

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Uso de drones para el estudio de cetáceos: Perspectivas en el estudio ecológico de ballenas y delfines, y potencial aplicación en la costa Norte del Ecuador

Alex Mateo Valencia Hidrobo
Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Biólogo con concentración en Ecología Marina

Quito, 14 de mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Uso de drones para el estudio de cetáceos: Perspectivas en el estudio ecológico de ballenas y delfines, y potencial aplicación en la costa Norte del Ecuador

Alex Mateo Valencia Hidrobo

Nombre del profesor, Título académico

Judith Denkinger, PhD.

Nombre del profesor, Título académico

Javier Oña, M. Sc.

Quito, 14 de mayo de 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Alex Mateo Valencia Hidrobo

Código: 00200000

Cédula de identidad: 1723223036

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Hasta la actualidad, el estudio de cetáceos ha sido comúnmente abordado mediante acercamientos visuales a bordo de barcos, como desde vehículos aéreos tripulados. Y con los recientes avances tecnológicos, el desarrollo de vehículos aéreos pequeños no tripulados (drones–VANT) se estaría consolidando como una potencial herramienta complementaria para distintos enfoques de estudio de cetáceos. Ante lo cual, se planteó el objetivo general de determinar las distintas perspectivas y aplicaciones que el uso de drones puede ofrecer para el estudio de cetáceos, mediante una revisión descriptiva de la literatura. Y de manera más específica, se pretendió analizar el uso de un dron para determinar perspectivas preliminares sobre los comportamientos sociales superficiales de grupos competitivos de ballenas jorobadas en la costa Norte de Ecuador. De esta forma, la investigación mantiene un enfoque descriptivo y analítico que, sin presentar un diseño sistemático, se avalúa como potencial referente para futuros estudios afines al uso de drones dentro de un ámbito científico. Pues se obtuvieron cinco enfoques de estudio que, desde distintas aproximaciones, reportan el uso de drones en investigaciones sobre cetáceos. Siendo estos, enfoques de estudios fisiológicos, etológicos, de dinámicas de poblacionales, de evaluación del estado de salud y de vulnerabilidad, y de otros aspectos ecológicos sobre cetáceos. Todos bajo los cuales se evidenciaron distintas perspectivas que fueron obtenidas a partir de análisis de las imágenes aéreas provistas por los drones y que no suelen ser reportadas desde otros tipos de acercamientos. En cuanto al análisis del uso de drones para el estudio de comportamientos sociales superficiales de ballenas jorobadas en Ecuador, se encontró una mayor facilidad de detección de crías y del número de individuos, así como una mejor visualización de los cambios de orientación de los individuos, en las tomas obtenidas por el dron. Lo que permitió realizar una descripción preliminar sobre los comportamientos sociales superficiales observados en un grupo competitivo de ballenas jorobadas, en la costa Norte de Ecuador. Por último, y a manera de conclusión, se determinó que el uso de drones en estudios sobre cetáceos tiene un gran potencial para expandir los conocimientos sobre la fisiología, la etología, la ecología y el estado de conservación de estos organismos. Siempre y cuando se tomen en cuenta las implicaciones y los alcances de esta metodología naciente para cada diseño experimental pretendido, según el enfoque de la investigación.

Palabras clave: Cetáceos, odontocetos, mysticetos, drones, UAVs, revisión descriptiva, perspectivas, aplicaciones, fisiología, ecología, comportamiento, ballenas jorobadas, grupos competitivos, comportamientos sociales, Ecuador.

ABSTRACT

To this day, the study of cetaceans has been commonly approached by observations from ships as from manned aerial vehicles. With recent technological advances, the development of small unmanned aerial vehicles (drones) is a potential complementary tool for different cetacean research approaches. In this sense, the general objective was to determine the different perspectives and applications the use of drones can offer for the study of cetaceans through a descriptive review of the literature. More specifically, it was intended to analyze the use of a drone in order to document the superficial behaviors of competitive groups of humpback whales off northern Ecuador. This study provides a descriptive and analytical approach as a reference for potential future studies related to the use of drones for whale research. Additionally, through five case studies the use of drones in specific cetacean research in the field of physiology, ethology, population dynamics, health assessment and other ecological aspects is documented. With a local case study off the coast of Esmeraldas, with the use of drones for the improved detection of young and of the number of individuals, as well as a better visualization of the movement changes of individuals, was found. Finally, it was determined that the use of drones in cetacean studies has great potential to expand knowledge about the physiology, ethology, ecology, and conservation status of these animals. As long as the implications and limitations of this nascent methodology are taken into account for each intended experimental design, according to the research approach.

Key words: Cetaceans, odontocetes, mysticetes, drones, UAVs, descriptive review, perspectives, applications, physiology, ecology, behavior, humpback whales, competitive groups, social behaviors, Ecuador.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	11
Metodología.....	14
Resultados.....	17
Uso de drones y perspectivas sobre la fisiología de los cetáceos.....	22
Uso de drones y perspectivas sobre el comportamiento de cetáceos	24
Uso de drones y perspectivas sobre las dinámicas de las poblaciones de cetáceos.....	26
Uso de drones y perspectivas sobre el estado de salud y vulnerabilidad de individuos y de poblaciones de cetáceos.....	28
Uso de drones y perspectivas sobre otros aspectos ecológicos de los cetáceos	31
Análisis del uso de drones para el estudio de comportamientos sociales superficiales de ballenas jorobadas, en la costa Norte de Ecuador.	32
Discusión	35
Conclusiones.....	40
Referencias bibliográficas	42
Anexos.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Criterios para inclusión y exclusión de artículos</i>	15
Tabla 2. <i>Comportamientos observados para dos grupos focales de ballenas jorobadas, analizados bajo distintos enfoques de observación.</i>	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Prisma de selección y filtro de artículos relevantes para la pregunta de investigación</i>	17
Figura 2. <i>Número acumulativo de estudios que reportan el uso de drones en investigaciones sobre cetáceos en la última década (Hasta febrero del 2021)</i>	18
Figura 3. <i>Número de estudios publicados que reportan el uso de drones en investigaciones sobre cetáceos, en base al subgrupo taxonómico estudiado.</i>	19
Figura 4. <i>Clasificación de resultados de acuerdo con el número de artículos por enfoque de estudio y el subgrupo taxonómico estudiado, mediante el uso de drones.</i>	20

ANEXOS

ANEXO A: Términos de búsqueda	49
ANEXO B: Resumen de la búsqueda en la base de datos SCOPUS.....	50
ANEXO C: Hipervínculo de las tomas aéreas del proyecto Yubarta Cetus.....	51
ANEXO D: Lista de los 46 documentos incluidos en la revisión	52
ANEXO E: Clasificación de perspectivas reportadas para el uso de drones bajo distintos enfoques de estudio.....	59
ANEXO F: Categorización de los tipos de datos recolectados por drones en estudios etológicos sobre cetáceos.....	64

INTRODUCCIÓN

Hasta la primera década del siglo XXI, la forma más común de observar y estudiar cetáceos residía bajo una perspectiva basada en botes (Hoyt, 2018; Sprogis, et al., 2020). Esta perspectiva puede verse limitada por dos factores principales: los momentos relativamente cortos en los que el animal se encuentra cerca de la superficie; y el ángulo de observación, comprometido por la distancia y la altura a la que se encuentra el observador en el bote (Torres, et al., 2020). De forma que existe una considerable limitación, tanto temporal como visual, al momento de estudiar a los mamíferos marinos como los cetáceos.

Existen al menos 83 especies de cetáceos que, bajo el suborden, se distribuyen en todos los océanos del mundo e incluso en algunos ríos de ciertos continentes (Carwardine, 2019; Poor, 2020). Actualmente, la IUCN reporta a 3 especies de cetáceos en peligro crítico, 8 especies en peligro, 7 especies en estado vulnerable y 58 especies en peligro menor (IUCN, 2004). Por lo que estudiarlos podría representar un mayor aporte para la conservación de varias especies de cetáceos dada su importancia ecológica, biológica e incluso económica para algunas comunidades humanas (World Cetacean Alliance, 2021). Por su parte, cada especie presenta distintos estilos de vida subacuáticos y estudiarlos ha comprendido un desafío global; no solo por su ocurrencia espaciotemporal, sino también por las condiciones desafiantes de su entorno (Mead, 2020).

Como alternativa a los métodos tradicionales de acercamiento para el estudio de cetáceos, los recientes avances tecnológicos han brindado nuevas herramientas, como los drones. Los cuales pueden integrarse como metodologías efectivas de observación para la investigación científica, y se clasifican bajo conceptos y categorías militares de acuerdo con sus características. En primer lugar, son clasificados como vehículos no tripulados que pueden ser tanto autónomos, como controlados remotamente. Además, son vehículos aéreos no

tripulados categorizados como plataformas de bajas altitudes, que por definición no pueden volar sobre los 4 kilómetros de altura. Y finalmente, dentro de esta categoría se los considera bajo el sinónimo formal de vehículos de ascenso y descenso vertical (Shakhatreh, et al., 2019).

En base a este sistema de clasificación, los drones también pueden ser conocidos como vehículos aéreos no tripulados pequeños o micro, dependiendo de su peso. Muchos de los cuales se han vuelto más accesibles al público en general. Entre las características generales de los drones comerciales, se encuentra que tienen una resistencia limitada a unas pocas horas de vuelo, tienen un rango y cobertura de área de decenas de kilómetros. Su tipo de combustible puede ser por baterías o por paneles solares, y tienen una mayor facilidad de despliegue, de movilidad y de maniobrabilidad en comparación con los vehículos aéreos tripulados (Shakhatreh, et al., 2019).

A raíz de las limitaciones exteriorizadas al momento de estudiar cetáceos, que se mencionaron previamente, los recientes avances tecnológicos del desarrollo de vehículos aéreos pequeños no tripulados representan un mecanismo revolucionario para el estudio de mamíferos marinos en todo el mundo (Christiansen, et al., 2016). Pues, según Fiori (2019), la obtención de tomas aéreas no solo optimiza en proporciones considerables el campo visual con el que se trabaja, sino que también permite obtener respaldos de los marcos visuales capturados en el tiempo limitado que se tiene (Fiori, 2019). Y si bien esta tecnología puede representar una menor pérdida de información y una menor obtención de errores (Tardín, et al., 2014; Fiori, 2019). También existen posibles implicaciones negativas que deben considerarse en todas sus aplicaciones, como los potenciales impactos que pueden ocasionar por el ruido que generan. Los cuales, podrían afectar tanto el comportamiento del individuo o del grupo, como la fisiología de cada individuo estudiado bajo este acercamiento (Christiansen, et al., 2016; Sprogis, et al., 2020).

Con estos avances tecnológicos, el estudio de cetáceos en las costas ecuatorianas no puede resultar ajeno a los beneficios que estos avances puedan ofrecer (Oña, et al., 2020). Pues la relevancia de esta investigación para el contexto ecuatoriano radica en el desarrollo de una recopilación descriptiva de la literatura, sobre las distintas perspectivas y aplicaciones que el uso de drones podría traer. Tanto para el estudio de cetáceos a nivel general, como para el estudio de los comportamientos sociales de las ballenas jorobadas en un área reproductiva localizada en la región del Pacífico Sudeste Tropical.

Como antecedentes, y hasta el conocimiento obtenido, no se ha reportado una revisión que recopile las perspectivas obtenidas por los drones para el estudio de cetáceos, en específico. Ya que la gran mayoría de revisiones sobre el uso de drones en el ámbito marino son ampliamente reportadas para la fauna marina, en general, o para un enfoque de estudio en específico (Schofield, et al., 2019; Wang, et al., 2019; Johnston, 2019; Nowak, et al., 2019). Y en el caso de Ecuador, no se ha encontrado evidencia pública que reporte el uso de drones en un enfoque dirigido a ballenas jorobadas, que no sea el abordado por la presente investigación. Por lo que, frente a los antecedentes expuestos, el presente artículo tiene como objetivos:

- Determinar las distintas perspectivas que el uso de drones puede traer para el estudio de cetáceos.
- Y analizar el uso de drones para el estudio de comportamientos sociales superficiales de ballenas jorobadas en la costa Norte de Ecuador.

METODOLOGÍA

A manera de revisión descriptiva y narrativa, el presente artículo se fundamenta en la examinación de literatura considerada relevante ante un panorama de distintos tipos de estudios sobre cetáceos, que reporten la incorporación de vehículos aéreos pequeños no tripulados comerciales como acercamiento de estudio. Y, por tanto, se avalúa como un potencial referente para futuros estudios afines dentro de un ámbito científico.

Bajo este enfoque, se procedió con la elaboración de un protocolo de búsqueda para la base de datos SCOPUS y el motor de búsqueda Google Scholar, dada su relevancia en el contexto científico y su naturaleza de libre acceso para la comunidad científica. El protocolo se elaboró en base a la pregunta de investigación, la cual permitió categorizar los términos de búsqueda de acuerdo con tres aspectos: Población, Intervención y Output.

Entre los principales términos de búsqueda para la población se incluyeron palabras booleanas como: “cetaceans”, “whales OR porpoises OR dolphins”, “odontoceti”, “misticeti”, entre otros. En cuanto a los términos de búsqueda para el factor de intervención o de exposición, se incluyeron términos como: “Small AND unmanned AND aerial AND vehicle*”, “drone*”, “UAVs”, entre otros. Y finalmente, para los términos de búsqueda para el output se incluyeron términos como: “perspective*”, “viewpoint*”, “insight*”, entre otros (véase Anexo A y B). Los términos fueron aplicados para una búsqueda en los títulos, abstracts y palabras clave de los artículos. Cabe mencionar que la búsqueda se limitó a determinados criterios de exclusión que se justifican y detallan en la tabla 1, a continuación.

Tabla 1. Criterios para inclusión y exclusión de artículos

Categoría	Criterios de exclusión
Tipo de artículo	Artículo duplicado
	Entradas nulas
	No confiable
	Sin acceso.
	En otro idioma que no sea inglés o español.
Naturaleza del estudio	No incluya el uso de drones en la metodología.
Población	No trate sobre cetáceos.
Intervención	No se trate de vehículos aéreos no tripulados pequeños.
Outcome	No discuta sobre la perspectiva del uso de drones. No incluya datos o análisis de tomas aéreas obtenidas por drones.
Potencial	No tenga potencial.
Indecisión	No pueda decidir.

Entre los criterios de exclusión de artículos más determinantes estaban: el idioma del artículo, metodologías que no incluyan el uso de vehículo aéreos no tripulados pequeños, y cuyo contenido no haga referencia a los tres aspectos que engloba la pregunta: población, intervención y output. Y puesto que lo que se buscó determinar eran las perspectivas que el uso de drones puede brindar para el estudio de cetáceos, solo se incluyeron los artículos que utilizaban sensores de imagen en los drones. Aunque para otros propósitos prácticos se limitó a mencionar otros tipos de sensores que pueden ser incorporados en los drones para el estudio de cetáceos.

Una vez obtenidos los resultados de la primera búsqueda, se procedió con un primer screening de títulos para 1 100 artículos, seguido por un screening de abstracts para los 268 artículos seleccionados. De los cuales, 165 fueron inspeccionados a mayor detalle por un screening de texto completo, dejando un total de 46 artículos. Este proceso de selección se desglosa en el prisma presentado en la figura 1 de los resultados.

Con la selección de artículos finales, se recopilaron todas las perspectivas que se reportaron en los distintos enfoques de estudios sobre cetáceos, al momento de trabajar con drones comerciales en el campo. Una vez descritos estos resultados, se extendió una sección de la presente investigación para analizar el uso de drones en el estudio de comportamientos sociales superficiales de ballenas jorobadas, en la costa Norte de Ecuador. Para lo cual, se recurrió a las tomas realizadas por medio del dron Phantom, bajo los directores del proyecto Yubarta Cetus en asociación con Cetacea Ecuador, durante el período reproductivo de esta especie en el 2018. Por lo tanto, no se reporta un diseño experimental estructurado más allá de un análisis descriptivo y comparativo de observaciones casuales, registradas bajo dos acercamientos distintos. El análisis de las tomas fue realizado posterior a su recolección en campo y bajo un solo observador. Para mayor detalle de las tomas analizadas, el anexo C contiene un hipervínculo del proyecto Yubarta Cetus publicado en la plataforma de YouTube.

RESULTADOS

Se encontraron un total de 1 100 documentos para la búsqueda de literatura en la base de datos SCOPUS y el motor de búsqueda Google Scholar. Sin embargo, solo 46 de estos documentos se incluyeron bajo los criterios de inclusión y el resto fueron descartados por los criterios de exclusión, detallados previamente en la Tabla 1. El proceso de selección se representa en la figura 1. Mientras que los 46 documentos seleccionados se encuentran enlistados en el anexo D, donde se expone: el título, los autores, la fecha y otros detalles de publicación.

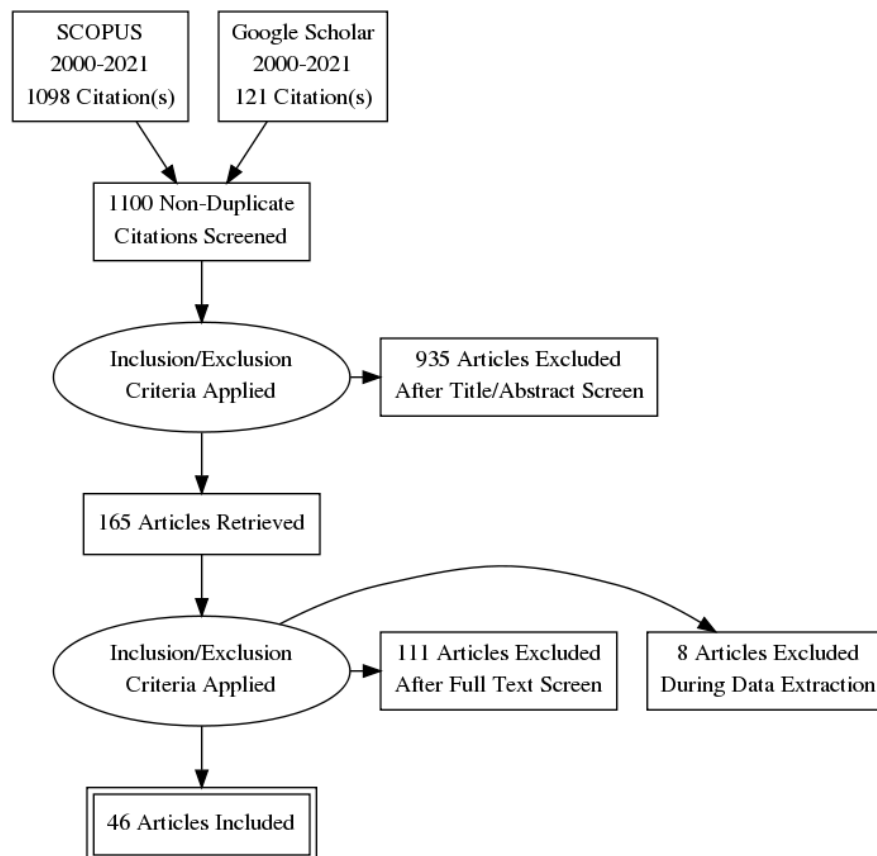


Figura 1. *Prisma de selección y filtro de artículos relevantes para la pregunta de investigación*

De forma analítica, los artículos obtenidos que reportaron el uso de drones para abordar investigaciones sobre cetáceos se clasifican en base a la fecha de publicación, el grupo taxonómico estudiado y el área de enfoque del estudio en las siguientes figuras (figura 2 – 4).

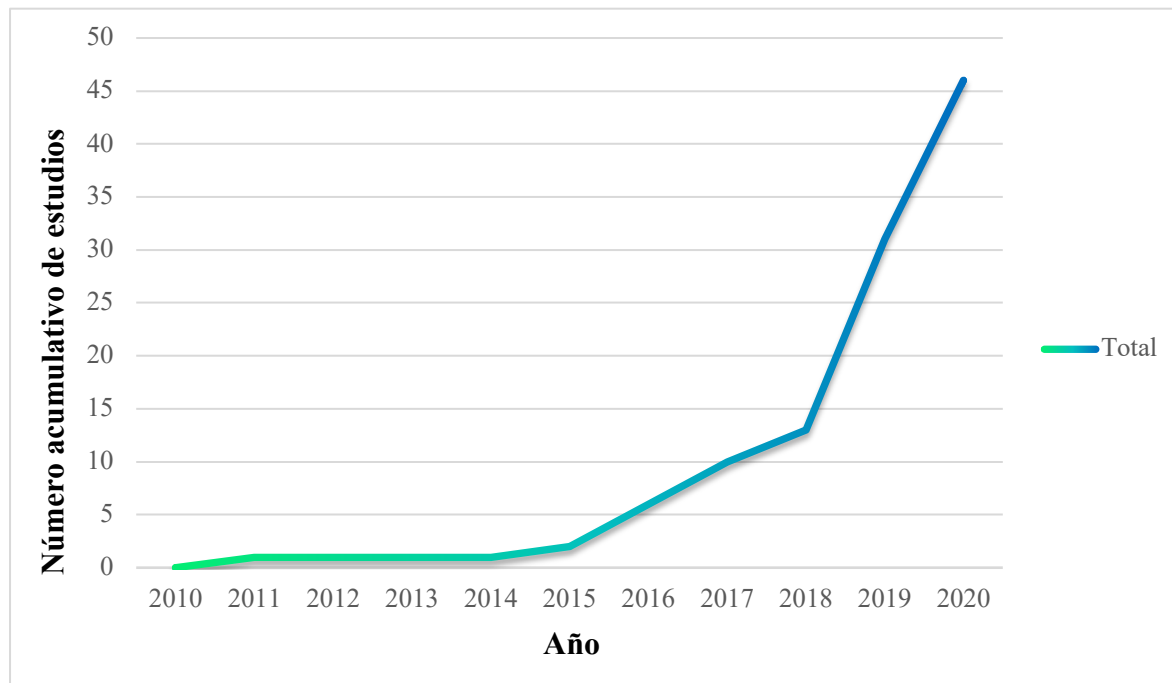


Figura 2. Número acumulado de estudios que reportan el uso de drones en investigaciones sobre cetáceos en la última década (Hasta febrero del 2021)

De los 46 artículos incluidos en la revisión, se encontró que el primer artículo que reportó el uso de drones en estudios dirigidos a cetáceos fue publicado en el 2011. En los 4 años siguientes, se aprecia un ligero incremento en las publicaciones de estudios de esta naturaleza, alcanzando un número acumulado de 13 publicaciones para 2018. Sin embargo, a partir de ese año (2018), se evidenció un incremento considerable en el número de publicaciones que reportarían el uso de drones para abordar estudios sobre cetáceos, como se observa en la figura 2.

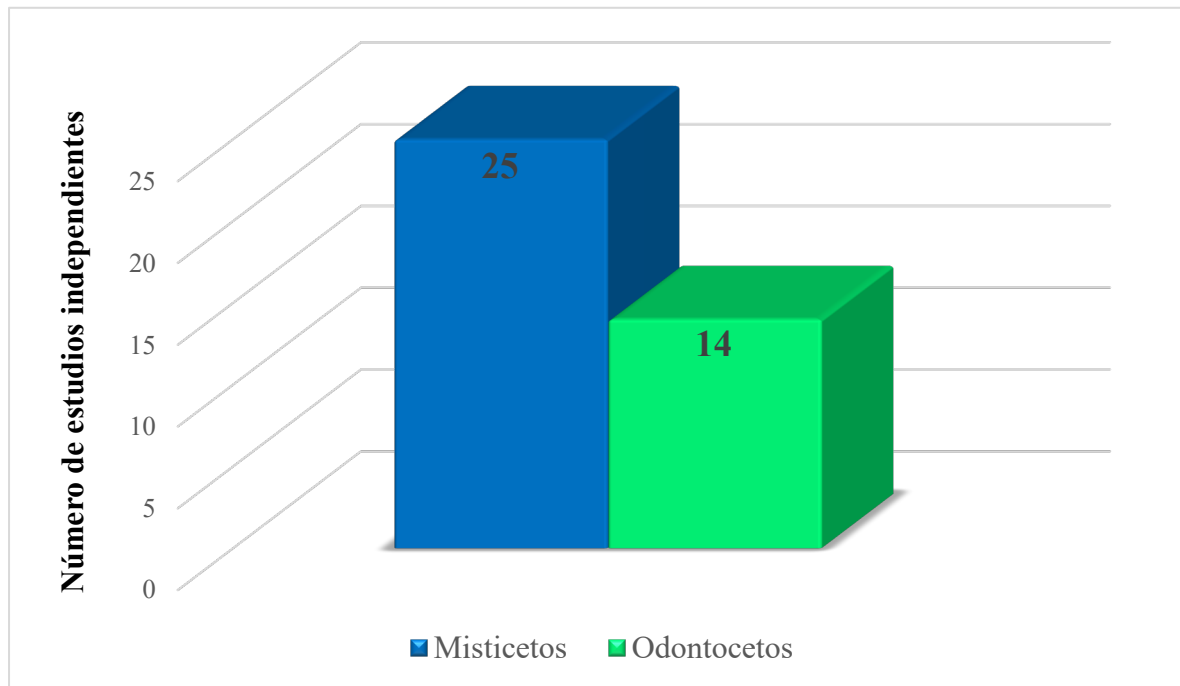


Figura 3. *Número de estudios publicados que reportan el uso de drones en investigaciones sobre cetáceos, en base al subgrupo taxonómico estudiado.*

En cuanto a los dos grandes subgrupos taxonómicos de cetáceos: misticetos y odontocetos; y como se puede apreciar en la figura 3. Se encontró que existe un mayor número de estudios publicados que presentan un acercamiento mediante drones para abordar investigaciones sobre misticetos, en relación con el número de estudios publicados que utilizan drones para abordar investigaciones sobre odontocetos, por una diferencia mayor a 10 publicaciones. Además, se halló que, hasta la fecha de la revisión, existen 9 especies de misticetos y 13 especies de odontocetos estudiadas bajo este acercamiento.

Para una mayor comprensión de la diferencia previamente descrita, se clasificaron los distintos tipos de estudios obtenidos en la revisión, de acuerdo con el enfoque de estudio y el subgrupo taxonómico objetivo, como se lo muestra en la figura 4 a continuación.

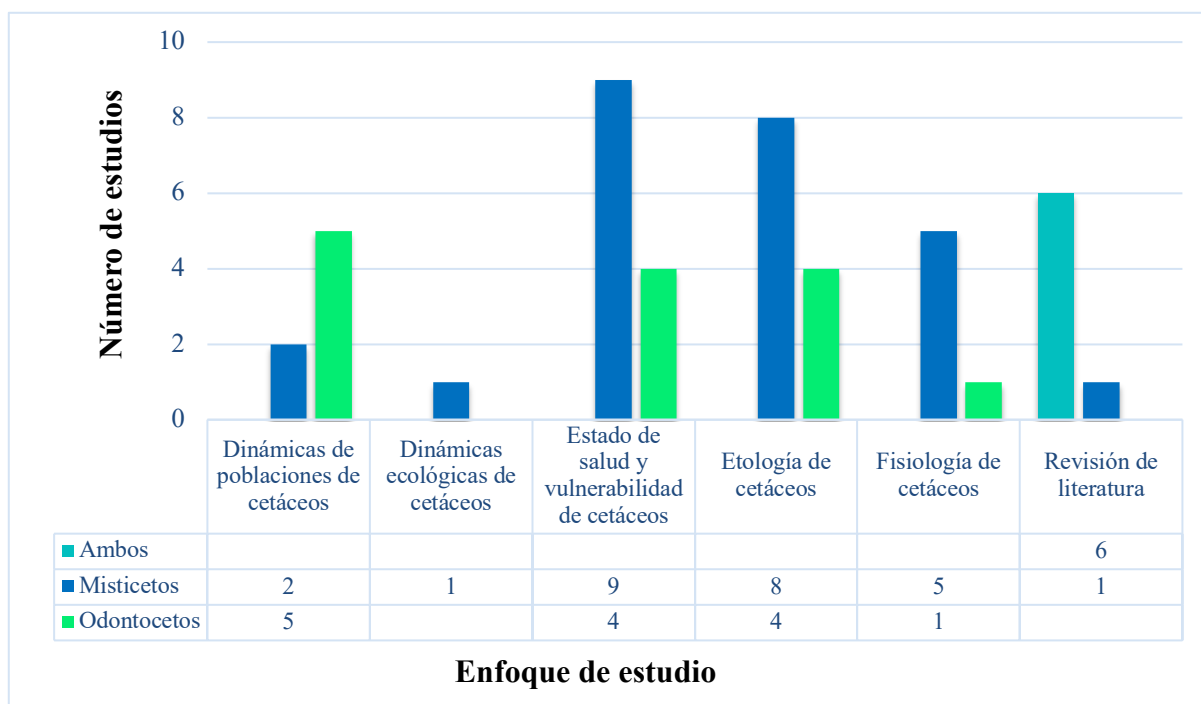


Figura 4. *Clasificación de resultados de acuerdo con el número de artículos por enfoque de estudio y el subgrupo taxonómico estudiado, mediante el uso de drones.*

Por una parte, se evidenció una mayor cantidad de investigaciones sobre misticetos que utilizaron drones como método de acercamiento. Estas investigaciones abordaron enfoques de estudio sobre su comportamiento, su fisiología, y el estado de salud y de vulnerabilidad de individuos de este subgrupo taxonómico. Mientras que, para abordar estas áreas de estudio mencionadas sobre odontocetos, hay una menor cantidad de estudios publicados, que no superan las 4 publicaciones por área. Como a diferencia del enfoque de estudio sobre dinámicas ecológicas de los cetáceos, que fue reportado únicamente para misticetos. Contrario a estos patrones, y como también se lo puede observar en la figura 4, se encontró que hay una mayor cantidad de estudios publicados que reportan el uso de drones para abordar temas sobre las dinámicas de poblaciones en odontocetos, en comparación con un bajo número de estudios sobre las dinámicas de poblaciones de misticetos. Finalmente, se encontraron 7 revisiones de literatura que incluían investigaciones sobre cetáceos mediante el uso de drones, de las cuales

6 mencionaban estudios sobre ambos subgrupos taxonómicos de cetáceos, y solo una revisión se limitó a presentar estudios sobre misticetos, sin incluir especies de odontocetos.

En relación con la pregunta de investigación, se encontraron distintas perspectivas que fueron proporcionadas por drones, dentro del contexto del estudio de cetáceos. Algunas de las cuales refuerzan perspectivas previamente reportadas por observaciones, tanto desde barcos como desde aeronaves; y otras cuyos investigadores las atribuyen como nuevas perspectivas para el estudio de cetáceos. Estas perspectivas se clasificaron de acuerdo con su enfoque de estudio general, bajo la investigación de cetáceos; y se detallan en la tabla E1 del Anexo E.

Como se puede ver en la tabla E1, el uso de drones se ha visto implementado en investigaciones sobre cetáceos bajo distintos enfoques. Por un lado, se encontraron 6 artículos que utilizaron drones para estudiar cetáceos bajo un enfoque relacionado sobre su fisiología. Por otra parte, se obtuvieron 12 artículos que investigaron sobre el comportamiento de varias especies de cetáceos mediante la incorporación de drones en su metodología. De forma similar, 7 estudios utilizaron imágenes aéreas obtenidas por drones, para conocer más sobre el estado y la dinámica de las poblaciones de algunas especies de cetáceos. Por otro lado, el uso de drones permitió indagar más sobre el estado de salud y de vulnerabilidad de distintos individuos de diversas especies de cetáceos, en un total de 13 estudios. Y finalmente, se encontró un solo estudio que reportó el uso de drones de una manera integral, sobre aspectos generales de la ecología marina, y cuyo alcance resalta la función ecológica de una especie de cetáceo como depredador de krill.

Adicional a estos artículos que presentan el uso de drones como una metodología aplicada para determinados enfoques. Se encontraron 7 artículos que realizaron una revisión sobre el uso de drones para distintos enfoques taxonómicos; que abarcaban distintas especies de cetáceos, pero ninguno de estos se especializaba en los cetáceos como el suborden de interés.

Uso de drones y perspectivas sobre la fisiología de los cetáceos

En cuanto a la fisiología de los cetáceos, el uso de drones ha traído consigo nuevas perspectivas visuales que revelan diversos aspectos fisiológicos de los cetáceos. Sobre todo en misticetos, el cual resulta el taxón de mayor estudio bajo este enfoque. Pues al utilizar un dron con determinados equipos de grabación videográfica, se obtienen imágenes que pueden ser analizados tanto en el instante en el que se realizan dentro del contexto práctico, como posterior a ello (Fiori, et al., 2020). Dentro del ámbito fisiológico, el análisis posterior a las grabaciones ha sido de gran utilidad, ya que ha permitido la cuantificación de tres tipos de datos explorables bajo proyecciones específicas sobre la fisiología de los cetáceos. Siendo estos: datos temporales, datos espaciales biométricos y datos cinemáticos (en términos de movimiento sobre tiempo).

Por una parte, los datos temporales han ofrecido medidas de tiempo en términos de la duración del ciclo respiratorio en ballenas jorobadas y en ballenas francas glaciales (Martins, et al., 2020). Lo cual permitió, por primera ocasión, la cuantificación de los ciclos completos de respiración de estas dos especies. Y a su vez, utilizar estos datos en conjunto con los datos espaciales, para inquirir sobre el comportamiento de cada ciclo respiratorio en relación con la abertura y el área de los espiráculos observados en las tomas (Martins, et al., 2020). Constituyendo así, un análisis preliminar de una nueva perspectiva sobre la fisiología respiratoria en misticetos.

Por otro lado, los datos espaciales obtenidos de las imágenes aéreas capturadas por drones, se han consolidado como una herramienta recurrente bajo análisis fotogramétricos y han dado paso a nuevas perspectivas fisiológicas sobre los cetáceos. Para ello se debe aclarar, sucintamente, que la fotogrametría consiste en una técnica analítica que permite obtener medidas reales en base a imágenes digitales, dada la resolución del sensor videográfico y la

altura focal a la que se encontraba el dron (Castrillon & Bengtson, 2020). Como se mencionaba previamente, los datos espaciales de las imágenes capturadas por los drones, ofrecieron medidas del área de los espiráculos en dos especies de misticetos (Martins, et al., 2020). Pero además, han permitido calcular (con cierto rango de error) medidas corporales de ballenas jorobadas con el fin de obtener el índice de la condición corporal de hembras y de crías. Y en base a ello, proporcionar indicios sobre la manera cómo la condición corporal de las hembras tiene un efecto en el desarrollo y la supervivencia de sus crías. Bajo el contexto de la fisiología reproductiva y el costo energético de reproducción de esta especie (Christiansen, et al., 2016).

De forma similar, los análisis fotogramétricos de las imágenes obtenidas por drones, han aportado para la creación de diseños 3D de la especie de marsopa común, bajo fines educativos sobre la morfología de esta especie en relación con: su fisiología, su cinemática de nado, sus variantes evolutivas en cuanto a extremidades se refiere, y la correlación entre el volumen y la masa corporal (Irschick, et al., 2020). Siendo estos aspectos completamente relevantes para una mayor comprensión sobre la fisiología de esta especie de odontoceto. Y cuya aplicación en el ámbito académico podría dar mayor accesibilidad a estos conocimientos.

De manera conjunta con los datos espaciales, los datos cinemáticos obtenidos por drones se han fortalecido como una herramienta analítica para comprender las cinemáticas de locomoción de distintas especies de cetáceos bajo un enfoque fisiológico. Por una parte, la grabación visual de los cetáceos durante el tiempo en el que se encuentran en y cerca de la superficie del agua, ha permitido obtener datos de su locomoción en términos de su movimiento corporal y su velocidad de nado. Lo cual ha ampliado el contexto visual sobre los patrones de nado (Gough, et al., 2019), las dinámicas del engullimiento superficial de presas (Werth, et al., 2019) y las cinemáticas del forrajeo superficial en base a la posición y densidad de agregaciones de krill (Torres, et al., 2020) de ciertas especies de cetáceos. Siendo todos estos aspectos de

suma importancia para comprender más sobre la fisiología de los cetáceos. En base a los patrones de movimiento que resultan de difícil acceso desde una perspectiva horizontal, pero que pueden ser mejor visualizados desde la perspectiva vertical brindada por el uso de drones.

Uso de drones y perspectivas sobre el comportamiento de cetáceos

En relación con los aspectos etológicos de los cetáceos, el uso de drones ha sido sumamente recurrente para realizar grabaciones videográficas de los distintos comportamientos superficiales ejecutados por las especies estudiadas bajo esta metodología (Anexo E). Pues en este campo de estudio, se han llevado a cabo una similar cantidad de investigaciones sobre los comportamientos de misticetos (8 artículos) en comparación con las investigaciones sobre los comportamientos de odontocetos (5 artículos), bajo un acercamiento por drones. En base a estas investigaciones, se ha evidenciado que la realización de tomas aéreas, a través de sensores de alta resolución equipados en los drones, permite tener (además de una mejor perspectiva vertical) un respaldo visual de los datos cinemáticos que hayan sido registrados en el campo. Lo que ha conllevado a incidir en análisis posteriores a la grabación de las tomas, facilitando la interpretación de los datos bajo distintos observadores independientes (Torres, et al., 2018; Hartman, et al., 2020).

Esta capacidad de grabar imágenes (a color y en movimiento) de la perspectiva aérea de segmentos de la superficie del océano, provista por medio de drones; ha posibilitado la clasificación de los comportamientos de los cetáceos en un marco temporal, espacial y cinemático de mayor exactitud y fidelidad que las clasificaciones realizables durante las observaciones de campo bajo una perspectiva desde el barco (Orbach, et al., 2020). Esto se debe a que existe una contabilización y un control del marco temporal más preciso en los análisis de las tomas realizadas, que permite cuantificar los movimientos, acciones y posiciones de los individuos filmados, en base a rangos de tiempos más exactos según lo registra el sensor.

En otras palabras, el uso de drones para las tomas aéreas de comportamientos superficiales de los cetáceos ha permitido la interpretación de datos etológicos bajo tres marcos categóricos: temporal, espacial y cinemático. Estos marcos categóricos se definen mejor en la tabla F1 del Anexo F, en base a los tipos de datos recolectados por drones en estudios sobre el comportamiento de cetáceos.

Como se puede observar en la Tabla F1, la grabación de tomas aéreas de los comportamientos de distintas especies de cetáceos, por medio de drones, ha facilitado la interpretación y cuantificación de los comportamientos bajo distintas dimensiones analíticas. Por un lado, gran parte de las investigaciones han optado por contabilizar las ocasiones que los individuos realizan un determinado evento de comportamiento en un periodo de tiempo, así como la proporción de tiempo que se encuentran en un estado de comportamiento en relación al tiempo total que son visibles en las tomas (Torres, et al., 2018), en términos del marco temporal que brindan las grabaciones.

Por otro lado, los análisis espaciales de las tomas realizadas por drones han permitido definir mejor la composición de los grupos. En términos del número de individuos, el rango de edades y de sexos, así como la identificación de los individuos, con el fin de discernir mejor el ámbito bajo el cual se realizan los distintos comportamientos. Pero adicional a ello, ha facilitado la determinación de distancias, medidas corporales y posiciones de los individuos, con respecto a variables de respuesta comportamental, como otros individuos, estímulos o embarcaciones cercanas (Bouchard, et al., 2019; Morimura & Mori, 2019; Orbach, et al., 2020); incluso cuando estos se encuentran sumergidos cerca de la superficie, pero que no resultarían distinguibles desde una perspectiva basada en barcos.

Finalmente, cabe resaltar que, todas las investigaciones que abordan el estudio de comportamientos de cetáceos mediante el uso de drones han recurrido al análisis de datos

proyectables en un marco cinematográfico. Que en la mayoría de los casos sería de difícil exploración sin la asequibilidad de las tomas aéreas que ofrecen los drones como metodología de estudio (estos tipos de datos se encuentran señalados en la tabla F1 bajo el símbolo *). Por ejemplo, cuando se quiere abordar el estudio de comportamientos grupales, como la sincronización de comportamientos. Las tomas aéreas permiten analizar este enfoque en un campo de observación, cuyos tiempos y secciones visuales de reproducción del video pueden ser controlados y monitoreados por un mismo observador. Lo cual sería sumamente complejo de realizar bajo una perspectiva basada en botes, por un mismo observador (Orbach, et al., 2020). Otro ejemplo recurrente reside en los análisis visuales de eventos de reorientación y estimaciones de la velocidad de nado. Los cuales pueden ser fácilmente abordados en el marco visual ofrecido por los drones, donde los ángulos de orientación de los individuos así como las distancias que nadan en un determinado período de tiempo, se observan perpendicularmente bajo la perspectiva vertical. Y que difícilmente podría ser observado o estimado desde la perspectiva horizontal que se tiene desde las embarcaciones (Fiori, et al., 2020; Sprogis, et al., 2020).

Uso de drones y perspectivas sobre las dinámicas de las poblaciones de cetáceos

Con respecto a estudios sobre la comprensión de las dinámicas de poblaciones de distintas especies de cetáceos, el uso de drones se ha visto implementado en una serie de esfuerzos por cuantificar y estimar la abundancia de especies de cetáceos en determinadas regiones, especialmente para censos de odontocetos. Pues en base a los 7 artículos que reportan el uso de drones en su metodología para abordar temas sobre las dinámicas de poblaciones que incluyen especies de cetáceos, solamente 2 se enfocan en especies de misticetos; mientras que los otros 5 se enfocan en especies de odontocetos. Lo característico del uso de drones como una metodología menos invasiva para la determinación de la abundancia local de distintas

especies de cetáceos, reside en: a) los análisis cinemáticos de las tomas, que permiten contabilizar el número de individuos por marco de toma (Kelaheer, et al., 2020); b) junto con el respectivo análisis espacial por unidad de tiempo que, a su vez, permite la identificación de individuos con el fin de evitar contabilizar los mismos individuos por repetido (Subhan, et al., 2019).

Además, se encontró que la gran mayoría de estudios enfocados en las dinámicas de poblaciones de odontocetos reportan una gran efectividad y probabilidad de identificación de individuos de especies de odontocetos, mayormente del género *Turisops*, incluso cuando su objetivo taxonómico de interés no eran cetáceos (Kelaheer, et al., 2019; Oliveira-Da-Costa, et al., 2020). De aquello resalta que las tomas aéreas para los censos de poblaciones de odontocetos pueden ofrecer una mayor exactitud y fiabilidad en la contabilización y detección de individuos, especialmente cuando se encuentran en grupos. Pero al mismo tiempo, amplía las perspectivas sobre las dinámicas de poblaciones. Al ser una herramienta que posibilita: corroborar la identificación de individuos y de especies que son registradas en el campo, diferenciar especies de cetáceos y correlacionarlo con el uso de hábitat, determinar el ensamblaje de hábitat para especies marinas y detectar individuos bajo la superficie del agua (Colefax, et al., 2019; Subhan, et al., 2019; Wang, et al., 2019; Kelaheer, et al., 2020; Oliveira-Da-Costa, et al., 2020).

Finalmente, suscita con gran interés para la comprensión de las dinámicas de poblaciones de misticetos, el análisis cinemático y espacial de las tomas aéreas capturadas por drones, mediante el uso de programas y sistemas automáticos “Deep Learning”. Los cuales permiten la detección e identificación de especies, así como el conteo de individuos, de forma automática (Selby, et al., 2011; Gray, et al., 2019). Pues los dos estudios que abordaban a misticetos en sus investigaciones relacionadas con las dinámicas de poblaciones, y que utilizan

drones, reportaron el desarrollo de algoritmos y sistemas Deep Learning. Que les permitió identificar especies e individuos, ya sea por extracción de máscaras de la imagen, por contraste de color o por identidades morfológicas en base a grupos o regiones de píxeles, con un alto grado de fiabilidad.

De tal forma que, mediante estos análisis fotogramétricos, se esperaría una reducción en los sesgos individuales por los observadores y analistas de las imágenes. Y a su vez, una disminución en los tiempos que toma analizar los videos realizados por los drones (Selby, et al., 2011; Gray, et al., 2019). Y pese a que no se encontró un número considerable de artículos que presenten este enfoque para abordar estudios sobre las dinámicas de poblaciones de misticetos; los resultados de Gray, et al. (2019) muestran altos porcentajes de exactitud al identificar las 3 especies de cetáceos estudiadas. Que pueden incentivar a utilizar este tipo de técnicas Deep Learning en programas de censos y en otros estudios sobre las dinámicas de poblaciones de cetáceos. Lo que resultaría en un menor tiempo de análisis de imágenes y una mayor disponibilidad de tiempo para estimar la abundancia y otros aspectos de las poblaciones de interés (Gray, et al., 2019).

Uso de drones y perspectivas sobre el estado de salud y vulnerabilidad de individuos y de poblaciones de cetáceos

Entre los enfoques de estudio que presentaron el mayor número de artículos publicados, se evidenció que el uso de drones ha sido ampliamente acogido en investigaciones que buscan evaluar y determinar el estado de salud o el estado de vulnerabilidad de individuos y de poblaciones de distintas especies de cetáceos. Donde cabe mencionarse, que de los 13 artículos que utilizaron drones para abordar los objetivos de investigación previamente mencionados, 9 de ellos estaban orientados a especies de misticetos y solo 4 consideraban especies de odontocetos como sujetos de estudio.

La incorporación de drones en esta área de estudio sobre cetáceos ha posibilitado una exploración de datos espaciales que previamente no podían ser analizados bajo formas de acercamiento no invasivas (Dawson, et al., 2017). Pues en la gran mayoría de estudios se aprecia una reincidencia a realizar análisis morfogramétricos de los individuos de distintas especies de cetáceos estudiados, por medio de las tomas aéreas recopiladas por los drones, con el fin de determinar su estado físico de salud o de vulnerabilidad.

En pocas palabras, y según Castrillon & Bengtson (2020), la morfometría resulta en la expresión numérica de las características morfológicas de un organismo; y bajo esta definición se podría apreciar a la fotogrametría como un acercamiento para obtener estas mediciones. Ya que, como se explicó previamente, la fotogrametría consiste en el uso de imágenes fotográficas para la determinación de medidas corporales de individuos. Al tener en cuenta la altura de la cámara, la resolución de la imagen y la distancia focal del lente utilizado, lo que permite dar una escala espacial a la imagen (Castrillon & Bengtson, 2020). De forma que, el uso de drones en investigaciones sobre cetáceos ha permitido obtener fotografías aéreas verticales de individuos que se encontraban en o cerca de la superficie, de una manera menos costosa e invasiva que al utilizar aeronaves (Dawson, et al., 2017).

Si bien la perspectiva brindada por los drones bajo este enfoque de estudio se limita a una proyección en dos dimensiones. Se ha encontrado que los análisis de los datos resultantes pueden ser extrapolados a otras magnitudes analíticas y evaluables. Pues, en otras palabras, se ha visto que varios estudios que utilizan las imágenes provistas por drones, de individuos de distintas especies de cetáceos, utilizan fotogrametría para determinar las medidas de longitud total del cuerpo y del ancho corporal a distintas fracciones longitudinales (Castrillon & Bengtson, 2020; Christiansen, et al., 2020). Lo cual, ofrece una perspectiva general del tamaño de los individuos (Groskreutz, et al., 2019); pero que al realizar un análisis de los datos, se

pueden estimar medidas del volumen del individuo y obtener índices sobre la condición corporal. Como el índice de condición corporal utilizado por Christiansen, et al. (2020), que ejecuta una relación no lineal entre volumen y la longitud total del cuerpo del individuo, y lo compara con el volumen del cuerpo esperado para cada especie (Christiansen, et al., 2020).

De esta forma, se han utilizado drones para obtener fotografías aéreas de individuos de cetáceos. Y mediante fotogrametría se ha determinado la condición corporal de individuos de ballenas jorobadas (Christiansen, et al., 2016), ballenas francas glaciales y australes (Dawson, et al., 2017; Christiansen, et al., 2020), ballenas grises (Burnett, et al., 2019; Soledade, et al., 2020), ballenas azules (Durban, et al., 2016; Burnett, et al., 2019), y de orcas (Durban, et al., 2015; Groskreutz, et al., 2019). Pero que incluso, Christiansen, et al. (2020) pudo analizarlo para las crías, juveniles y adultos; a un nivel comparativo para cuatro poblaciones de ballenas francas. Lo que lo llevó a determinar el alto estado de vulnerabilidad que actualmente presenta la población de ballenas francas del Atlántico Norte, en comparación con las otras tres poblaciones (Christiansen, et al., 2020).

Bajo esta perspectiva aérea, que ofrecen los drones en los estudios sobre cetáceos, se debe considerar también los errores sistemáticos que se presentan al momento de determinar la escala de la imagen. Por una parte, el equipo utilizado puede acarrear errores sobre la altura a la que se encuentra la cámara, al momento que se realiza la toma. Para lo cual suelen incorporarse sensores láser que proveen de medidas de altitud más exactas (Dawson, et al., 2017; Burnett, et al., 2019; Groskreutz, et al., 2019). Mientras que, por otra parte, también se suelen incluir objetos de referencia con medidas conocidas en las fotografías, como la embarcación misma (Castrillon & Bengtson, 2020).

Finalmente, el uso de drones no solo ha traído consigo perspectivas verticales para análisis espaciales de imágenes para este enfoque de estudio; sino que también ha sido diseñado

como una metodología de obtención de muestras biológicas de individuos. Para lo cual se reporta únicamente los estudios de Pirotta, et al. (2017) y de Raudino, et al. (2019); en los que se obtuvieron perspectivas visuales desde un dron, al momento en el que un segundo dron recolectaba muestras de soplos. Y si bien esta aproximación tiene una incidencia directa sobre la determinación del estado de salud y de vulnerabilidad de individuos de especies de cetáceos; en esta sección se limitará únicamente a mencionar esta aproximación sin un mayor análisis. Debido a que el protocolo de búsqueda descartó otros artículos similares, pero que no reportaban una perspectiva de esta aplicación. Y por ende solo se incluyeron estos dos artículos, que de cierta manera utilizaron un dron para reportar una perspectiva de esta aproximación.

Uso de drones y perspectivas sobre otros aspectos ecológicos de los cetáceos

Por último, se encontró un solo estudio cuyo enfoque suscita aspectos ecológicos emergentes e integrales, que no solo se basan en cetáceos; pero que resulta pertinente en la investigación. Ya que el uso de drones permitió examinar, de forma cuantitativa, las relaciones funcionales (a nivel de individuos y de especies) entre las características físicas de la columna de agua, la disponibilidad de krill y la distribución de la ballena azul, como depredador tope en esta dinámica ecológica en específico (Barlow, et al., 2020). Obteniendo modelos de regresiones que permiten predecir la distribución, así como la probabilidad de presencia, de ballenas azules. En base a medidas cuantitativas de agregación y de densidad de krill, en mayor medida, y en base a otras características oceanográficas, pero en menor medida; estimadas a partir de la perspectiva brindada por un dron (Barlow, et al., 2020).

También, como un resultado adicional, se encontraron un total de 7 revisiones de literatura que abordaban el uso de drones en campos relacionados con la ecología y la biología marina, orientados a la megafauna marina en general. Entre los cuales se incluían distintas

especies de cetáceos. Aunque ninguno de estos se concentraba en este taxón en específico, como la presente revisión. Pero que fueron considerados como un respaldo del contexto descrito y se enlistan en la tabla del Anexo E, como un aporte bibliográfico adicional. Notando que algunas revisiones presentan ciertas implicaciones y alcances que el uso de drones puede traer para el estudio de cetáceos, incluso cuando no había una aproximación central para este grupo taxonómico. Pero que resultaron puntos de considerable realce y de comparación con otros grupos taxonómicos para distintos enfoques de estudio (Christie, et al., 2016; Nowacek, et al., 2016; Fiori, et al., 2017; Johnston, 2019; Nowak, et al., 2019; Schofield, et al., 2019; Wang, et al., 2019).

Análisis del uso de drones para el estudio de comportamientos sociales superficiales de ballenas jorobadas, en la costa Norte de Ecuador.

En cuanto a los análisis realizados de las tomas aéreas obtenidas por los directores y colaboradores del Proyecto Yubarta Cetus, se tabularon los comportamientos observados para dos grupos competitivos (Tabla 2). Uno capturado bajo una perspectiva vertical, ofrecida por el dron; en comparación con una perspectiva horizontal para el otro grupo focal, grabada por un observador en la embarcación. En la Tabla 2, se analizaron las tomas de cada enfoque para un esfuerzo de tiempo comparable. Donde se identifica el número de individuos totales, el número de adultos y el número de crías observadas en cada grabación analizada. Además, se detalla el evento de comportamiento bajo el cual se clasificaría la actividad realizada por los grupos focales analizados; y los eventos de golpes de aletas caudales y de soplos, observados en cada toma.

Tabla 2. Comportamientos observados para dos grupos focales de ballenas jorobadas, analizados bajo distintos enfoques de observación.

Enfoque	Duración	Especie	n	Adultos	Crías	Actividad	Aleta Caudal	Soplos
Dron	36 s	<i>Megaptera novaeangliae</i>	5	4	1	Superficial	6	5
Barco	28 s	<i>Megaptera novaeangliae</i>	6	6	0	Superficial	-	7

Como se puede observar en la Tabla 2, bajo el enfoque del dron se evidencia un menor número de individuos que componen al grupo competitivo analizado, pero se reporta la presencia de una cría. Mientras que, bajo el enfoque desde el barco, se evidencia un mayor número de individuos en el otro grupo analizado y no cuenta con la presencia de crías. Lo que sugiere cierta facilidad de detección de crías bajo el enfoque brindado por el dron, ya que la caracterización e identificación de los individuos se basa en un análisis visual y espacial de la perspectiva aérea. Mientras que, la determinación del número de individuos desde la perspectiva bajo el barco recae en la identificación del número de aletas dorsales visibles, y la clasificación de los individuos se basa en tamaños estimados, sin un marco visual completo de los individuos como el obtenido por las tomas aéreas del dron.

Por otra parte, se contabilizó un mayor número de soplos en la toma realizada desde el barco. Considerando que existe un menor tiempo de esfuerzo, pero un mayor número de individuos. Este resultado no resulta representativo, pero puede consolidarse como un punto de partida para abordar el impacto de cada método de acercamiento, al tomar la tasa de respiración promedio como una variable de respuesta ante cada acercamiento.

Finalmente, con base a la cuantificación de eventos de comportamiento y a partir del análisis visual realizado de la toma aérea del grupo competitivo de ballenas jorobadas, el comportamiento observado se describiría como una aproximación de dos individuos

(presuntamente machos) al grupo de la madre con la cría; mientras la cría daba alrededor de 6 golpes con su aleta caudal. Pero conforme se aproximaban los individuos, se evidenció un cambio de orientación conducido por la madre, para luego sumergirse con la cría e incrementar su distancia con respecto a los dos individuos que venían de atrás, con menos de un cuerpo de ancho de distancia entre ellos.

DISCUSIÓN

A raíz de los potenciales beneficios que el uso de drones puede representar dentro del ámbito científico, principalmente para el estudio de cetáceos. Ya sea para abordar enfoques sobre la fisiología, la etología, la ecología y el estado de conservación de los cetáceos. Resulta necesario y de suma relevancia analizar las perspectivas encontradas (presentadas en la sección de resultados) en cuanto al uso de drones en estudios sobre cetáceos, en un contexto práctico y comparativo con metodologías de acercamiento tradicionales. De tal manera, que se enfaticen perspectivas valiosas e inaccesibles por otras metodologías de observación y al mismo tiempo se aborden las implicaciones que acarrearía el uso de drones para cada enfoque de estudio sobre cetáceos.

De esta forma, se encontró que la incorporación de drones puede ser una adecuada herramienta de acercamiento para obtener nuevas perspectivas sobre aspectos relacionados con la fisiología, la etología y la ecología de cetáceos. Ya que, por un lado, se consolida como un método de acercamiento que ofrece una perspectiva aérea vertical, en base a la proyección de imágenes y videos de alta resolución, limitado únicamente por la cámara o el sensor de imagen utilizado. Y que, por otro lado, permite almacenar las tomas obtenidas en la práctica para análisis posteriores por parte de, no solamente un observador, sino que pueden ser analizados por varios observadores independientes. Lo que reduciría sesgos subjetivos, y que también tendría el potencial de optimizar los tiempos y esfuerzos de análisis. Al procesar las tomas obtenidas de forma automática, mediante programación computacional Deep Learning (Torres, et al., 2018; Gray, et al., 2019; Fiori, et al., 2020).

De manera que los resultados obtenidos por la revisión de la literatura permiten interpretar a los drones como una herramienta complementaria. La cual tiene la capacidad de proporcionar, mediante sensores de imagen, un mejor ángulo y campo de observación de los

cetáceos, a los momentos que no solamente se encuentran en la superficie (que es el campo de observación bajo el cual se limita las observaciones desde barcos). Sino que, por medio de los drones, también pueden ser observados y estudiados en los momentos en los que se encuentran por debajo de la superficie del agua hasta determinadas profundidades; delimitadas por determinados factores, como la claridad del agua (Torres, et al., 2018). De tal forma que se extiende el tiempo de observación a tal punto, que el uso de drones puede significar una mayor proyección del contexto visual de los datos cinemáticos. Lo que resultaría relevante para enfoques de estudio sobre el comportamientos, la fisiológicos, la ecología, entre otros.

Bajo el contexto tradicional de estudios sobre cetáceos, la combinación de las capacidades ofrecidas por el uso de drones, previamente mencionadas, resultan determinantes para evaluarlo como una herramienta de acercamiento complementaria en las observaciones científicas de cetáceos. Más allá de que, si bien el uso de aeronaves puede ofrecer capacidades similares en cuando a la recopilación y almacenamiento de perspectivas aéreas, la ventaja comparativa con este acercamiento reside en una menor exposición de los sujetos de investigación a la contaminación auditiva generada por las aeronaves (Dawson, et al., 2017).

Y que, para enfoques fisiológicos, etológicos y de algunos aspectos ecológicos; se pueden obtener imágenes claras de grupos focales, sin comprometer la salud y el comportamiento de los animales de estudio. Para los vuelos realizados a altitudes que, con aeronaves, representaría un riesgo para la tripulación, los sujetos de estudio y otros elementos del entorno (Dawson, et al., 2017; Wang, et al., 2019). Sin tomar en cuenta, además, la diferencia en costos que implica el uso de aeronaves en comparación con el uso de drones, que

tienen cierta influencia al momento de considerar el diseño y la planificación experimental en las investigaciones (Dawson, et al., 2017; Shakhatreh, et al., 2019; Wang, et al., 2019).

Ante estas consideraciones, también deben mencionarse las limitaciones y los alcances que puede traer la incorporación de drones en un ámbito práctico para investigaciones sobre cetáceos. Ya que, como se lo presenta en los resultados, los drones suelen presentar imágenes de coberturas de áreas limitadas a grupos focales. Y, por lo tanto, dependerá del enfoque de estudio el determinar si es una herramienta alternativa o complementaria para optimizar los esfuerzos de investigación.

Como un ejemplo oportuno, recae la comparación del uso de drones para un enfoque etológico sobre cetáceos. Donde probablemente se utilizaría un dron como herramienta de acercamiento para la observación de grupos o de individuos focales como se expuso en el caso aplicado en la costa de Ecuador. Mientras que, para un enfoque sobre las dinámicas de poblaciones de cetáceos habrían ciertas consideraciones, como la especie objetivo del estudio, que definirían la mejor herramienta de acercamiento para el censo y la observación de poblaciones. En relación con la cobertura de área que puede abarcar cada tipo de acercamiento o las estrategias que se pueden tomar en base a la maniobrabilidad de la herramienta.

Como caso hipotético para explicar las limitaciones aludidas, el uso de drones como tecnología de acercamiento para el censo de una población de delfines acróbatas (*Stenella longirostris*) podría ser ampliamente discutido como alternativa al uso de aeronaves. Ya que, por un lado, las aeronaves pueden cubrir una mayor área de observación. Lo cual resultaría sumamente útil para contabilizar los individuos de una manada de esta especie, que suelen ser de 50 a miles de individuos (Jefferson, et al., 2015). Mientras que, por otro lado, los drones tienen mayor maniobrabilidad para cubrir movimientos no predecibles que puedan realizar como manada (Fiori, et al., 2017). Y que en complementación con la identificación de

individuos por fotografías, también se podría llevar a cabo el censo poblacional, pero a un mayor esfuerzo de observación y de análisis.

Es necesario tomar en cuenta que el marco legal para la incorporación de drones en el ámbito científico se encuentra en desarrollo a nivel mundial. Por lo que existen ciertos vacíos prácticos sobre cómo deben ser utilizados e incorporados los drones de forma adecuada y responsable para cada enfoque de estudio (Torres, et al., 2018; Fiori, et al., 2020). Pues en base a los resultados encontrados, se puede notar que las metodologías descritas en estudios sobre cetáceos reportan diseños distintos para cada enfoque de investigación, en cuanto al empleo de drones como una herramienta de estudio para observaciones científicas se refiere.

Por último, en relación con el análisis realizado de las tomas obtenidas por el dron Phantom en Esmeraldas, Ecuador. Los resultados coinciden con lo reportado en la literatura, ya que las tomas del dron brindaron una perspectiva aérea con un mayor campo visual de los comportamientos superficiales de las ballenas jorobadas. A tal grado, que se evidenció una mayor facilidad de detección de crías y del número de individuos; una mejor visualización de los cambios de orientación de los individuos; y una mayor fiabilidad de interpretación de datos. Como también se evidencia en otros estudios, incluidos en la presente revisión, que abordan un enfoque sobre el comportamiento de cetáceos (Torres, et al., 2018; Nielsen, et al., 2019; Fiori, et al., 2020; Orbach, et al., 2020; Sprogis, et al., 2020)

Y que, en este caso específico, el análisis de las tomas permitió describir preliminarmente una parte del comportamiento social superficial de grupos competitivos de ballenas jorobadas. El cual, y ante la luz de la literatura, resulta sumamente congruente para la especie observada. Debido a que la especie *Megaptera novaeangliae* suele presentar ratios de sexos en la proporción de 2 a 3 machos por hembra, para las áreas de reproducción. Aunque se estima que para la población en general hay una proporción más equitativa, pero en las áreas

de reproducción hay esta diferencia como resultado de que no todas las hembras son receptivas para cada temporada de apareamiento (Carwardine, 2019).

De forma que en las tomas brindadas por el dron se logra apreciar la aproximación de dos individuos, posiblemente machos, al grupo de una madre con su cría. Y que, ante el contexto expuesto, podría significar la competencia de estos dos individuos para acceder a la hembra y tener una posición privilegiada como primer escolta. Lo que incluso ha sido reportado en la literatura, que ocurre ante la presencia de crías (Carwardine, 2019). Y que podría explicar el cambio de dirección que toma la madre para así proteger a su cría, ya que estos comportamientos son incluso descritos como agresivos por parte de los machos que compiten activamente en la superficie (Carwardine, 2019).

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que se debe proceder de distintas maneras cuando se incorporan a los drones en el estudio de cetáceos. Lo que dependerá específicamente de la especie y del enfoque de estudio. Llegando a la reflexión que, para el enfoque de estudio sobre comportamientos de cetáceos, se debería proceder bajo una aproximación preliminar desde la embarcación. Donde se analice los patrones de comportamiento que presenten inicialmente los grupos focales (Bouchard, et al., 2019; Fiori, et al., 2020). Y en base a ello, se decida el momento oportuno para utilizar el dron, tomando en cuenta también las condiciones climáticas. Siguiendo también algunas recomendaciones, como mantener los vuelos por encima de los 25 msnm, mantener una posición vertical hacia abajo cercano a los 90° con respecto del horizonte, mantener una distancia menor a los 200 m de la embarcación y diseñar vuelos en base a un rango de tiempo entre los 10 a 15 minutos, dependiendo de la capacidad del dron utilizado (Ramos, et al., 2017; Torres, et al., 2018; Bouchard, et al., 2019; Oña & Goodman, 2020; Sprogis, et al., 2020)

CONCLUSIONES

En conclusión, el uso de drones en estudios de cetáceos tiene un gran potencial para expandir el conocimiento sobre la fisiología, la etología, la ecología y el estado de conservación de varias especies de cetáceos. Mediante la obtención de perspectivas aéreas que proveen de un mayor campo y tiempo visual de los cetáceos, no solamente cuando están en la superficie; sino que también pueden ser observados y estudiados en eventos bajo la superficie, hasta cierto límite. Y que permiten una exploración de datos temporales, espaciales y cinemáticos. Que pueden ser complementados, bajo un contexto práctico, con observaciones realizadas desde otras aproximaciones como barcos y/o sensores submarinos.

No obstante, existen ciertas implicaciones que deben considerarse al pretender incorporar drones en los estudios de cetáceos, como el potencial disturbio e impacto auditivo que puede ocasionar en los comportamientos y en la fisiología de los cetáceos; la interpretación y fiabilidad de los datos obtenibles; la falta de contexto legal que actualmente carece el uso adecuado de esta herramienta a nivel mundial, como nacional; y otros aspectos que deben ser tomados en cuenta al momento de realizar estudios con drones. Como el reconocimiento de los derechos humanos y de privacidad que de cierta manera pueden limitar los alcances de las tomas aéreas.

Ante ello, se recomienda que futuros estudios aborden estas implicaciones bajo un nivel práctico, más allá del análisis teórico realizado en el presente trabajo. En donde se puedan consolidar guías o parámetros del uso responsable de drones para cada enfoque de estudio, bajo el cual los drones puedan representar una herramienta de acercamiento complementaria y menos invasiva para observaciones científicas de distintas especies cetáceas.

Finalmente, el alcance del presente trabajo reside a una recopilación general de las perspectivas que aporta el uso de drones en distintos enfoques de estudio sobre cetáceos.

Limitado por la dificultad sobrellevada en cuanto a la naturaleza completamente teórica de la investigación, como consecuencia del contexto mundial que se presentó en el 2020 y que confinó las investigaciones prácticas. Pero que desde mi punto de vista personal representó un mayor reto, ya que no logré suscitar un respaldo práctico representativo sobre el tema abordado. Aunque mediante el análisis preliminar realizado, se concluye también que el uso de drones tiene un alto potencial para el estudio de comportamientos sociales superficiales de ballenas jorobadas en la costa de Ecuador. Tomando en cuenta el alcance de las observaciones realizadas que permitieron abordar preliminarmente el comportamiento de grupos competitivos de ballenas jorobadas; sin consolidarse como un caso de estudio representativo. Pero que una adecuada integración y uso de esta herramienta en futuros estudios puede brindar perspectivas complementarias para el estudio tanto de ballenas jorobadas como de otros cetáceos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barlow, D. R., Bernard, K. S., Escobar-Flores, P., Palacios, D. M., & Torres, L. G. (2020). Links in the trophic chain: Modeling functional relationships between in situ oceanography, krill, and blue whale distribution under different oceanographic regimes. *Marine Ecology Progress Series*, 642, 207–225. <https://doi.org/10.3354/meps13339>
- Barratclough, A., Wells, R. S., Schwacke, L. H., Rowles, T. K., Gomez, F. M., Fauquier, D. A., Sweeney, J. C., Townsend, F. I., Hansen, L. J., Zolman, E. S., Balmer, B. C., & Smith, C. R. (2019). Health Assessments of Common Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*): Past, Present, and Potential Conservation Applications. In *Frontiers in Veterinary Science* (Vol. 6). <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00444>
- Bouchard, B., Barnagaud, J.-Y., Poupard, M., Glotin, H., Gauffier, P., Ortiz, S. T., Lisney, T. J., Campagna, S., Rasmussen, M., & Célérier, A. (2019). Behavioural responses of humpback whales to food-related chemical stimuli. *PLoS ONE*, 14(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212515>
- Burnett, J. D., Lemos, L., Barlow, D., Wing, M. G., Chandler, T., & Torres, L. G. (2019). Estimating morphometric attributes of baleen whales with photogrammetry from small UASs: A case study with blue and gray whales. *Marine Mammal Science*, 35(1), 108–139. <https://doi.org/10.1111/mms.12527>
- Carwardine, M. (2019). *Handbook of whales, dolphins and porpoises of the world*. Princeton University Press. New Jersey.
- Castrillon, J., & Bengtson Nash, S. (2020). Evaluating cetacean body condition; a review of traditional approaches and new developments. *Ecology and Evolution*, 10(12), 6144–6162. <https://doi.org/10.1002/ece3.6301>
- Christiansen, F., Rojano-Doñate, L., Madsen, P. T., & Bejder, L. (2016). Noise Levels of Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicles with Implications for Potential Underwater Impacts on Marine Mammals. *Front.Mar.Sci.*3:277. doi: 10.3389/fmars.2016.00277
- Christiansen, F., Dujon, A. M., Sprogis, K. R., Arnould, J. P. Y., & Bejder, L. (2016). Noninvasive unmanned aerial vehicle provides estimates of the energetic cost of reproduction in humpback whales. *Ecosphere*, 7(10). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1468>
- Christiansen, F., Vivier, F., Charlton, C., Ward, R., Amerson, A., Burnell, S., & Bejder, L. (2018). Maternal body size and condition determine calf growth rates in southern right whales. *Marine Ecology Progress Series*, 592(Lockyer 1981), 267–282. <https://doi.org/10.3354/meps12522>
- Christiansen, F., Dawson, S. M., Durban, J. W., Fearnbach, H., Miller, C. A., Bejder, L., Uhart, M., Sironi, M., Corkeron, P., Rayment, W., Pettis, H. M., & Moore, M. J. (2020). Population comparison of right whale body condition reveals poor state of the

North Atlantic right whale. *Marine Ecology Progress Series*, 640, 1–16.
<https://doi.org/10.3354/meps13299>

- Christie, K. S., Gilbert, S. L., Brown, C. L., Hatfield, M., & Hanson, L. (2016). Unmanned aircraft systems in wildlife research: Current and future applications of a transformative technology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(5), 241–251. <https://doi.org/10.1002/fee.1281>
- Colefax, A. P., Butcher, P. A., Pagendam, D. E., & Kelaher, B. P. (2019). Reliability of marine faunal detections in drone-based monitoring. *Ocean and Coastal Management*, 174, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.03.008>
- Darling, J.D. and Bérubé, M. (2001). Interactions of singing humpback whales with other males. *Marine Mammal Science*, 17: 570-584. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2001.tb01005.x>
- Dawson, S. M., Bowman, M. H., Leunissen, E., & Sirguy, P. (2017). Inexpensive aerial photogrammetry for studies of whales and large marine animals. *Frontiers in Marine Science*, 4(NOV). <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00366>
- Durban, J.W., Fearnbach, H., Barrett-Lennard, L. G., Perryman, W. L., & Leroi, D. J. (2015). Photogrammetry of killer whales using a small hexacopter launched at sea. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(3), 131–135. <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0020>
- Durban, J. W., Moore, M. J., Chiang, G., Hickmott, L. S., Bocconcelli, A., Howes, G., Bahamonde, P. A., Perryman, W. L., & LeRoi, D. J. (2016). Photogrammetry of blue whales with an unmanned hexacopter. *Marine Mammal Science*, 32(4), 1510–1515. <https://doi.org/10.1111/mms.12328>
- Dunlop, R., Cato, D. y Noad, M. (2008). Non-song acoustic communication in migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Marine mammal science*, 24(3): 613-629. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2008.00208.x>
- Félix, Fernando, & Haase, Ben (2001). The humpback whale off The Coast of Ecuador, population parameters and behavior. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36(1):61-74. [fecha de Consulta 14 de enero de 2021]. ISSN: 0717-3326.
- Fiori, L., Doshi, A., Martinez, E., Orams, M. B., & Bollard-Breen, B. (2017). The use of unmanned aerial systems in marine mammal research. *Remote Sensing*, 9(6), 11–17. <https://doi.org/10.3390/rs9060543>
- Fiori, L., Martinez, E., Bader, M. K. F., Orams, M. B., & Bollard, B. (2020). Insights into the use of an unmanned aerial vehicle (UAV) to investigate the behavior of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Vava'u, Kingdom of Tonga. *Marine Mammal Science*, 36(1), 209–223. <https://doi.org/10.1111/mms.12637>
- Fiori, L., Martinez, E., Orams, M. B., & Bollard, B. (2020). Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to assess humpback whale behavioral responses to swim-with

- interactions in Vava'u, Kingdom of Tonga. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(11), 1743–1761. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1758706>
- Fortune, S. M. E., Koski, W. R., Higdon, J. W., Trites, A. W., Baumgartner, M. F., & Ferguson, S. H. (2017). Evidence of molting and the function of “rock-nosing” behavior in bowhead whales in the eastern Canadian Arctic. *PLoS ONE*, 12(11), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186156>
- Frouin-Mouy, H., Tenorio-Hallé, L., Thode, A., Swartz, S., & Urbán, J. (2020). Using two drones to simultaneously monitor visual and acoustic behaviour of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Baja California, Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 525. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2020.151321>
- Gough, W. T., Segre, P. S., C. Bierlich, K. K., Cade, D. E., Potvin, J., Fish, F. E., Dale, J., Di Clemente, J., Friedlaender, A. S., Johnston, D. W., Wiley, D. N., & Goldbogen, J. A. (2019). Scaling of swimming performance in baleen whales. *Journal of Experimental Biology*, 222(20). <https://doi.org/10.1242/jeb.204172>
- Gray, P.C., Bierlich, K. C., Mantell, S. A., Friedlaender, A. S., Goldbogen, J. A., & Johnston, D. W. (2019). Drones and convolutional neural networks facilitate automated and accurate cetacean species identification and photogrammetry. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(9), 1490–1500. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13246>
- Groskreutz, M. J., Durban, J. W., Fearnbach, H., Barrett-Lennard, L. G., Towers, J. R., & Ford, J. K. B. (2019). Decadal changes in adult size of salmon-eating killer whales in the eastern North Pacific. *Endangered Species Research*, 40. <https://doi.org/10.3354/ESR00993>
- Hartman, K., van der Harst, P., & Vilela, R. (2020). Continuous Focal Group Follows Operated by a Drone Enable Analysis of the Relation Between Sociality and Position in a Group of Male Risso's Dolphins (*Grampus griseus*). *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00283>
- Haver, S. M., Gedamke, J., Hatch, L. T., Dziak, R. P., Van Parijs, S., McKenna, M. F., ... & Haxel, J. (2018). Monitoring long-term soundscape trends in US waters: The NOAA/NPS ocean noise reference station network. *Marine Policy*, 90(1): 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.023>
- Horton, T. W., Hauser, N., Cassel, S., Klaus, K. F., de Oliveira, T. F., & Key, N. (2019). Doctor drone: Non-invasive measurement of humpback whale vital signs using unoccupied aerial system infrared thermography. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUL). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00466>
- Irschick, D. J., Martin, J., Siebert, U., Kristensen, J. H., Madsen, P. T., & Christiansen, F. (2020). Creation of accurate 3D models of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) using 3D photogrammetry. *Marine Mammal Science*. <https://doi.org/10.1111/mms.12759>

- Jefferson, T., Webber, M., Pitman, R. (2015). *Marine Mammals of the World: a comprehensive guide to their identification*. 2nd ed. Elsevier Inc.
- Johnston, D. W. (2019). Unoccupied aircraft systems in marine science and conservation. *Annual Review of Marine Science*, *11*, 439–463. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010318-095323>
- Kelaher, B. P., Colefax, A. P., Tagliafico, A., Bishop, M. J., Giles, A., & Butcher, P. A. (2019). Assessing variation in assemblages of large marine fauna off ocean beaches using drones. *Marine and Freshwater Research*, *71*(1), 68–77. <https://doi.org/10.1071/MF18375>
- Kelaher, B. P., Peddemors, V. M., Hoade, B., Colefax, A. P., & Butcher, P. A. (2020). Comparison of sampling precision for nearshore marine wildlife using unmanned and manned aerial surveys. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, *8*(1), 30–43. <https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0023>
- Lemos, L. S., Olsen, A., Smith, A., Chandler, T. E., Larson, S., Hunt, K., & Torres, L. G. (2020). Assessment of fecal steroid and thyroid hormone metabolites in eastern North Pacific gray whales. *Conservation Physiology*, *8*(1). <https://doi.org/10.1093/conphys/coaa110>
- Martins, M. C. I., Miller, C., Hamilton, P., Robbins, J., Zitterbart, D. P., & Moore, M. (2020). Respiration cycle duration and seawater flux through open blowholes of humpback (*Megaptera novaeangliae*) and North Atlantic right (*Eubalaena glacialis*) whales. *Marine Mammal Science*, *36*(4), 1160–1179. <https://doi.org/10.1111/mms.12703>
- Mead, J. G. (2020). Cetacean. *Encyclopedia Britannica*. Recuperado el 18 de febrero de 2021 de <https://www.britannica.com/animal/cetacean>
- Morimura, N., & Mori, Y. (2019). Social responses of travelling finless porpoises to boat traffic risk in Misumi West Port, Ariake Sound, Japan. *PLoS ONE*, *14*(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208754>
- Nielsen, M. L. K., Sprogis, K. R., Bejder, L., Madsen, P. T., & Christiansen, F. (2019). Behavioural development in southern right whale calves. *Marine Ecology Progress Series*, *629*, 219–234. <https://doi.org/10.3354/meps13125>
- Nowacek, D. P., Christiansen, F., Bejder, L., Goldbogen, J. A., & Friedlaender, A. S. (2016). Studying cetacean behaviour: new technological approaches and conservation applications. *Animal Behaviour*, *120*, 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.07.019>
- Nowak, M. M., Dziób, K., & Bogawski, P. (2019). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in environmental biology: A review. *European Journal of Ecology*, *4*(2), 56–74. <https://doi.org/10.2478/eje-2018-0012>
- Oliveira-Da-Costa, M., Marmontel, M., Da-Rosa, D. S. X., Coelho, A., Wich, S., Mosquera-Guerra, F., & Trujillo, F. (2020). Effectiveness of unmanned aerial vehicles to detect

- Amazon dolphins. *ORYX*, 54(5), 696–698.
<https://doi.org/10.1017/S0030605319000279>
- Oña, J., Goodman, L., & Palomino, A. (2020). *How drones are improving marine science research in Ecuador*. Recuperado el 12 de mayo de 2020 de <http://latinamericanscience.org/drones-ecuador-marine-science>
- Oña, J., & Goodman, L. (2020). *Preliminar: Recomendaciones logísticas y buenas prácticas para el uso de drones no tripulados*. Recuperado el 22 de febrero de 2020. (unpublished)
- Orbach, D. N., Eaton, J., Fiori, L., Piwetz, S., Weir, J. S., Würsig, M., & Würsig, B. (2020). Mating patterns of dusky dolphins (*Lagenorhynchus obscurus*) explored using an unmanned aerial vehicle. *Marine Mammal Science*, 36(4), 1097–1110.
<https://doi.org/10.1111/mms.12695>
- Parks, S., Cusano, D., Stimpert, A., Weinrich, M., Friedlaender, A. y Wiley, D. (2014). Evidence for acoustic communication among bottom foraging humpback whales. *Scientific reports*, 4(7508). <https://doi.org/10.1038/srep07508>
- Pirotta, V., Smith, A., Ostrowski, M., Russell, D., Jonsen, I. D., Grech, A., & Harcourt, R. (2017). An economical Custom-Built drone for assessing whale health. *Frontiers in Marine Science*, 4(DEC). <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00425>
- Poor, A., et al. (2020). Cetacea. *Animal Diversity Web*. Recuperado el 18 de febrero de 2021 de <https://animaldiversity.org/accounts/Cetacea/>
- Ramos, E., Maloney, B., Castelblanco-Martínez, N., Kerr, I., Rogan, A., Audley, K., Magnasco, M., & Reiss, D. (2017). Behavioral Reactions of Marine Mammals to Drones. *22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*.
- Raudino, H. C., Tyne, J. A., Smith, A., Ottewell, K., McArthur, S., Kopps, A. M., Chabanne, D., Harcourt, R. G., Pirotta, V., & Waples, K. (2019). Challenges of collecting blow from small cetaceans. *Ecosphere*, 10(10). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2901>
- Schaffar, A., Madon, B., Garrigue, C., & Constantine, R. (2009). Avoidance of whale watching boats by humpback whales in their main breeding ground in New Caledonia. *IWC SC*, 61.
- Scheidat, M., Castro, C., Denking, J., González, J. y Adelung, D. (2000). A breeding area for humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off Ecuador. *Journal of Cetacean Research and Management*, 2(3): 165-172.
- Schofield, G., Esteban, N., Katselidis, K. A., & Hays, G. C. (2019). Drones for research on sea turtles and other marine vertebrates – A review. *Biological Conservation*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108214>
- Selby, W., Corke, P., & Rus, D. (2011). Autonomous aerial navigation and tracking of marine animals. *Proceedings of the 2011 Australasian Conference on Robotics and Automation*.

- Shakhatreh, H., Sawalmeh, A. H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., Shamsiah Othman, N., Khreishah, A., & Guizani, M. (2019). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. *IEEE Access*, 7, pp. 48572-48634. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
- Soledade Lemos, L., Burnett, J. D., Chandler, T. E., Sumich, J. L., & Torres, L. G. (2020). Intra- and inter-annual variation in gray whale body condition on a foraging ground. *Ecosphere*, 11(4). <https://doi.org/10.1002/ecs2.3094>
- Sprogis, K.R., Videsen, S., & Madsen, P. T. (2020). Vessel noise levels drive behavioural responses of humpback whales with implications for whale-watching. *eLife*, 9: 1–17. <https://doi.org/10.7554/eLife.56760>
- Subhan, B., Arafat, D., Santoso, P., Pahlevi, K., Prabowo, B., Taufik, M., Kusumo, B. S., Awak, K., Khaerudi, D., Ohoiulun, H., Nasetion, F. I., & Madduppa, H. (2019). Development of observing dolphin population method using Small Vertical Take-off and Landing (VTOL) Unmanned Aerial System (AUV). IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 278(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/278/1/012074>
- Tardin, R. H., Pinto, M. P., Alves, M. A., & Simao, S. M. (2014). Behavioral event occurrence differs between behavioral states in *Sotalia guianensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae) dolphins: a multivariate approach. *Zoología*, 31(1): 1-7. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702014000100001>
- TimeTree. (2021). *Cetartiodactyla*. Recuperado el 18 de febrero de 2021 de <http://www.timetree.org/>
- Torres, L.G., Nieukirk, S. L., Lemos, L., & Chandler, T. E. (2018). Drone up! Quantifying whale behavior from a new perspective improves observational capacity. *Frontiers in Marine Science*, 5(SEP). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00319>
- Torres, L.G., Barlow, D. R., Chandler, T. E., & Burnett, J. D. (2020). Insight into the kinematics of blue whale surface foraging through drone observations and prey data. *PeerJ*, 2020(4). <https://doi.org/10.7717/peerj.8906>
- Wang, D., Shao, Q., & Yue, H. (2019). Surveying wild animals from satellites, manned aircraft and unmanned aerial systems (UASs): A review. *Remote Sensing*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/rs11111308>
- Weir, J. S., Fiori, L., Orbach, D. N., Piwetz, S., Protheroe, C., & Würsig, B. (2018). Dusky dolphin (*Lagenorhynchus obscurus*) mother-calf pairs: An aerial perspective. *Aquatic Mammals*, 44(6), 603–607. <https://doi.org/10.1578/AM.44.6.2018.603>
- Werth, A. J., Kosma, M. M., Chenoweth, E. M., & Straley, J. M. (2019). New views of humpback whale flow dynamics and oral morphology during prey engulfment. *Marine Mammal Science*, 35(4), 1556–1578. <https://doi.org/10.1111/mms.12614>
- World Cetacean Alliance. (2021). *Why Cetaceans*. Recuperado el 18 de febrero de 2021 de <https://worldcetaceanalliance.org/who-we-are/why-cetaceans/>


ANEXOS

ANEXO A: Términos de búsqueda

Tabla A1. Detalle de los términos de búsqueda utilizados en la búsqueda de literatura

Aspecto de la pregunta	Términos
Población: Cetáceos	Cetáceos, Cetacea, ballenas, delfines, marsopas, odontocetos, Odontoceti, ballenas dentadas, cetáceos dentados, mysticetos, Mysticeti, ballenas barbadas, cetáceos barbados,
Intervención: vehículos aéreos no tripulados pequeños	Vehículos aéreos no tripulados pequeños, vehículos aéreos no tripulados micro, drones, UAVs, vehículos aéreos no tripulados pequeños y remotos, vehículos aéreos no tripulados pequeños y autónomos, vehículos de despegue y aterrizaje vertical pequeños.
Output: Perspectivas	Perspectiva, punto de vista, vista, observación, panorama, óptica, visualización, imagen.

ANEXO B: Resumen de la búsqueda en la base de datos SCOPUS

ID	Name	Query	Documents	Date last run
#41	SR Cetaceans	<p>(cetacea* OR whale* OR porpoises OR dolphin* OR odontocet* OR mysticet* OR (baleen AND whale*)) AND ((small AND unmanned AND aerial AND vehicle*) OR drone* OR (micro AND unmanned AND aerial AND vehicle*) OR (small AND vertical AND take-off AND landing AND vehicle*)) AND (perspective* OR viewpoint* OR view* OR sight* OR outlook OR optic* OR image* OR insight*) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO(LANGUAGE, "Spanish"))</p> <p>View Less ^ Edit query</p>	1,100	16 Feb 2021 

ANEXO C: Hipervínculo de las tomas aéreas del proyecto Yubarta Cetus

[Proyecto Yubarta Cetus 2018.](#)



ANEXO D: Lista de los 46 documentos incluidos en la revisión**Tabla D1. Detalles de publicación de los artículos encontrados en la búsqueda de literatura**

Autores	Título	Año	Fuente de publicación	Vol.	Edición	Art. No.	DOI
Fiori L., Martinez E., Orams M.B., Bollard B.	Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to assess humpback whale behavioral responses to swim-with interactions in Vava'u, Kingdom of Tonga	2020	Journal of Sustainable Tourism	28	11		10.1080/09669582.2020.1758706
Martins M.C.I., Miller C., Hamilton P., Robbins J., Zitterbart D.P., Moore M.	Respiration cycle duration and seawater flux through open blowholes of humpback (Megaptera novaeangliae) and North Atlantic right (Eubalaena glacialis) whales	2020	Marine Mammal Science	36	4		10.1111/mms.12703
Orbach D.N., Eaton J., Fiori L., Piwetz S., Weir J.S., Würsig M., Würsig B.	Mating patterns of dusky dolphins (Lagenorhynchus obscurus) explored using an unmanned aerial vehicle	2020	Marine Mammal Science	36	4		10.1111/mms.12695
Oliveira-Da-Costa M., Marmontel M., Da-Rosa D.S.X., Coelho A., Wich S., Mosquera-Guerra F., Trujillo F.	Effectiveness of unmanned aerial vehicles to detect Amazon dolphins	2020	ORYX	54	5		10.1017/S0030605319000279
Sprogis K.R., Videsen S., Madsen P.T.	Vessel noise levels drive behavioural responses of humpback whales with implications for whale-watching	2020	eLife	9		e56760	10.7554/eLife.56760
Castrillon J., Bengtson Nash S.	Evaluating cetacean body condition; a review of traditional approaches and new developments	2020	Ecology and Evolution	10	12		10.1002/ece3.6301

Barlow D.R., Bernard K.S., Escobar-Flores P., Palacios D.M., Torres L.G.	Links in the trophic chain: Modeling functional relationships between in situ oceanography, krill, and blue whale distribution under different oceanographic regimes	2020	Marine Ecology Progress Series	642			10.3354/meps13339
Hartman K., van der Harst P., Vilela R.	Continuous Focal Group Follows Operated by a Drone Enable Analysis of the Relation Between Sociality and Position in a Group of Male Risso's Dolphins (<i>Grampus griseus</i>)	2020	Frontiers in Marine Science	7		283	10.3389/fmars.2020.00283
Christiansen F., Dawson S.M., Durban J.W., Fearnbach H., Miller C.A., Bejder L., Uhart M., Sironi M., Corkeron P., Rayment W., Leunissen E., Haria E., Ward R., Warick H.A., Kerr I., Lynn M.S., Pettis H.M., Moore M.J.	Population comparison of right whale body condition reveals poor state of the North Atlantic right whale	2020	Marine Ecology Progress Series	640			10.3354/meps13299
Soledade Lemos L., Burnett J.D., Chandler T.E., Sumich J.L., Torres L.G.	Intra- and inter-annual variation in gray whale body condition on a foraging ground	2020	Ecosphere	11	4	e03094	10.1002/ecs2.3094
Frouin-Mouy H., Tenorio-Hallé L., Thode A., Swartz S., Urbán J.	Using two drones to simultaneously monitor visual and acoustic behaviour of gray whales (<i>Eschrichtius robustus</i>) in Baja California, Mexico	2020	Journal of Experimental Marine Biology and Ecology	525		151321	10.1016/j.jembe.2020.151321
Lemos L.S., Olsen A., Smith A., Chandler T.E., Larson S., Hunt K., Torres L.G.	Assessment of fecal steroid and thyroid hormone metabolites in eastern North Pacific gray whales	2020	Conservation Physiology	8	1	coa110	10.1093/conphys/coa110
Irschick D.J., Martin J., Siebert U., Kristensen J.H., Madsen P.T., Christiansen F.	Creation of accurate 3D models of harbor porpoises (<i>Phocoena phocoena</i>) using 3D photogrammetry	2020	Marine Mammal Science				10.1111/mms.12759

Torres L.G., Barlow D.R., Chandler T.E., Burnett J.D.	Insight into the kinematics of blue whale surface foraging through drone observations and prey data	2020	PeerJ	2020	4	e8906	10.7717/peerj.8906
Kelaher B.P., Peddemors V.M., Hoade B., Colefax A.P., Butcher P.A.	Comparison of sampling precision for nearshore marine wildlife using unmanned and manned aerial surveys	2020	Journal of Unmanned Vehicle Systems	8	1		10.1139/juvs-2018-0023
Fiori L., Martinez E., Bader M.K.F., Orams M.B., Bollard B.	Insights into the use of an unmanned aerial vehicle (UAV) to investigate the behavior of humpback whales (<i>Megaptera novaeangliae</i>) in Vava'u, Kingdom of Tonga	2020	Marine Mammal Science	36	1		10.1111/mms.12637
Barratclough A., Wells R.S., Schwacke L.H., Rowles T.K., Gomez F.M., Fauquier D.A., Sweeney J.C., Townsend F.I., Hansen L.J., Zolman E.S., Balmer B.C., Smith C.R.	Health Assessments of Common Bottlenose Dolphins (<i>Tursiops truncatus</i>): Past, Present, and Potential Conservation Applications	2019	Frontiers in Veterinary Science	6		444	10.3389/fvets.2019.00444
Nielsen M.L.K., Sprogis K.R., Bejder L., Madsen P.T., Christiansen F.	Behavioural development in southern right whale calves	2019	Marine Ecology Progress Series	629			10.3354/meps13125
Raudino H.C., Tyne J.A., Smith A., Ottewell K., McArthur S., Kopps A.M., Chabanne D., Harcourt R.G., Pirota V., Waples K.	Challenges of collecting blow from small cetaceans	2019	Ecosphere	10	10	e02901	10.1002/ecs2.2901
Schofield G., Esteban N., Katselidis K.A., Hays G.C.	Drones for research on sea turtles and other marine vertebrates – A review	2019	Biological Conservation	238		108214	10.1016/j.biocon.2019.108214

Werth A.J., Kosma M.M., Chenoweth E.M., Straley J.M.	New views of humpback whale flow dynamics and oral morphology during prey engulfment	2019	Marine Mammal Science	35	4		10.1111/mms.12614
Gray P.C., Bierlich K.C., Mantell S.A., Friedlaender A.S., Goldbogen J.A., Johnston D.W.	Drones and convolutional neural networks facilitate automated and accurate cetacean species identification and photogrammetry	2019	Methods in Ecology and Evolution	10	9		10.1111/2041-210X.13246
Wang D., Shao Q., Yue H.	Surveying wild animals from satellites, manned aircraft, and unmanned aerial systems (UASs): A review	2019	Remote Sensing	11	11	1308	10.3390/rs11111308
Subhan B., Arafat D., Santoso P., Pahlevi K., Prabowo B., Taufik M., Kusumo B.S., Awak K., Khaerudi D., Ohoiulun H., Nasetion F.I., Madduppa H.	Development of observing dolphin population method using Small Vertical Take-off and Landing (VTOL) Unmanned Aerial System (AUV)	2019	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	278	1	12074	10.1088/1755-1315/278/1/012074
Colefax A.P., Butcher P.A., Pagendam D.E., Kelaher B.P.	Reliability of marine faunal detections in drone-based monitoring	2019	Ocean and Coastal Management	174			10.1016/j.ocecoaman.2019.03.008
Bouchard B., Barnagaud J.-Y., Poupard M., Glotin H., Gauffier P., Ortiz S.T., Lisney T.J., Campagna S., Rasmussen M., C��lerier A.	Behavioural responses of humpback whales to food-related chemical stimuli	2019	PLoS ONE	14	2	e0212515	10.1371/journal.pone.0212515
Johnston D.W.	Unoccupied aircraft systems in marine science and conservation	2019	Annual Review of Marine Science	11			10.1146/annurev-marine-010318-095323
Groskreutz M.J., Durban J.W., Fearnbach H., Barrett-Lennard L.G., Towers J.R., Ford J.K.B.	Decadal changes in adult size of salmon-eating killer whales in the eastern North Pacific	2019	Endangered Species Research	40		993	10.3354/ESR00993

Gough W.T., Segre P.S., C.Bierlich K.K., Cade D.E., Potvin J., Fish F.E., Dale J., Di Clemente J., Friedlaender A.S., Johnston D.W., Kahane-Rapport S.R., Kennedy J., Long J.H., Oudejans M., Penry G., Savoca M.S., Simon M., Videsen S.K.A., Visser F., Wiley D.N., Goldbogen J.A.	Scaling of swimming performance in baleen whales	2019	Journal of Experimental Biology	222	20	jeb.204172	10.1242/jeb.204172
Horton T.W., Hauser N., Cassel S., Klaus K.F., de Oliveira T.F., Key N.	Doctor drone: Non-invasive measurement of humpback whale vital signs using unoccupied aerial system infrared thermography	2019	Frontiers in Marine Science	6	JUL	466	10.3389/fmars.2019.00466
Nowak M.M., Dziób K., Bogawski P.	Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in environmental biology: A review	2019	European Journal of Ecology	4	2		10.2478/eje-2018-0012
Kelaher B.P., Colefax A.P., Tagliafico A., Bishop M.J., Giles A., Butcher P.A.	Assessing variation in assemblages of large marine fauna off ocean beaches using drones	2019	Marine and Freshwater Research	71	1		10.1071/MF18375
Morimura N., Mori Y.	Social responses of travelling finless porpoises to boat traffic risk in Misumi West Port, Ariake Sound, Japan	2019	PLoS ONE	14	1	e0208754	10.1371/journal.pone.0208754
Burnett J.D., Lemos L., Barlow D., Wing M.G., Chandler T., Torres L.G.	Estimating morphometric attributes of baleen whales with photogrammetry from small UASs: A case study with blue and gray whales	2019	Marine Mammal Science	35	1		10.1111/mms.12527
Torres L.G., Nieukirk S.L., Lemos L., Chandler T.E.	Drone up! Quantifying whale behavior from a new perspective improves observational capacity	2018	Frontiers in Marine Science	5	SEP	319	10.3389/fmars.2018.00319

Weir J.S., Fiori L., Orbach D.N., Piwetz S., Protheroe C., Würsig B.	Dusky dolphin (<i>Lagenorhynchus obscurus</i>) mother-calf pairs: An aerial perspective	2018	Aquatic Mammals	44	6		10.1578/AM.44.6.2018.603
Christiansen, F., Vivier, F., Charlton, C., Ward, R., Amerson, A., Burnell, S., & Bejder, L	Maternal body size and condition determine calf growth rates in southern right whales.	2018	Marine Ecology Progress Series	592	Lockyer 1981		10.3354/meps12522
Pirotta V., Smith A., Ostrowski M., Russell D., Jonsen I.D., Grech A., Harcourt R.	An economical Custom-Built drone for assessing whale health	2017	Frontiers in Marine Science	4	DEC	425	10.3389/fmars.2017.00425
Dawson S.M., Bowman M.H., Leunissen E., Sirguy P.	Inexpensive aerial photogrammetry for studies of whales and large marine animals	2017	Frontiers in Marine Science	4	NOV	366	10.3389/fmars.2017.00366
Fiori L., Doshi A., Martinez E., Orams M.B., Bollard-Breen B.	The use of unmanned aerial systems in marine mammal research	2017	Remote Sensing	9	6	543	10.3390/rs9060543
Fortune, S. M. E., Koski, W. R., Higdon, J. W., Trites, A. W., Baumgartner, M. F., & Ferguson, S. H.	Evidence of molting and the function of “rock-nosing” behavior in bowhead whales in the eastern Canadian Arctic	2017	PLoS ONE	12	11		10.1371/journal.pone.0186156
Christiansen F., Dujon A.M., Sprogis K.R., Arnould J.P.Y., Bejder L.	Noninvasive unmanned aerial vehicle provides estimates of the energetic cost of reproduction in humpback whales	2016	Ecosphere	7	10	e01468	10.1002/ecs2.1468
Nowacek D.P., Christiansen F., Bejder L., Goldbogen J.A., Friedlaender A.S.	Studying cetacean behaviour: new technological approaches and conservation applications	2016	Animal Behaviour	120			10.1016/j.anbehav.2016.07.019
Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L.	Unmanned aircraft systems in wildlife research: Current and future applications of a transformative technology	2016	Frontiers in Ecology and the Environment	14	5		10.1002/fee.1281
Durban, J. W., Moore, M. J., Chiang, G., Hickmott, L. S., Bocconcelli, A.,	Photogrammetry of blue whales with an unmanned hexacopter	2016	Marine Mammal Science	32	4		10.1111/mms.12328

Howes, G., Bahamonde, P. A., Perryman, W. L., & LeRoi, D. J.							
Durban, J.W., Fearnbach, H., Barrett-Lennard, L. G., Perryman, W. L., & Leroi, D. J.	Photogrammetry of killer whales using a small hexacopter launched at sea	2015	Journal of Unmanned Vehicle Systems	3	3		10.1139/juvs- 2015-0020
Selby W., Corke P., Rus D.	Autonomous aerial navigation and tracking of marine animals	2011	Proceedings of the 2011 Australasian Conference on Robotics and Automation				

ANEXO E: Clasificación de perspectivas reportadas para el uso de drones bajo distintos enfoques de estudio

Tabla E1. Clasificación de las distintas perspectivas reportadas por artículo sobre el uso de drones para el estudio de cetáceos

Enfoque de estudio	Artículo incluido	Menor nivel taxonómico de estudio	Modelo de UAVs utilizado	Detalle de la perspectiva
Fisiología de los cetáceos	(Martins et al., 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>) y Ballenas franca glacial (<i>Eubalaena glacialis</i>)	Dron Inspire 1 RAW con altímetro	Cuantificación de los ciclos completos de respiración de las dos especies de misticetos y detalle del flujo del agua marina a través de los espiráculos.
	(Irschick et al., 2020)	Marsopa común (<i>Phocoena phocoena</i>)	DJI Inspire 1 Pro	Elaboración de modelos 3D en base a las mediciones de corporales de 3 marsopas obtenidos por fotogrametría desde imágenes aéreas de drones.
	(Torres et al., 2020)	Ballena azul pigmea (<i>Balaenoptera musculus brevicauda</i>)	DJI Phantom 4 Advanced (non-Pro)	Revelación de las cinemáticas del forrajeo superficial de las ballenas azules y optimización energética.
	(Werth et al., 2019)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	DJI Phantom 3 Professional	Revelación de la cinemática, la dinámica de flujo y la morfología oral de las ballenas jorobadas durante el engullimiento de salmones en la superficie del mar.
	(Gough et al., 2019)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>), ballenas azules (<i>Balaenoptera musculus</i>), rorcuales comunes (<i>Balaenoptera physalus</i>), rorcuales de Bryde (<i>Balaenoptera brydei</i>), y rorcuales Minke (<i>Balaenoptera bonaerensis</i>)	DJI Phantom 3 Professional, DJI Phantom 4 Pro-cuadróptero, FreeFly Alta 6 y un LemHex-44 personalizado.	Escalamiento y modelación de las cinemáticas de nado de cinco especies de misticetos.
	(Christiansen et al., 2016)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	Waterproof Splashdrone	Estimación del costo energético de la reproducción en ballenas jorobadas, por medio de fotogrametría y cálculo del índice de condición corporal.
Comportamiento de Cetáceos	(Fiori et al., 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	HexH2O y DJI Phantom 4	Evaluación de los efectos del acercamiento de nadadores en el comportamiento de ballenas jorobadas desde imágenes aéreas.
	(Orbach et al., 2020)	Delfines oscuros (<i>Lagenorhynchus obscurus</i>)	Phantom 4	Examinación y comparación de los patrones de apareamiento en grupos aislados y grupos integrados de delfines oscuros.
	(Sprogis et al., 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	DJI Phantom 4 Advanced	Determinación de las respuestas de comportamiento de grupos focales de madres y crías, de ballenas jorobadas, inducidos por distintos niveles de ruidos de barcos.

	(Hartman et al., 2020)	Delfines Risso (<i>Grampus griseus</i>)	DJI Phantom 4	Análisis del estatus social y la posición relativa en un grupo focal de 13 machos de delfines Risso.
	(Frouin-Mouy et al., 2020)	Ballena gris (<i>Eschrichtius robustus</i>)	DJI Phantom 4 Advanced Plus y Swellpro SplashDrone 3+	Monitoreo visual y acústico de ballenas gris mediante un sistema combinando dos UAVs, que ofrece una perspectiva sincrónica de tomas aéreas de comportamiento con audio submarino.
	(Fiori et al., 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	HexH2O	Detección de comportamientos sociales y de lactancia que no se percibieron en una perspectiva desde el barco.
	(Nielsen et al., 2019)	Ballenas francas austral (<i>Eubalaena australis</i>)	DJI Phantom 3 Professional y DJI Inspire 1 Pro	Examinación del desarrollo comportamental en crías de ballenas francas del Sur y maximización de la obtención de energía.
	(Bouchard et al., 2019)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	DJI Phantom 3 advanced	Revelación de respuestas comportamentales ante estímulos químicos (derivados de presas) percibidos por las ballenas a distancias mayores de varios cientos de metros.
	(Morimura & Mori, 2019)	Marsopas lisas (<i>Neophocaena asiaeorientalis sunameri</i>)	DJI Mavic Pro	Respuestas sociales de la población de marsopas lisas del Puerto Oeste de Misumi ante el tráfico marítimo de botes.
	(Torres et al., 2018)	Ballena gris (<i>Eschrichtius robustus</i>)	DJI Phantom 3 Pro y Phantom 4 Advanced	Determinación del tiempo de observación desde una perspectiva basada en drones y descripción de comportamiento únicos observados desde las imágenes provistas por los UAVs.
	(Weir et al., 2018)	Delfines oscuros (<i>Lagenorhynchus obscurus</i>)	DJI Phantom 4TM	Determinación de los comportamientos entre madres y crías en grupos de crianza de delfines oscuros.
	(Fortune et al., 2017)	Ballenas boreales (<i>Balaena mysticetus</i>)	DJI Phantom 3 Professional	Determinación de rasgos y medidas corporales que ofrecieron evidencia de un tipo de comportamiento en ballenas boreales y grabación visual del comportamiento.
Dinámica de las poblaciones de cetáceos	(Oliveira-Da-Costa et al., 2020)	Delfin de río rosado (<i>Inia geoffrensis</i>) y delfin amazónico Tucuxi (<i>Sotalia fluviatilis</i>)	DJI Phantom 3 y Phantom 4	Evaluación de la efectividad de los UAVs para la cuantificación de la abundancia de dos especies de delfines de río amazónicos.
	(Kelaher et al., 2020)	Delfin nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>) y delfin del Indo-Pacífico (<i>Tursiops aduncus</i>)	DJI Inspire 1	Examinación más precisa y exacta de censo de delfines en análisis de imágenes obtenidas por drones en estudio comparativo con un vehículo aéreo tripulado.
	(Gray et al., 2019)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>), ballenas Minke (<i>Balaenoptera bonaerensis</i>) y ballenas azules (<i>Balaenoptera musculus</i>)	FreeFly Alta 6 y LemHex-44	Identificación y fotogrametría automática y exacta de varias especies de cetáceos, mediante el uso de un sistema Deep Learning, en base a las tomas aéreas recolectadas desde drones.
	(Subhan et al., 2019)	Delfin nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>) y	DJI Phantom 3 advanced	Desarrollo de metodología para la estimación de poblaciones de delfines.

		delfín común oceánico (<i>Delphinus delphis</i>)		
	(Colefax et al., 2019)	Especies de delfines nariz de botella (<i>Tursiops spp.</i>)	DJI Phantom 4	Detección con alta exactitud de delfines y otras especies mediante un sistema de vigilancia basada en drones.
	(Kelaher et al., 2019)	Especies de delfines nariz de botella (<i>Tursiops spp.</i>)	DJI Phantom 4	Determinación de la variación espaciotemporal del ensamblaje de hábitat de aguas oceánicas para fauna marina, con mayor probabilidad de detección de delfines.
	(Selby et al., 2011)	Especies de mysticetos no especificados.	AscTec Pelican y AscTec Hummingbird	Desarrollo de sistema de censo visual mediante la identificación y rastreo automatizado de ballenas, por un dron.
Otros aspectos de la ecología de los cetáceos	(Barlow et al., 2020)	Ballena azul (<i>Balaenoptera musculus brevicauda</i>)	No se especifica	Examinación cuantitativa de las relaciones funcionales (a nivel individual) entre las características físicas de la columna de agua, la disponibilidad de krill y la distribución de la ballena azul.
Estado de salud y vulnerabilidad	(Castrillon & Bengtson, 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>), ballenas francas glacial (<i>Eubalaena glacialis</i>), ballena gris (<i>Eschrichtius robustus</i>) y ballena azul pigmentada (<i>Balaenoptera musculus brevicauda</i>)	Varios	Evaluación de la condición corporal de distintas ballenas por fotogrametría de imágenes de aéreos verticales obtenidas desde drones.
	(Christiansen et al., 2020)	Ballenas francas glacial (<i>Eubalaena glacialis</i>) y austral (<i>Eubalaena australis</i>)	Hexacóptero APH-22 y quadricópteros DJI Inspire 1 Pro	Comparación del estado corporal de 3 poblaciones de ballenas francas australes y 1 población de ballena franca glacial.
	(Lemos et al., 2020) (Lemos et al., 2020)	Ballena gris (<i>Eschrichtius robustus</i>) del Pacífico Norte	DJI Phantom 3 Pro, Phantom 4, y DJI Phantom 4 Pro	Evaluación de la condición corporal de ballenas gris en áreas de forrajeo para los meses de junio a octubre durante tres años consecutivos. El segundo artículo utilizó los datos provistos por los drones para documentar el estado de ballenas heridas y proveer un contexto de del comportamiento y el estrés fisiológico de las ballenas muestreadas.
	(Barratclough et al., 2019)	Delfín nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>)	Varios	Medición del estado de salud de individuos de delfines por fotogrametría y termografía (Revisión).
	(Raudino et al., 2019)	Delfín nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>) y delfín jorobado (<i>Sousa sahulensis</i>)	Cuadricóptero personalizado	Recolección de soplos de ballenas por medio de un dron personalizado. Además, las tomas desde el dron permitieron revisar los intentos de recolección y confirmar las identidades de los individuos muestreados.
	(Groskreutz et al., 2019)	Orcas (<i>Orcinus orca</i>)	APH-22 hexacóptero	Documentación de los cambios en los tamaños corporales de los adultos de la población de orcas residentes al norte de la Isla Vancouver.

	(Horton et al., 2019)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	DJI Matrice 200	Medición de los signos vitales de ballenas jorobadas, en área de crianza, mediante termografía infrarroja implementado en un sistema aéreo no tripulado.
	(Burnett et al., 2019)	Ballena gris del Pacífico Norte (<i>Eschrichtius robustus</i>) y ballena azul pigmentada (<i>Balaenoptera musculus brevicauda</i>)	DJI Phan- tom 3 Pro y DJI Phantom 4	Extracción de las morfometrías de las dos especies de ballenas de las imágenes obtenidas por drones.
	(Christiansen et al., 2018)	Ballenas francas austral (<i>Eubalaena australis</i>)	DJI Inspire 1 Pro	Determinación de los índices de crecimiento de las crías de ballenas francas australes, mediante la estimación del tamaño y estado corporal de las madres.
	(Pirota et al., 2017)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	Cuadricóptero multirotor eléctrico personalizado	Evaluación del estado de salud de ballenas jorobadas por recolección de muestras de soplo e identificación de individuos y grabación de respuestas de comportamiento.
	(Dawson et al., 2017)	Ballena franca austral (<i>Eubalaena australis</i>)	DJI Inspire 1 Pro	Medición de exacta de los tamaños corporales de ballenas, mediante fotogrametría.
	(Durban et al., 2016)	Ballena azul (<i>Balaenoptera musculus</i>)	APH-22	Cuantificación de medidas corporales de ballenas azules por fotogrametría de imágenes obtenidas de un dron.
	(Durban et al., 2015)	Orcas (<i>Orcinus orca</i>)	APH-22	Examinación de medidas corporales por fotogrametría de imágenes obtenidas por un dron.
Revisiones del uso de drones	(Schofield et al., 2019)	Varios	Varios	Incluye los enfoques del uso de drones para: estimación de abundancia y distribución, análisis de comportamientos, y evaluación del estado corporal en algunos cetáceos y otras especies.
	(Wang et al., 2019)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>) y otros mysticetos	Varios	Detalle de estudios del uso de drones y tipos de datos generados para algunas especies de cetáceos.
	(Johnston, 2019)	Orcas (<i>Orcinus orca</i>), ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>), ballenas francas (<i>Eubalaena spp.</i>), ballenas azules (<i>Balaenoptera musculus</i>) y otras especies de cetáceos.	Varios	Incluye los enfoques del uso de drones para: Evaluación de las morfometrías de los animales y la salud de los individuos, evaluación de las poblaciones, y estudios de la ecología del comportamiento.
	(Nowak et al., 2019)	Belugas (<i>Delphinapterus leucas</i>), ballenas boreales (<i>Balaena mysticetus</i>), orcas (<i>Orcinus orca</i>), ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>), y otras especies.	Varios	Estudios de poblaciones y comportamientos
	(Fiori et al., 2017)	Orcas (<i>Orcinus orca</i>), ballenas grises	Varios	Incluye los enfoques del uso de drones para: censo de poblaciones, fotogrametría,

		(<i>Eschrichtius robustus</i>), ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>), delfines nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>), y otras especies de cetáceos.		foto-identificación, recolección de muestras de soplo y comportamiento animal.
	(Nowacek et al., 2016)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>) y otras especies de cetáceos.	Varios	Estudios de comportamiento animal y fotogrametría.
	(Christie et al., 2016)	Cachalotes (<i>Physeter macrocephalus</i>), Orcas (<i>Orcinus orca</i>) y otras especies de cetáceos.	Varios	Incluye los enfoques del uso de drones para: censo de poblaciones, fotogrametría, foto-identificación y respuestas de comportamiento.

ANEXO F: Categorización de los tipos de datos recolectados por drones en estudios etológicos sobre cetáceos

Tabla F1. Categorización de los tipos de datos recolectados por medio de drones, en investigaciones sobre el comportamiento de cetáceos

Estudio	Especie/s estudiada	Dron utilizado	Marco Categórico	Tipos de datos recolectados
(Fiori et al., 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	HexH2O y DJI Phantom4	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo total de las inmersiones. • Proporción de tiempo de inmersiones de crías y de madres. • Tiempo que la cría pasaba en la superficie sin la madre.*
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Composición de los grupos. • Identificación de crías y madres.
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Estados de comportamientos grupales.* • Tasas de inmersiones y de respiración. • Proporción de tiempo para cada estado de comportamiento. • Comportamientos antagónicos en respuesta a nadadores.*
(Orbach et al., 2020)	Delfines oscuros (<i>Lagenorhynchus obscurus</i>)	Phantom 4	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de tiempo en la superficie.
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Número de individuos en apareamiento. • Posición de copulación.*
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de nado. • Cambio de rumbo.* • Tasa de respiración. • Tasa de copulación.* • Frecuencia de tipos de comportamientos.
(Sprogis et al., 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	DJI Phantom 4 Advanced	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de comportamientos continuos.* • Porcentaje de tiempo en descanso.
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de comportamientos instantáneos. • Tasa de respiración. • Cambio de rumbo de las madres (índice de desviación).* • Velocidad de nado de las madres.
(Hartman et al., 2020)	Delfines Risso (<i>Grampus griseus</i>)	DJI Phantom 4	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Intervalos de respiración.
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de individuos. • Preferencias sociales en base a la posición relativa de los individuos. * • Tamaño del grupo.
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Sincronización de comportamientos. * • Sincronización de respiraciones. *

				<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación de nado en base a la posición relativa en un período de tiempo dado.*
(Frouin-Mouy et al., 2020)	Ballenas grises (<i>Eschrichtius robustus</i>)	DJI Phantom 4 Advanced Plus y Swellpro SplashDrone 3+	Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de los individuos al dron con el hidrófono.
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación del origen de los sonidos de ballenas en base a las grabaciones acústicas sincronizadas con las grabaciones visuales.* • Asociación de sonidos acústicos con estados comportamentales.*
(Fiori et al., 2020)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	HexH2O	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Presupuesto comportamental, en base al tiempo que se mantienen en un estado de comportamiento: descansando, viajando, socializando o activos en la superficie. • Tiempo total de las inmersiones.
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Composición de los grupos. • Identificación de individuos.
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Estados de comportamientos grupales.* • Tasa de respiración. • Número de inmersiones y de eventos de reorientación.*
(Nielsen et al., 2019)	Ballenas francas austral (<i>Eubalaena australis</i>)	DJI Phantom 3 Professional y DJI Inspire 1 Pro	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Duración de estados de comportamientos. • Proporción de tiempo de comportamientos de cuidado parental.* • Intervalos de tiempo entre respiraciones.
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de individuos. • Confirmación de identificación de grupos e individuos.* • Aproximación de crías y madres en intervalos de tiempo.* • Estimación de medidas morfológicas de las crías, por fotogrametría.* • Cálculo del peso corporal.*
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Ocurrencia de eventos y estados de comportamientos. • Contabilización de eventos de comportamientos. • Velocidad promedio de movimiento de la madre.* • Tasa de respiración. • Tasa metabólica.*
(Bouchard et al., 2019)	Ballenas jorobadas (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	DJI Phantom 3 advanced	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo transcurrido por el grupo, en un área delimitada en relación con un estímulo químico.* • Tiempo de llegada al área del estímulo químico.*
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Composición y tamaño de los grupos. • Identificación de individuos.

				<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de los grupos al estímulo químico.*
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Estado inicial del comportamiento: descansando, viajando, y buceando. • Otros estados de comportamiento: comportamientos superficiales. • Número de respiraciones por ballenas y por grupos.
(Morimura & Mori, 2019)	<i>Marsopas lisas (Neophocaena asiaorientalis sunameri)</i>	DJI Mavic Pro	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de inmersión y de flotación.
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de estado social: solitario o social. • Tamaño del grupo. • Número de individuos en el grupo durante cada escena analizada. • Tamaño de las embarcaciones. * • Distancia de las marsopas a las embarcaciones que pasaban.*
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis y clasificación de escenas: escena inicial de la marsopa nadado en la superficie, escena de barco aproximándose, escena de la respuesta del animal, escena final de los animales volviendo a la superficie. * • Clasificación de respuestas comportamentales: evasión o no evasión de botes pasando. • Comportamiento de frotación (rubbling).*
(Torres et al., 2018)	<i>Ballena gris (Eschrichtius robustus)</i>	DJI Phantom 3 Pro y Phantom 4 Advanced	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo total de la ballena en la superficie. • Tiempo total en el que la ballena estaba en un rango visible en las tomas. * • Duración de cada estado de comportamiento.
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Composición y tamaño de los grupos. • Determinación de la ubicación de las embarcaciones.*
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de estados primarios de comportamiento: en viaje, forrajeo, social, en descanso, o desconocido. • Identificación de eventos y estados de sub-comportamiento. • Evaluación de potenciales respuestas de comportamiento al dron.*
(Weir et al., 2018)	<i>Delfines oscuros (Lagenorhynchus obscurus)</i>	DJI Phantom 4TM	Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo en el que las madres y crías son visibles en las tomas.
			Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia entre individuos adultos. • Número de madres y crías.
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de nado. • Tasa de respiración de hembras y crías, por tiempo visible. * • Tasa de lactancia, por minutos en los que las crías estaban vivibles. *

				<ul style="list-style-type: none"> • Espacio entre adultos por minuto y número de madres.
(Fortune et al., 2017)	Ballenas boreales (<i>Balaena mysticetus</i>)	DJI Phantom 3 Professional	Espacial	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de individuos. • Proporción del cuerpo que presenta piel desprendida. • Presencia o ausencia de líneas superficiales, características del comportamiento de frotado sobre rocas. • Rango de edad en base a las medidas del largo del cuerpo.*
			Cinemático	<ul style="list-style-type: none"> • Escena de individuos en área donde se ha observado el comportamiento de frotado sobre rocas.*

* Tipos de datos que resultan de mayor accesibilidad bajo las tomas aéreas capturadas por los drones y/o que son reportadas por primera vez en el ámbito de la etología de cetáceos.