3) Manchas blancas asociadas a marcas lineales:

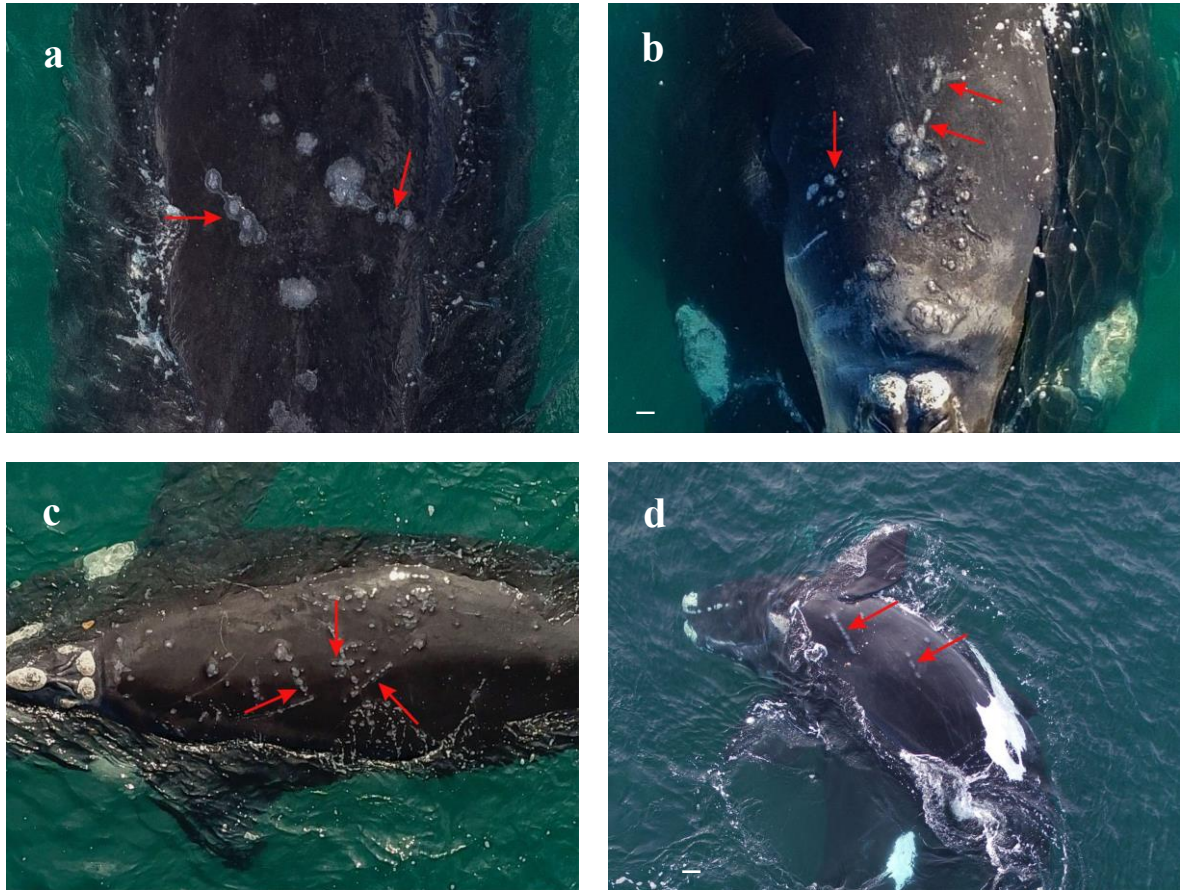


Figure S4. Manchas blancas asociadas a marcas lineales (flechas) observadas en BFA. Posibles lesiones asociadas a patógenos que se desarrollan a lo largo de rasguños o marcas lineales de origen no determinado. Estas manchas blanquecinas o grisáceas, de aspecto difuso y forma circular, han sido descritas previamente en cetáceos (Toms et al. 2020). (a), (b) y (c) muestran ejemplos de este tipo de lesiones distribuidas a lo largo del dorso de diferentes ballenas. (d) muestra lesiones similares extendiéndose sobre el lateral del dorso. Créditos: (a) and (b) Sebastián Leal, Cota Cero, Las Grutas; (c) Candela Fernández, Puerto San Antonio Este; (d) Nicolás Lewin, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés.

Referencias:

Barlow DR, Pepper AL, Torres LG (2019) Skin deep: An assessment of New Zealand blue

whale skin condition. *Frontiers in Marine Science* 6.

Brownell RL Jr, Carlson CA, Galletti Vernazzani B, Cabrera E (2007) Skin lesions on blue whales off southern Chile: Possible conservation implications? Technical report, United States Department of Commerce 130.

Fazio A (2012) Alimentación de gaviotas cocineras (*Larus dominicanus*) de piel y grasa de ballenas francas del sur (*Eubalaena australis*) en Península Valdés, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires.

Fiorito C, Palacios C, Golemba M, Bratanich A, Argüelles MB et al. (2015) Identification, molecular and phylogenetic analysis of poxvirus in skin lesions of southern right whale. *Diseases of Aquatic Organisms* 116(2): 157–163.

Hamilton PK, Marx MK (2005) Skin lesions on North Atlantic right whales: Categories, prevalence and change in occurrence in the 1990s. *Diseases of Aquatic Organisms* 68(1): 71–82.

Toms CN, Stone T & Och-Adams T (2020) Visual-only assessments of skin lesions on free-ranging common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Reliability and utility of quantitative tools. *Marine Mammal Science* 36(3): 1049–1066.

Van Bresse MF, Van Waerebeek K (1996) Epidemiology of poxvirus in small cetaceans from the Eastern South Pacific. *Marine Mammal Science* 12(3): 371–382.

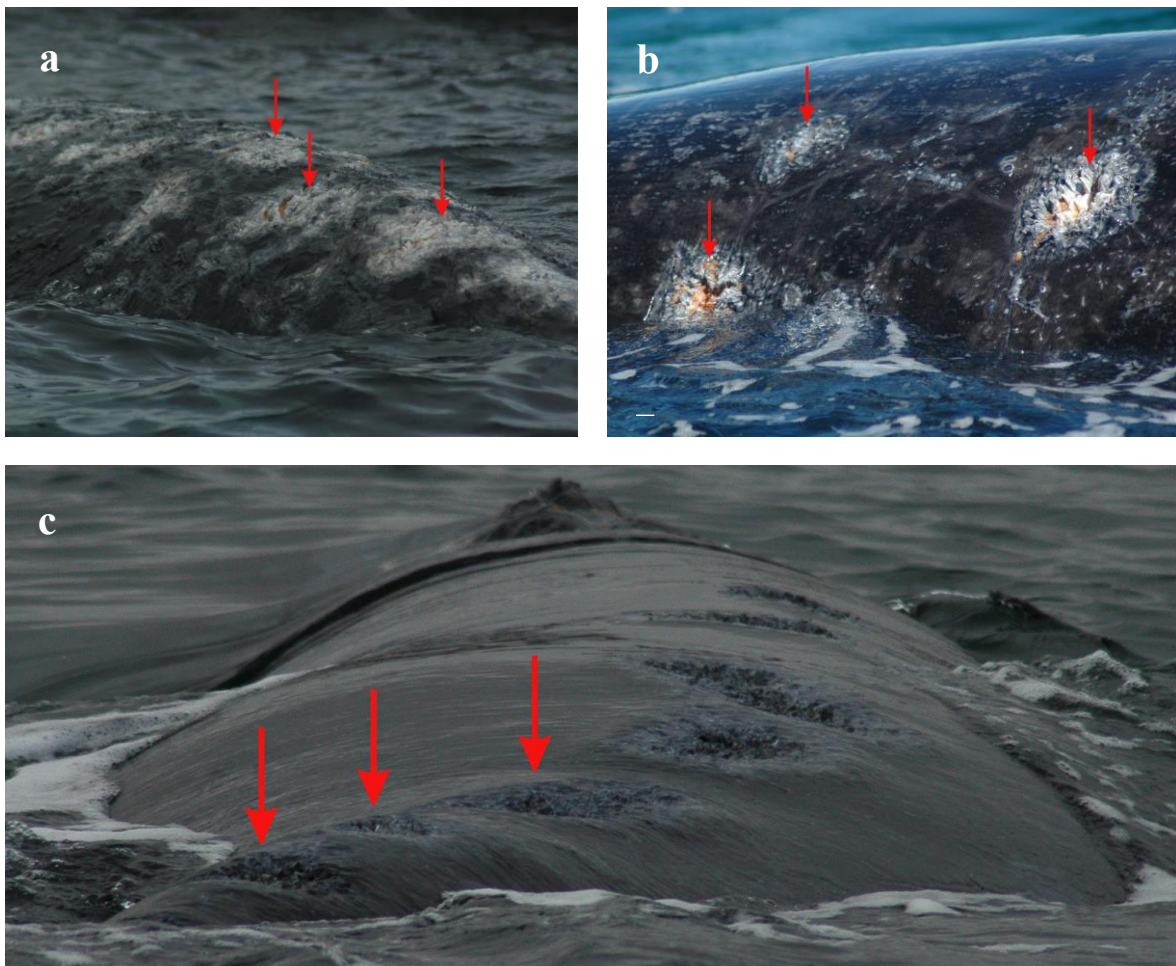
Van Bresse MF, Van Waerebeek K, Aznar FJ, Raga JA, Jepson PD et al. (2009) Epidemiological pattern of tattoo skin disease: A potential general health indicator for cetaceans. *Diseases of Aquatic Organisms* 85(3): 225–237.

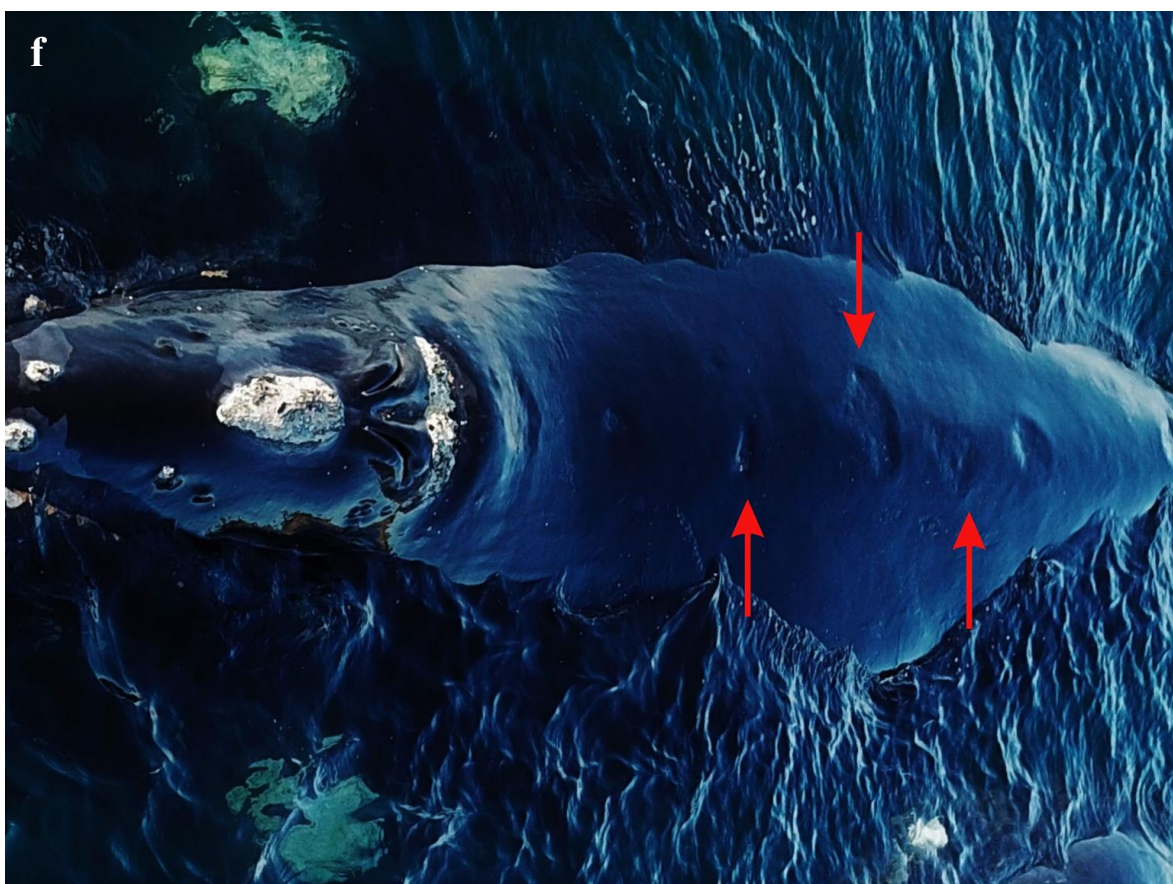
Van Bresse MF, Minton G, Collins T, Willson A, Baldwin R, Van Waerebeek K (2015) Tattoo-like skin disease in the endangered subpopulation of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in Oman. *Zoology in the Middle East* 61(1): 41–48.

ANEXO B: Tipos de heridas

Las heridas se definen como una lesión física que produce una ruptura o alteración en la integridad de la piel, generalmente causada por un trauma externo. En mamíferos marinos, las heridas pueden clasificarse según su origen: *antropogénicas*, como colisiones con embarcaciones o enmallamientos en artes de pesca, así como por *causas naturales*, incluyendo marcas de ataques de depredadores (orcas o tiburones) y lesiones infligidas por no depredadores, como las gaviotas. Esta definición excluye las marcas superficiales que resultan de interacciones sociales, como el roce o el contacto entre individuos antagonistas.

1) Heridas infligidas por gaviotas:





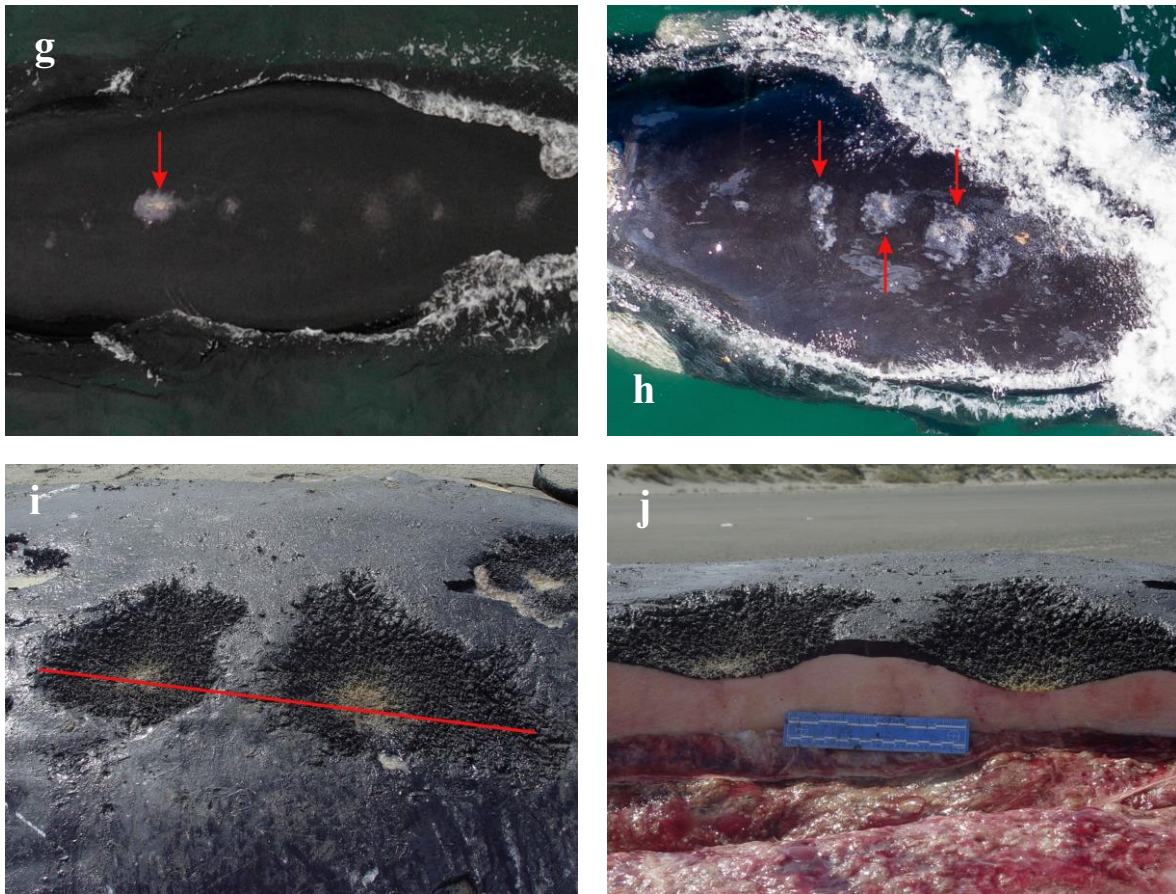


Figura S5. Heridas infligidas por gaviotas (flechas) observadas en BFA, causadas por gaviotas cocineras (*Larus dominicanus*), que desgarran la piel y la grasa subcutánea de las ballenas vivas, generalmente mientras estas descansan o emergen a la superficie, para alimentarse (Marón et al. 2015). (a), (b) y (c) muestran vistas laterales del dorso de ballenas con múltiples heridas reciente. (d) muestra una herida abierta aún sin cicatrizar. (e) y (f) muestran heridas cicatrizadas de distintos tamaños. (g) y (h) muestran heridas con descamación de piel y presencia de *C. erraticus*. (i) y (j) muestran lesiones abiertas en una ballena muerta; en (i) se observan dos heridas y una línea roja que indica el plano del corte transversal mostrado en (j), donde se evidencia inflamación tisular y posible infección debajo de la herida, así como una reducción del espesor del pániculo adiposo. Créditos: (a) y (b) Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés; (c) Carina Marón, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés; (d) and (h) Sebastián Leal, Cota Cero, Las Grutas; (e) y (g) Agustín Baraschi, Atlántico

Avistajes, Las Grutas; (f) Franco Dorini, Puerto San Antonio Este; (i) y (j) Southern Right Whale Health Monitoring Program, Península Valdés.

2) *Amputaciones:*

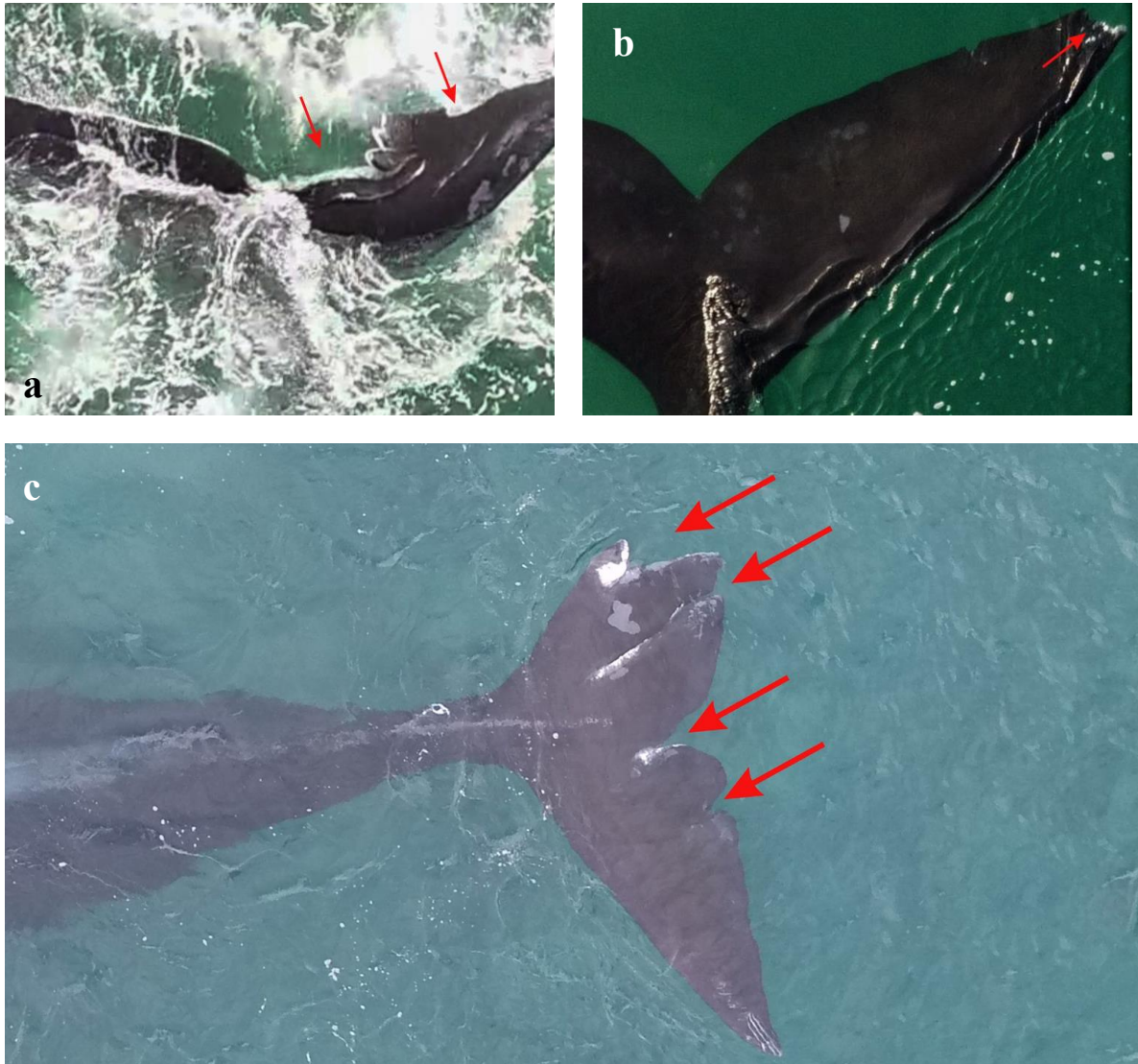


Figura S6. Amputaciones (flechas) observadas en BFA. El término amputación se refiere a la pérdida parcial o completa de una extremidad —como las aletas caudales o pectorales—, observada como ausencia de tejido con bordes lineales o irregulares. Estas heridas pueden deberse tanto a interacciones con actividades antropogénicas como a causas naturales (Luksenburg 2014, Minton et al. 2022). (a) y (b) muestran la amputación parcial de la aleta

caudal izquierda, probablemente causada por un intento de depredación. (c) muestra la amputación parcial de la aleta caudal derecha, así como cicatrices probablemente originadas por una colisión con una embarcación; en esta imagen también se observa una herida lineal en el pedúnculo caudal, posiblemente resultante del mismo evento de colisión, y marcas de dientes en la aleta caudal izquierda. Créditos: (a) Candela Fernández, Puerto San Antonio Este; (b) Nicolás Cetra, Las Grutas; (c) Nicolás Lewin, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés.

3) Heridas por intento de depredación:

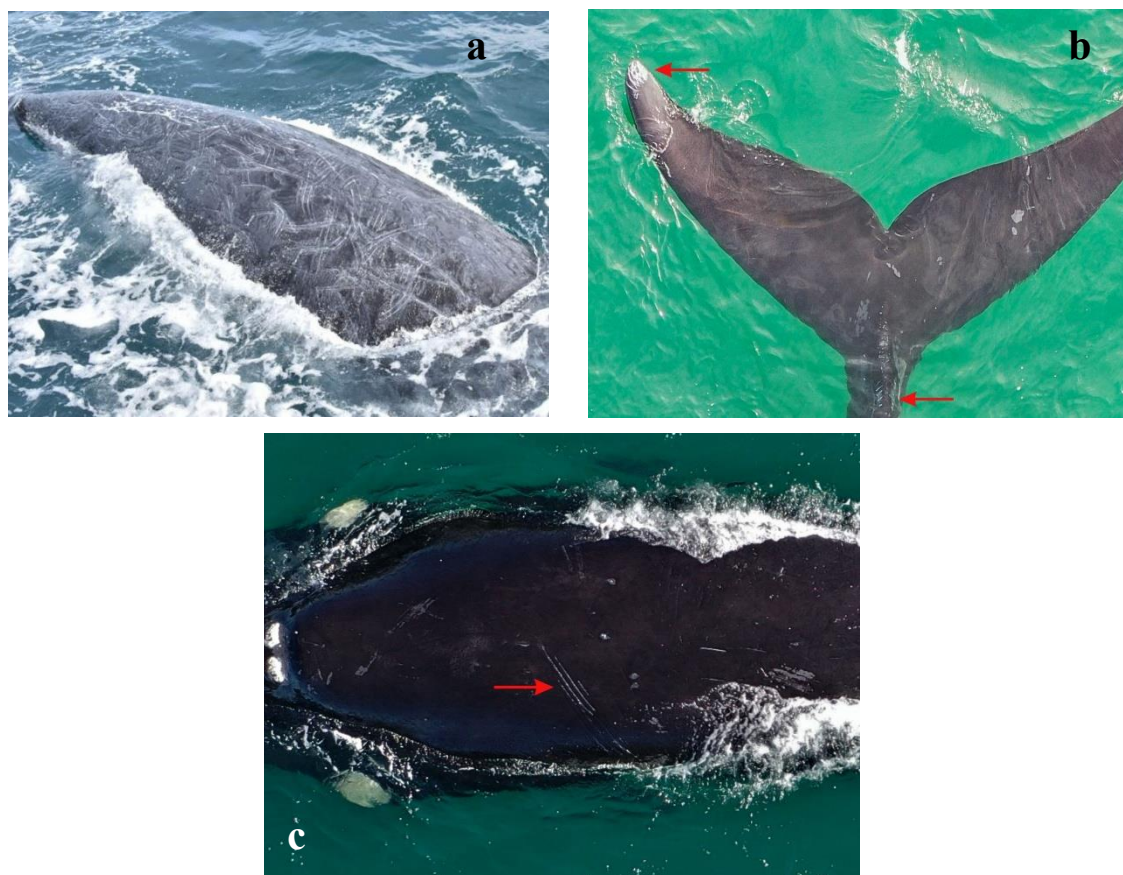
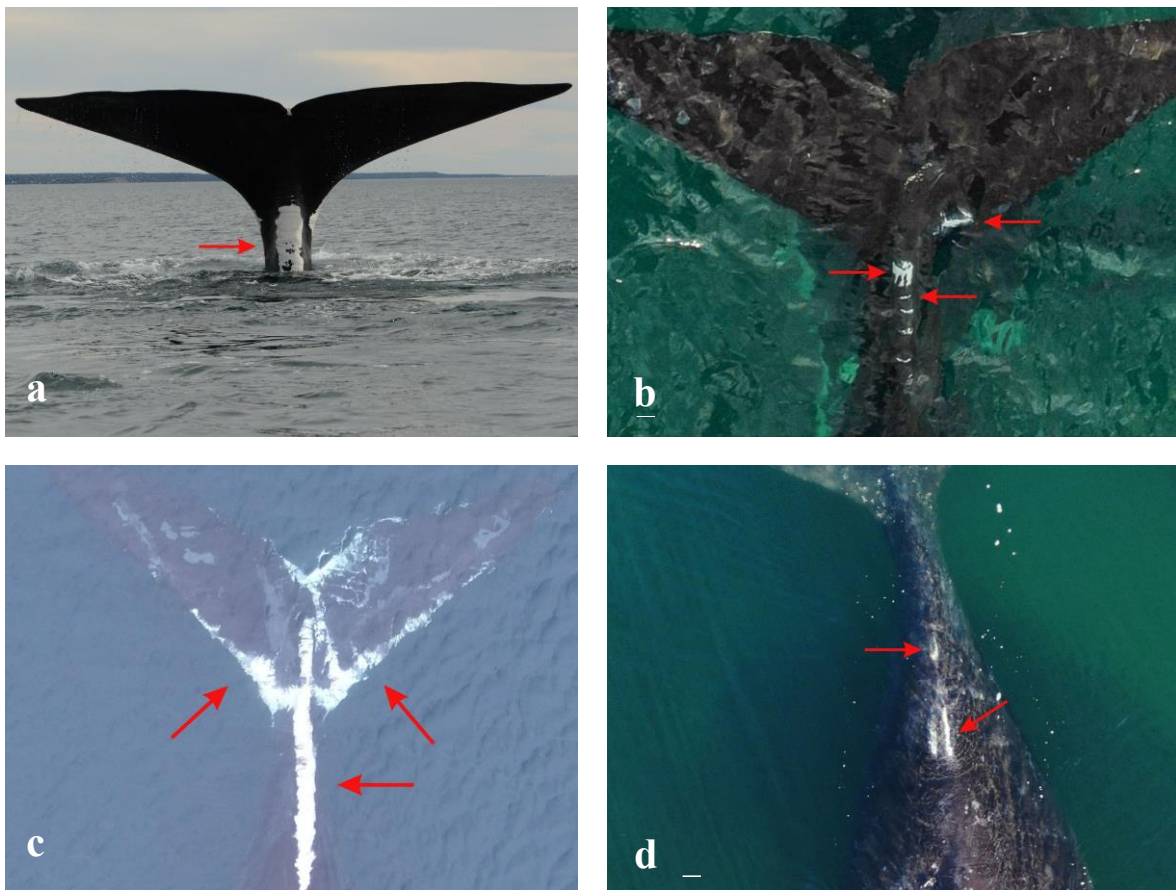


Figura S7. Heridas por intento de depredación (flechas rojas) observadas en BFA, definidas como conjuntos de cicatrices paralelas y lineales —habitualmente tres o más—, aproximadamente equidistantes entre sí, consistentes con marcas de dientes producidas durante

ataques de depredadores (Mehta et al. 2007). (a) muestra el dorso de una ballena completamente cubierto por marcas superficiales de intento de depredación. (b) y (c) muestran marcas superficiales aisladas de intento de depredación en el dorso, y en el pedúnculo y el extremo de la aleta caudal, respectivamente. Créditos: (a) Marcos Ricciardi, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés; (b) y (c) Sebastián Leal, Cota Cero, Las Grutas.

4) Heridas y cicatrices asociadas a enmallamientos:



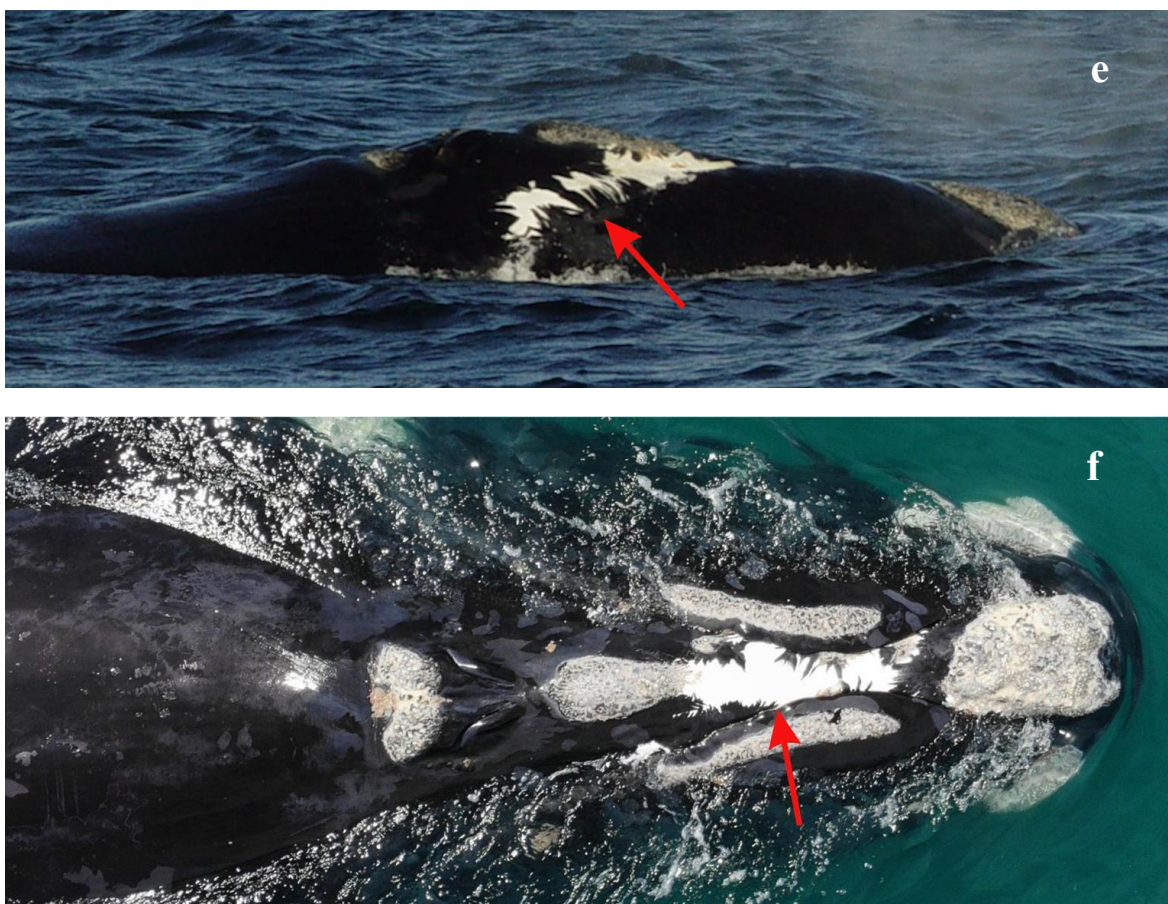


Figura S8. Heridas y cicatrices asociadas a eventos de enmallamientos (flechas rojas) observadas en BFA. Se refieren a lesiones físicas —como cortes lineales, muescas, deformaciones del tejido y cicatrices envolventes— causadas por eventos de enmallamiento en artes de pesca, cabos o residuos marinos, los cuales pueden interferir con la movilidad o la alimentación (Robbins y Mattila 2001, 2004, Johnson et al. 2005, Robbins 2009, Basran et al. 2019, Minton et al. 2022). Estas heridas pueden permanecer visibles mucho tiempo después de que el arte de pesca haya sido liberado o retirado, y suelen afectar regiones como el pedúnculo caudal, la aleta caudal, las aletas pectorales o la cabeza. (a), (b), (c) y (d) muestran cicatrices blancas envolventes que representan heridas ya cicatrizadas. (e) y (f) muestran cicatrices blancas envolventes indicativas de una herida cicatrizada por enmallamiento, probablemente originada por artes de pesca u otros elementos que quedaron sujetos alrededor de la boca. Créditos: (a) Carina Marón, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés; (b), (d)

y (f) Agustín Baraschi, Atlántico Avistajes, Las Grutas; (c) Nicolás Lewin, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés; (e) Mariano Sironi, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés.

5) Heridas asociadas a dispositivos de telemetría:

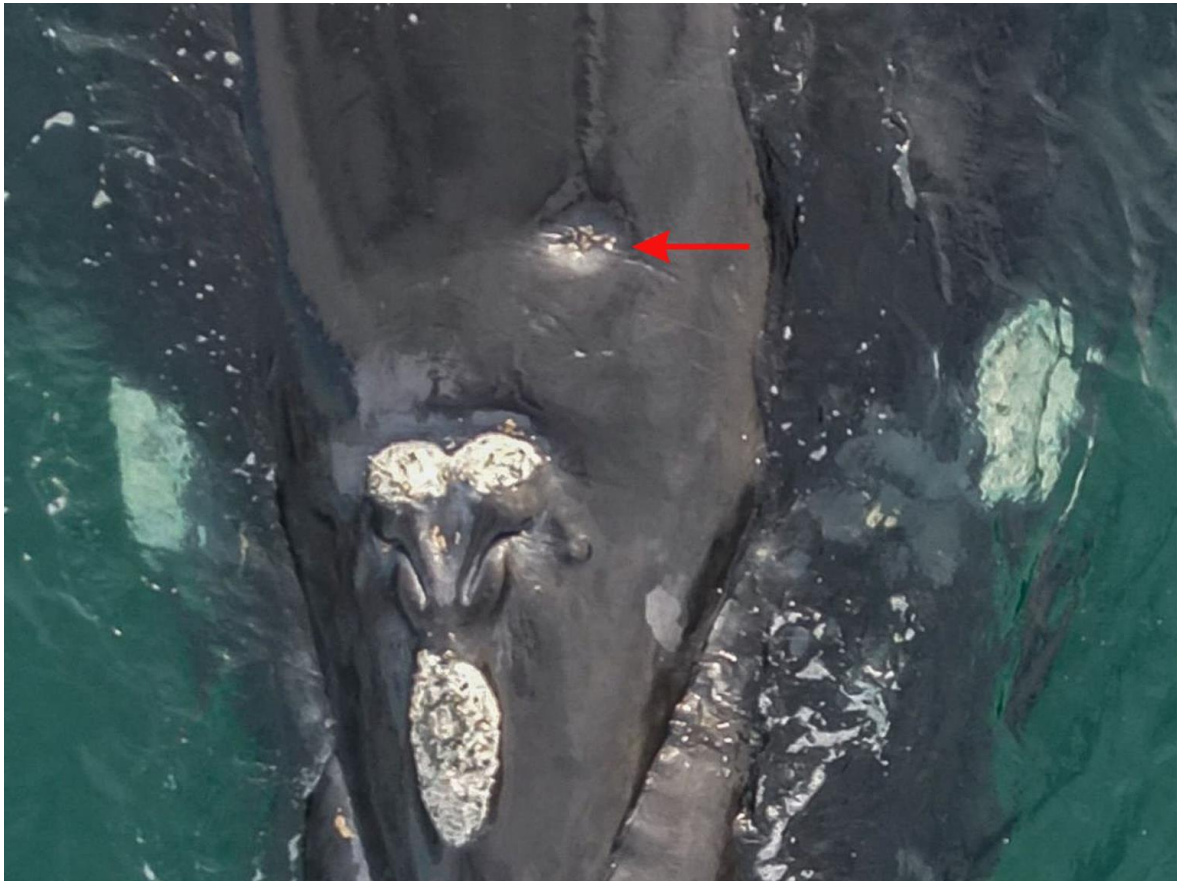


Figure S9. Herida asociada a la colocación de transmisores satelitales (flecha roja) observada en una BFA. Corresponde al daño tisular localizado causado por la implantación de dispositivos de telemetría satelital. Estas heridas suelen encontrarse en las secciones DCR o DCE, donde los transmisores se colocan habitualmente en la parte media-superior del dorso, ligeramente dorsal o lateral a la línea media (Charlton et al. 2023, Gulland et al. 2024). muestra una herida causada por un transmisor previamente desprendido, actualmente en proceso de cicatrización y parcialmente cubierta por piel; la depresión visible es característica de los sitios de fijación del

dispositivo e indica la presencia previa de un transmisor. Créditos: Agustín Baraschi, Atlántico Avistajes, Las Grutas.

6) Heridas asociadas a impacto con embarcaciones:

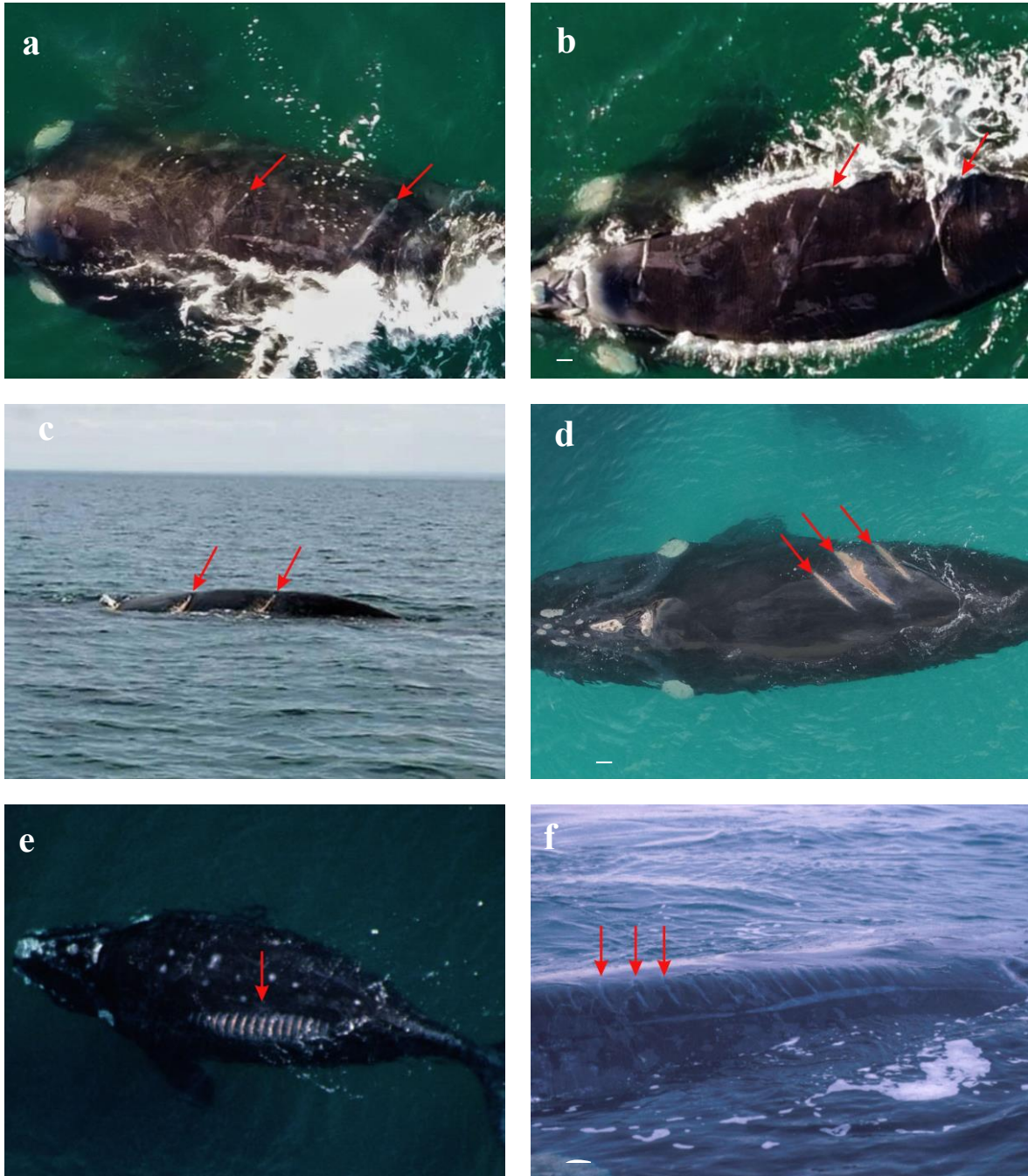


Figure S10. Heridas asociadas a impacto con embarcaciones (flechas rojas) observadas en BFA. Corresponden a heridas producidas por colisiones con una embarcación, incluyendo su

casco, hélice y/o quilla. Estas heridas pueden presentarse como incisiones paralelas o cortes lineales causados por las hélices —con o sin un corte perpendicular adicional asociado a la quilla—, o como traumatismos irregulares por impacto contundente con el casco. Generalmente se observan en la región dorsal del cuerpo, en particular sobre el dorso, el pedúnculo caudal o las aletas caudales (Hill et al. 2017, Minton et al. 2022). (a) y (b) muestran una misma ballena con dos cortes lineales paralelos y ampliamente separados, probablemente resultantes de una colisión con la hélice de una embarcación de gran tamaño. (c) muestra una herida similar aún en proceso de cicatrización, evidente por la coloración del tejido lesionado. (d) muestra tres incisiones recientes, paralelas y más estrechamente espaciadas que en los casos anteriores, con presencia de *C. erraticus*. (e) y (f) muestran múltiples incisiones probablemente causadas por una embarcación pequeña, en dos etapas diferentes de cicatrización: (e) aún abiertas y (f) completamente cicatrizadas, dejando cicatrices visibles. Créditos: (a) y (b) Nicolás Cetra, Camino de la Costa; (c) Claudio Barbieri, Cota Cero, Las Grutas; (d) Fredrick Christiansen; (e) y (f) Mariano Sironi, Instituto de Conservación de Ballenas, Península Valdés.

7) Origen indeterminado:

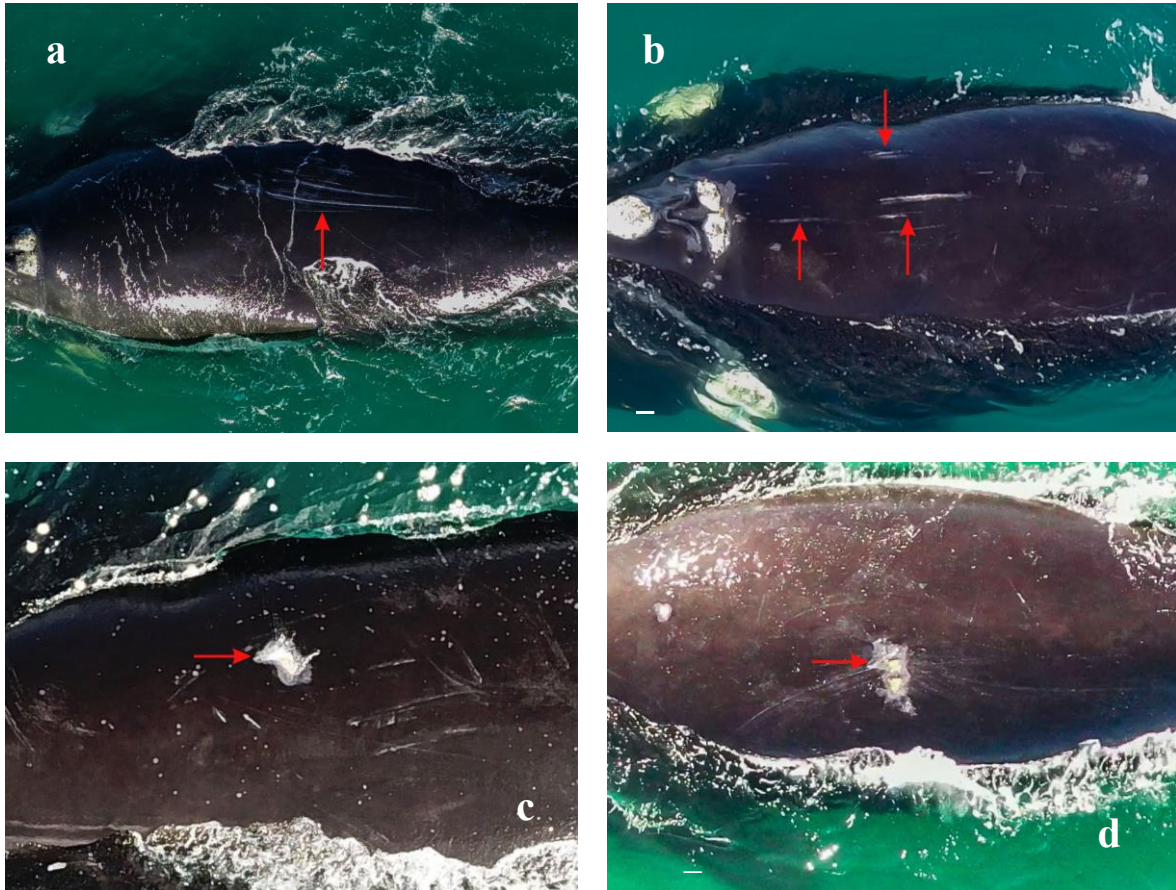


Figure S11. Heridas de origen indeterminado (flechas rojas) observadas en BFA. Corresponden a marcas que no pueden asignarse a ninguna de las otras categorías de heridas. (a) y (b) muestran rasguños irregulares y asimétricos, dispuestos en forma paralela, que alcanzan la capa de grasa. (c) y (d) muestran lesiones en el dorso que probablemente corresponden a heridas en proceso de cicatrización derivadas de escisiones o ulceraciones (Herr et al. 2020). Créditos: (a) Sebastián Leal, Cota Cero, Las Grutas; (b) and (c) Candela Fernández, Puerto San Antonio Este; (d) Sebastián Leal, Cota Cero, Bahía Creek.

Referencias:

Basran CJ, Bertulli CG, Cecchetti A, Rasmussen MH, Whittaker M, Robbins J (2019)
First estimates of entanglement rate of humpback whales *Megaptera novaeangliae* observed in

coastal Icelandic waters. *Endangered Species Research* 38: 67–77.

Charlton C, Christiansen F, Ward R, Mackay AI, Andrews-Goff V et al. (2023) Evaluating short-to medium-term effects of implantable satellite tags on southern right whales *Eubalaena australis*. *Diseases of Aquatic Organisms* 155: 125–140.

Gulland FM, Robbins J, Zerbini AN, Andrews-Goff V, Bérubé M et al. (2024) Effects of satellite-linked telemetry tags on humpback whales in the Gulf of Maine: Photographic assessment of tag sites. Pre-print version.

Herr H, Burkhardt-Holm P, Heyer K, Siebert U, Selling J (2020) Injuries, malformations, and epidermal conditions in cetaceans of the Strait of Gibraltar. *Aquatic Mammals* 46(2): 185–203.

Hill AN, Karniski C, Robbins J, Pitchford T, Todd S, Asmutis-Silvia R (2017) Vessel collision injuries on live humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the southern Gulf of Maine. *Marine Mammal Science* 33(2): 409–430.

Luksenburg JA (2014) Prevalence of external injuries in small cetaceans in Aruban waters, Southern Caribbean. *PLoS ONE* 9(2).

Johnson A, Salvador G, Kenney J, Robbins J, Kraus S, Landry S & Clapham P (2005) Fishing gear involved in entanglements of right and humpback whales. *Marine Mammal Science* 21(4).

Marón CF, Rowntree VJ, Sironi M, Uhart M, Payne RS et al. (2015) Estimating population consequences of increased calf mortality in the southern right whales off Argentina. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee Paper SC/66a/BRG/1.

Mehta AV, Allen JM, Constantine R, Garrigue C, Jann B et al. (2007) Baleen whales are not important as prey for killer whales *Orcinus orca* in high-latitude regions. *Marine Ecology Progress Series* 348: 297–307.

Minton G, Van Bresse MF, Willson A, Collins T, Al Harthi S, Willson MS, et al. (2022)

Visual health assessment and evaluation of anthropogenic threats to Arabian Sea humpback whales in Oman. *Journal of Cetacean Research and Management* 23, 79–98.

Robbins J (2009) Scar-based inference into Gulf of Maine humpback whale entanglement: 2003–2006. Technical report, National Marine Fisheries Service.

Robbins J, Mattila DK (2001) Monitoring entanglements of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Gulf of Maine on the basis of caudal peduncle scarring. Technical report, International Whaling Commission Scientific Committee SC/53/NAH25.

Robbins J, Mattila DK (2004) Estimating humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) entanglement rates on the basis of scar evidence. Final Report, Northeast Fisheries Science Center, Woods Hole, Massachusetts.

ANEXO C: Planillas de análisis estandarizadas

Este anexo describe las tres hojas de cálculo desarrolladas para implementar el protocolo de evaluación visual de la condición física de la ballena franca austral.

La hoja Scoring template (Figura S12) constituye el núcleo operativo del sistema y está organizada en dos tablas principales vinculadas entre sí que estructuran y automatizan todo el proceso de evaluación visual de cada set de imágenes. La primera tabla, ubicada en la parte superior, concentra los datos generales del individuo asociado al set. En ella se ingresan el código del set, el número de días en que la ballena fue observada y las fechas de primer y último avistaje. La primera mitad de esta tabla incorpora validaciones automáticas, como la verificación del rango temporal —que genera una advertencia si supera los 19 días establecidos como límite—, y permite completar información biológica y demográfica (sexo, clase reproductiva y clase de edad) mediante menús desplegables. La segunda mitad permite calcular automáticamente el número total de secciones visibles y la clase de confianza correspondiente, así como los valores finales de los tres índices de condición física evaluados (ICC, ICP e ISH). La segunda tabla, ubicada debajo, corresponde a la evaluación detallada por secciones corporales (C, DCR, DCE, DCA, P, AC, APD y API). En esta tabla se indica si cada sección fue o no visible y se completan los campos específicos asociados a los tres índices del protocolo. Para el ICC, se selecciona la forma corporal observada en las secciones DCR y DCE, y la planilla asigna automáticamente el valor final cruzando ambas categorías con la tabla de combinaciones válidas (Tabla 7), devolviendo #N/A cuando la combinación no es admisible. En el caso del ICP, se registran la ausencia o presencia y extensión de lesiones, la cobertura de *C. erraticus* y la proporción afectada en cada sección visible, mientras que las fórmulas integradas calculan el puntaje final. Para el ISH, se consignan el tipo de herida, la profundidad, la sección comprometida y la proporción afectada; nuevamente, el índice se calcula de forma

automática o devuelve #N/A cuando los datos no coinciden con las categorías válidas del protocolo.

Además, esta hoja incorpora herramientas adicionales que facilitan su uso. Entre ellas se incluye un botón Clean, que elimina exclusivamente los campos completados por el usuario sin alterar las fórmulas internas, y una tabla de referencia bloqueada que contiene todas las combinaciones válidas de secciones visibles utilizadas para asignar la clase de confianza (Tabla 5).

La hoja Overall indices (Figura S13) funciona como un resumen centralizado de los resultados finales obtenidos a partir de la evaluación visual de cada set de imágenes registrados en la primera tabla de la hoja anterior. Dicha tabla debe copiarse y pegarse en esta hoja que registra la información biológica de cada set y los valores finales de los índices. El propósito principal de esta hoja es consolidar en una sola tabla toda la información general de cada set evaluado.

Por su parte, la hoja All sections evaluated (Figura S14) complementa a la hoja Overall indices al registrar el detalle completo de la evaluación realizada en la segunda tabla de la hoja Scoring template para cada sección corporal, conservando la información desagregada por sección, permitiendo un análisis más fino del estado físico de cada set evaluado. Para cada set, la hoja reúne los datos correspondientes a las ocho secciones corporales evaluadas (C, DCR, DCE, DCA, P, AC, APD y API), registrando tanto la visibilidad de cada sección como los puntajes de ICC, ICP e ISH asignados para cada una de ellas. Además, puede incluir observaciones específicas asociadas a lesiones o heridas particulares, cuando corresponde.

El archivo incluye una serie de consideraciones importantes para garantizar su correcto funcionamiento. Todas las fórmulas centrales utilizadas en el sistema se encuentran respaldadas en la hoja Formula backup, la cual no debe modificarse bajo ninguna circunstancia. Asimismo, antes de utilizar el botón Clean, es necesario copiar todos los valores —sin fórmulas— a las hojas Overall indices y All sections assessed, a fin de preservar la información registrada

durante la evaluación. Finalmente, las celdas que contienen listas desplegables deben mantenerse intactas, modificándose únicamente el contenido seleccionable por el usuario y no la configuración de cada campo. Además, se creó un enlace de descarga específico, anexo al protocolo, para que cualquier persona interesada pueda descargar el archivo y utilizarlo en forma directa y estandarizada.

Notes: 1. Red warning alert when a sighting period falls outside the 10-day window from the first sighting. 2. Columns marked with * must be filled for the formulas to work properly. 3. To remove a cell's content, select it and press the 'Delete' key on your keyboard. 4. Do not delete any results or calculated values in the scoring template, as this will remove the formulas. Only the cells with drop-down list content (used for scoring) should be edited or changed. 5. The 'Formula Backup' worksheet contains all the formulas used in this worksheet, in case any of them are accidentally deleted.															CLEAN									
Table S1: General data and overall score																								
Whole's Set	Observation period				Biological and demographic data				Sections		Scores			General comments										
	# of dates the whale has been observed	Date of first sighting (dd/mm/yyyy)	Date of last sighting (dd/mm/yyyy)	Date Range Check	Location	Sex	Reproductive class	Age class	Total number of visible sections	Confidence class	Body Condition Score	Overall Skin Condition Score	Overall Wound Severity Score											
				0		-	-	-	0	#N/A	#N/A	#N/A	#DIV/0!											
Table S2: Whale's assessment																								
Whole's Set	Observation period			Sections		Body condition Index		Skin Condition Index				Wound Severity Index				Sections Comments								
	# of dates the whale has been observed	Date of first sighting	Date of last sighting	Body section	Photo Quality (Q1, Q2, Q3)	*Section shape	Body Condition Score	*Skin lesion?	*Proportion covered by skin lesion	*Presence of <i>Cyamus ereticus</i> ?	*Proportion covered by cyamids	Skin condition score	*Wound?	Cause of wound?	*Depth		*Proportion covered by wound	Wound condition score						
				H	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A							
				CRD	-	-		-	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A						
				CEB	-	-		-	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A						
				CAD	-	-		-	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A						
				P	-	-		-	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A						
				F	-	-		-	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A						
				RP	-	-		-	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A						
				LP	-	-	-	-	-	-	-	#N/A	-	-	-	-	#N/A							

Figura S12. Vista general de la hoja principal utilizada para la carga de datos y la evaluación visual. Incluye los campos de información general del set, las validaciones automáticas, y la tabla de evaluación por secciones corporales donde se registran los valores que luego alimentan las hojas Overall indices y All sections assessed

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Whale's Set	Observation period				Biological and demographic data				Scores		Scores			
2		# of dates the whale has been observed	Date of first sighting (dd/mm/yyyy)	Date of last sighting (dd/mm/yyyy)	Date Range Check	Location	Sex	Reproductive class	Age class	Total number of visible sections	Confidence class	Body Condition Score	Overall Skin Condition Score	Overall Wound Severity Score	
3	M0001	1	24/08/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	6	5 - Very high confidence	1	1	1	
4	M0002	1	24/05/2024		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	5	3 - Moderate to high confidence	2	1,25	1	
5	M0003	1	24/05/2024		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Adult	4	2 - Moderate confidence	1	1	1	
6	M0005	2	14/07/2020	16/07/2020	2	Las Grutas	Unknown	Without calf	Adult	5	3 - Moderate to high confidence	1	1,25	1	
7	M0006	1	16/07/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	5	3 - Moderate to high confidence	1	1	1	
8	M0007	1	16/07/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	6	5 - Very high confidence	1	NA2	1	
9	M0008	1	19/07/2020		0	La Grutas	Unknown	Without calf	Adult	4	2 - Moderate confidence	1	NA2	1	
10	M0009	1	18/07/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Unknown	4	2 - Moderate confidence	2	NA2	1	
11	M0010	1	19/07/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Unknown	3	1 - Low to moderate confidence	1	NA2	1	
12	M0011	1	22/08/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	5	3 - Moderate to high confidence	2	NA2	1	
13	M0012	1	22/08/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	5	4 - High confidence	2	NA2	1	
14	M0013	1	22/08/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	6	5 - Very high confidence	2	1	1	
15	M0015	1	29/08/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Juvenile	6	5 - Very high confidence	1	1,16666667	1	
16	M0016	1	2/09/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Adult	4	2 - Moderate confidence	1	1	1	
17	M0017	1	2/09/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Adult	4	2 - Moderate confidence	1	1	1	
18	M0019	1	2/09/2020		0	Las Grutas	Unknown	Without calf	Unknown	6	5 - Very high confidence	1	NA2	1	

Figura S13. Hoja Overall Indices. Resumen centralizado de los valores finales obtenidos para cada individuo. Esta hoja compila la información general, la clase de confianza y los puntajes finales de los índices ICC, ICP e ISH, constituyendo la base de datos principal para los análisis estadísticos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Whale's Set	# of dates the whale has been observed	Date of first sighting	Date of last sighting	Body section	*Visible / not visible	Body condition Index		Skin Condition Index				Wound Severity Index					Sections Comments			
2							*Sections shape	Body Condition Score	*Skin lesion?	*Proportion covered by skin lesion	*Presence of Cymatus erraticsus?	*Proportion covered by cymids	Skin condition score	*Wound?	Cause of wound?	*Depth	*Proportion covered by wound		Wound condition score		
3	M0001	1	24/08/2020		H	Q1			1 Absent		Present	<50%		1 Absent				1			
4					CRD	Q1	Rectangular		Absent		Absent			1 Absent				1			
5					CED	Q1	Rectangular		Absent		Absent			1 Absent				1			
6					CAD	Q1			Absent		Absent			1 Absent				1			
7					P	Q2							#N/A	Absent				1			
8					F	Q2							#N/A	Absent				1			
9					RP	Q3							#N/A					#N/A			
10					LP	Q3							#N/A					#N/A			
11	M0002	1	24/05/2024		H	Q1			2 Absent		Present	<50%		1 Absent				1			
12					CRD	Q1	Rectangular		Present	<25%	Absent			2 Absent				1	Skin lesion: clustered blisters on a gull inflicted wound		
13					CED	Q1	Tapered		Absent		Absent			1 Absent				1			
14					CAD	Q1			Absent		Absent			1 Absent				1			
15					P	Q2							#N/A	Absent				1			
16					F	Q3							#N/A					#N/A			
17					RP	Q3							#N/A					#N/A			
18					LP	Q3							#N/A					#N/A			
19	M0003	1	24/05/2024		H	Q1			1 Absent		Present	<50%		1 Absent				1			
20					CRD	Q1	Rectangular		Absent		Absent			1 Absent				1			
21					CED	Q1	Rectangular		Absent		Absent			1 Absent				1			
22					CAD	Q1			Absent		Absent			1 Absent				1			
23					P	Q3							#N/A					#N/A			
24					F	Q3							#N/A					#N/A			
25					RP	Q3							#N/A					#N/A			
26					LP	Q3							#N/A					#N/A			

Figura S14. Hoja All sections assessed. Detalle sección por sección de cada individuo evaluado. Esta hoja integra la visibilidad de las secciones y los valores asignados para ICC, ICP e ISH, permitiendo comparaciones intra e interindividuales y la integración de la información en modelos estadísticos.