

**COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL**

**COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR**

**14<sup>a</sup> REUNIÓN**

La Jolla, California (EE. UU.)

15-19 de mayo de 2023

**DOCUMENTO SAC-14-INF-K**

**SOLICITUD DE CONSULTORÍA: EXPERIMENTO CIENTÍFICO PARA EVALUAR LA SEPARACIÓN MADRE CRÍA DE DELFINES, DURANTE LAS OPERACIONES DE PESCA CON RED DE CERCO EN EL OCÉANO PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL<sup>1</sup>**

Heidi C. Pearson<sup>1</sup>, Joana Castro<sup>2</sup>, André Cid<sup>2</sup>, and Fabio L. Matos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Alaska Southeast, Juneau, AK, USA

<sup>2</sup> AIMM – Associação para a Investigação do Meio Marinho, Lisboa, Portugal

**OBJETIVO DEL PROYECTO**

A pesar de una reducción del 99% en la mortalidad de delfines en la pesca del atún con red de cerco en el océano Pacífico Oriental Tropical (POT) durante las últimas tres décadas, las poblaciones de delfín tornillo oriental (*Stenella longirostris orientalis*) y delfín manchado pantropical (*S. attenuata attenuata*) no han aumentado como se esperaba. De hecho, según la Ley de Protección de Mamíferos Marinos sus poblaciones se encuentran reducidas<sup>1,2</sup>. Esto sugiere que pueden existir fuentes de mortalidad crípticas y no observadas que impiden la recuperación de la población. Durante las dos últimas décadas, se ha propuesto que una de estas fuentes puede ser la separación madre-cría durante las interacciones con la pesca, provocando la mortalidad de las crías<sup>2-6</sup>. El objetivo de este proyecto es utilizar vehículos aéreos no tripulados (UAV) para determinar: (i) si las parejas madre-cría se separan durante la caza, el cerco, el retroceso y/o la “carrera” tras la liberación, (ii) y si la separación madre-cría puede estar afectando al crecimiento de la población y como. Estos resultados ayudarán a establecer los modelos de población y tomar acciones de gestión y conservación de los delfines en el POT.

**ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

En el POT, pequeños delfines pelágicos (principalmente el delfín tornillo oriental y el delfín manchado pantropical) y el atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*) se asocian en grandes grupos multi-especies. La formación de grandes grupos tanto de atunes como de delfines probablemente se debe a una mayor protección contra depredadores. A esto se le une la presencia de una termoclina poco profunda que genera una zona mínima de oxígeno la cual restringe al atún a las aguas superficiales<sup>7</sup>. Desde la década de 1950, la pesquería de atún con red de cerco del POT se ha aprovechado de esta asociación colocando redes sobre los delfines para capturar el atún que se encuentra bajo ellos. Tras la adopción de prácticas para minimizar la mortalidad incidental de delfines (p. ej., procedimientos de retroceso, paneles Medina,

---

<sup>1</sup> NOTA DE LA SECRETARÍA: El proyecto del experimento científico descrito en este documento, está en curso, bajo la supervisión del personal de la CIAT, y con el financiamiento de la Alianza mexicana del Pacífico por el atún sustentable. La Universidad de Alaska y la AIMM fueron seleccionados después de un riguroso proceso de selección llevado a cabo por el personal, entre los candidatos que respondieron a la convocatoria para aplicantes.

reflectores de alta intensidad o tripulantes en balsas para ayudar a los delfines a salir de la red), la mortalidad de delfines ha disminuido drásticamente, pasando de cientos de miles de delfines muertos cada año durante la década de 1960 a menos de 1.000 delfines muertos al año desde la década de 1990<sup>1,2,4</sup>.

Mientras que la mortalidad directa durante el encierro ha disminuido, el número de lances intencionales sobre delfines no lo ha hecho y se estima que un mismo delfín es encerrado y perseguido varias veces a lo largo de un año<sup>1,2,8-10</sup>. Aunque la mortalidad de los delfines se registra principalmente durante los lances, también puede ocurrir en otras etapas de la pesca, como la persecución previa a la captura y posterior al retroceso cuando los delfines nadan vigorosamente<sup>2,3</sup>. Durante cualquier etapa de la interacción con la pesca, los delfines pueden experimentar situaciones estresantes agudas o crónicas que pueden tener efectos letales o subletales en su fisiología, reproducción y la cría de las crías, lo que a su vez puede limitar el crecimiento de la población<sup>3,8,11-13</sup>. Sin embargo, estos factores crípticos no siempre se observan, detectan o contabilizan.

Un importante factor críptico es la separación madre cría, durante las interacciones pesqueras. Esta ha sido una hipótesis usada durante mucho tiempo, para explicar la falta de recuperación de las poblaciones del delfín tornillo oriental y del delfín manchado pantropical<sup>1-4,6,10,15,15</sup>. El hecho de que el 75-95% de las hembras lactantes que morían en la redes no se encontraban acompañadas por sus crías sugiere que puede estar ocurriendo una alta mortalidad de crías, debido a que los huérfanos son poco susceptibles a sobrevivir<sup>3,4</sup>. Se ha estimado que la mortalidad de crías sin registrar, debido a la separación madre-cría durante el cerco, puede aumentar la tasa de mortalidad global  $\leq 15\%$  al año<sup>10</sup>. No obstante es probable que esta dato esté infravalorado, debido a que la separación madre-cría, también puede tener lugar durante la persecución previa a la captura y el "escape" del cerco<sup>3,4,6,10</sup>. A pesar de que la separación madre-cría durante la persecución se ha documentado en muy pocas ocasiones, hay indicios de que también puede ocurrir.

Debido a que en el océano no hay donde esconderse, las madres de cetáceos no pueden ocultar a sus crías de los depredadores. De este modo las crías se mantendrán cerca de sus madres para protegerse de los depredadores, estrategia que también seguían sus antepasados unglados<sup>6</sup>. Las crías nadan junto a su madre en posición escalón (junto a la madre) o infantil (bajo la madre)<sup>14,16-18</sup>. Durante el primer mes de vida las crías nadan principalmente en posición escalón. No obstante, la posición infantil, es la que domina durante el resto del periodo de dependencia de la cría<sup>11,16,18,19</sup>. Sin embargo, es probable que la natación en posición escalón predomine durante los desplazamientos a alta velocidad<sup>5</sup>.

Estas dos posiciones (escalón e infantil) son comportamientos de transporte de crías que proporcionan beneficios hidrodinámicos para las éstas, aunque simultáneamente disminuyen la eficiencia natatoria de las madres<sup>5,15,20-22</sup>. Estudios en delfines mulares (*Tursiops truncatus*) han demostrado que las crías nadando en posición de escalón (vs. independientemente) exhiben mayor velocidad de nado, mayor distancia recorrida por aleteo, y una amplitud de aleteo reducida<sup>6</sup>. Dado el subdesarrollo muscular y el reducido rendimiento natatorio de las crías, estos atributos se traducen en beneficios físicos y energéticos que en condiciones naturales les permiten nadar cerca de sus madres<sup>6,14,17,20,23</sup>.

Sin embargo, durante prolongados viajes a gran velocidad típicos durante las interacciones con la pesca de cerco, la formación madre cría puede romperse. Las madres incurren en un mayor gasto energético y un menor rendimiento natatorio mientras llevan a las crías tanto en posición echelon como infantil<sup>20,23</sup>. A altas velocidades la natación necesaria para mantener los beneficios energéticos provoca que la posición en escalón no sea posible<sup>5</sup>. Una vez las crías pierden los beneficios de nadar junto a sus madres, les es imposible mantener su ritmo<sup>5,6,14</sup>. Además, debido al fuerte comportamiento de manada de delfines pelágicos, hay indicios de que las madres

pueden priorizar mantener la conformidad del grupo a expensas de abandonar a sus crías<sup>5,6,20,24</sup>. Todas estas evidencias indican que la separación madre-cría puede ocurrir durante la persecución.

Las crías con menos de un año de edad pueden ser particularmente vulnerables a la separación, debido a sus capacidades físicas, morfológicas y fisiológicas subdesarrolladas<sup>6,14,25,26</sup>. De hecho, las capacidades de natación reducida pueden persistir hasta los cuatro años de edad, prolongando el período de vulnerabilidad frente a la separación madre-cría<sup>6</sup>. Esto es potencialmente significativo dado que la edad típica de destete de las crías es de dos años en las crías del delfín tornillo oriental y de 3 a 7 años en los delfines manchados pantropicales<sup>11</sup>. Sin embargo, la mortalidad disminuye después de que las crías alcancen un año de edad<sup>6</sup>. Además, se observó que las parejas madre-cría, donde las crías tienen más de 1 año permanecieron juntas a lo largo de múltiples persecuciones y cercos, lo que indica que la separación entre madres y crías mayores puede ser improbable, incluso durante desplazamientos prolongados a muy alta velocidad<sup>27,28</sup>.

La mejor evidencia observada hasta la fecha de que la separación madre-cría puede ocurrir, proviene de fotografías aéreas de delfines tornillo oriental. Éstas muestran una cría, probablemente de tamaño neonato, saltando junto a su madre durante una persecución a alta velocidad, posteriormente se le observa perdiendo la posición junto a su madre, lo que potencialmente pudo llevar a la separación<sup>5</sup>. La capacidad amortiguadora de la mioglobina subdesarrollada de los delfines tornillos puede impedir que se reestablezca la posición escalón, una vez rota; este riesgo ha sido reportado para delfines tornillo de hasta 1.6 años de edad<sup>26</sup>.

Las limitaciones metodológicas previas impidieron la obtención de los datos de alta resolución, necesarios para determinar si ocurre la separación madre-cría y además, el tamaño muestral necesario para determinar la probabilidad de separación madre-cría. No obstante, estas limitaciones pueden ser superadas, gracias a los nuevos avances en las tecnologías AUV que facilitan los estudios de comportamiento de delfines con una alta precisión. El objetivo del estudio es: (i) usar los drones para determinar si la separación madre cría tiene lugar durante las interacciones pesqueras (incluyendo la persecución, cerco, retroceso y la “carrera” tras la liberación), (ii) determinar como la separación madre-cría puede estar afectando al crecimiento poblacional.

Los drones proporcionan un punto de observación ventajoso para observar y seguir cambios en la disposición espacial de las madres y sus crías sin impactar a los animales<sup>29</sup>. Nuestro método se fundamenta en nuestra investigación sobre el delfín común (*Delphinus delphis*) en Portugal junto con la organización sin fines de lucro AIMM (Associação para Investigação do Meio Marinho).

## **INVESTIGACIÓN PREVIA**

La costa sur de Portugal es un importante lugar para la reproducción y cría del delfín común<sup>29,30</sup>. Durante los últimos 8 años, nuestro equipo ha estudiado las estrategias de las asociaciones madre cría del delfín común. En particular, desarrollamos un método novedoso para evaluar la disposición espacial entre madre y cría con el uso de drones<sup>31,32</sup>. Este método es directamente aplicable para estudiar la separación madre cría, y refinará y mejorará durante el estudio.

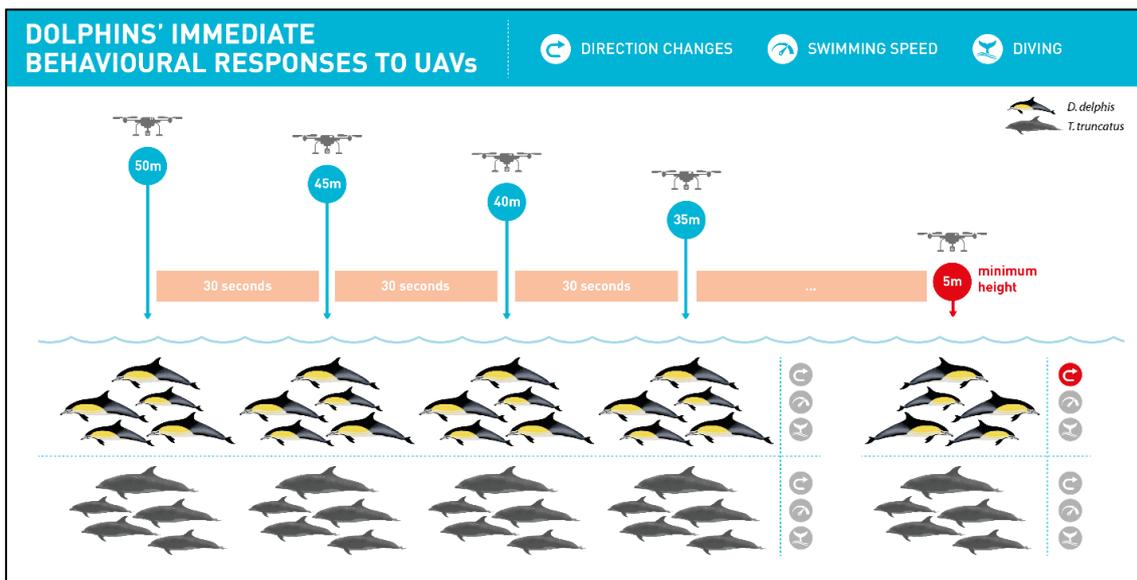
El primer paso en nuestro estudio para determinar las estrategias madre-cría con el dron, fue investigar los impactos que el propio dron podía tener sobre el comportamiento de pequeños delfínidos (delfín mular y delfín común, las dos especies de delfínidos más abundantes en nuestra área de estudio),<sup>29</sup> (Fig. 1). Se consideró como impacto como un cambio de: (i) dirección, (ii) velocidad de nado y/o (iii) patrón de buceo. Llevamos a cabo estudios visuales aleatorios, sobre una embarcación neumática semirrígida de 7 metros de eslora, para encontrar las especies objetivo. Utilizamos un cuadróptero de despegue y aterrizaje vertical (DJI Phantom 2)

emparejado con una cámara GoPro HERO4 conectada a un sistema de antena de radio instalado en el dron para transmitir en vivo el video durante el vuelo a un dispositivo tablet.

El dron solo era usado, con buenas condiciones ambientales (Beaufort  $\leq 3$ , oleaje  $< 0.5m$ , visibilidad  $\geq 5km$  y el horizonte despejado de nubes), y tras un periodo de habituación de los delfines, a la embarcación de 15 minutos. Volamos el dron a una altura inicial de 50 m sobre el grupo y lo bajamos 5 m cada 30 segundos, hasta alcanzar la altura mínima de 5 m sobre el nivel del mar (Fig. 1). Los delfines mulares no mostraron ninguna respuesta visible al dron. Los delfines comunes mostraron cambios significativos de dirección cuando el dron estaba a una altura de 5 m. Con este estudio, demostramos que los vehículos aéreos no tripulados tienen un bajo impacto en el comportamiento de los delfínidos y, por lo tanto, pueden considerarse una herramienta eficaz para estudiar el comportamiento de los delfines.

A continuación, utilizamos un sistema de dron similar (DJI Phantom 2 y 4) para evaluar las estrategias maternas en delfines comunes. Probamos si/cómo las hipótesis de depredación, seguridad de la cría, y de competencia, influyen en el comportamiento madre-cría. En resumen, encontramos un fuerte apoyo a las hipótesis de depredación y de seguridad de las crías, y un apoyo parcial a la hipótesis de competencia<sup>31</sup>.

Volamos el dron durante avistamientos de delfines comunes con al menos una pareja madre-cría y con condiciones ambientales adecuadas (ver arriba). Consideramos crías a los animales cuya longitud era  $\leq \frac{1}{2}$  de la longitud de un adulto y que viajan junto a un adulto<sup>29</sup>. Durante el experimento, volamos el dron lo más centrado posible sobre un grupo manteniendo una altitud de  $\geq 20$  m y una distancia de 30-100 m del barco de investigación.



**FIGURA 1.** Resumen gráfico de nuestro estudio para determinar los impactos de los drones en delfines<sup>32</sup>.

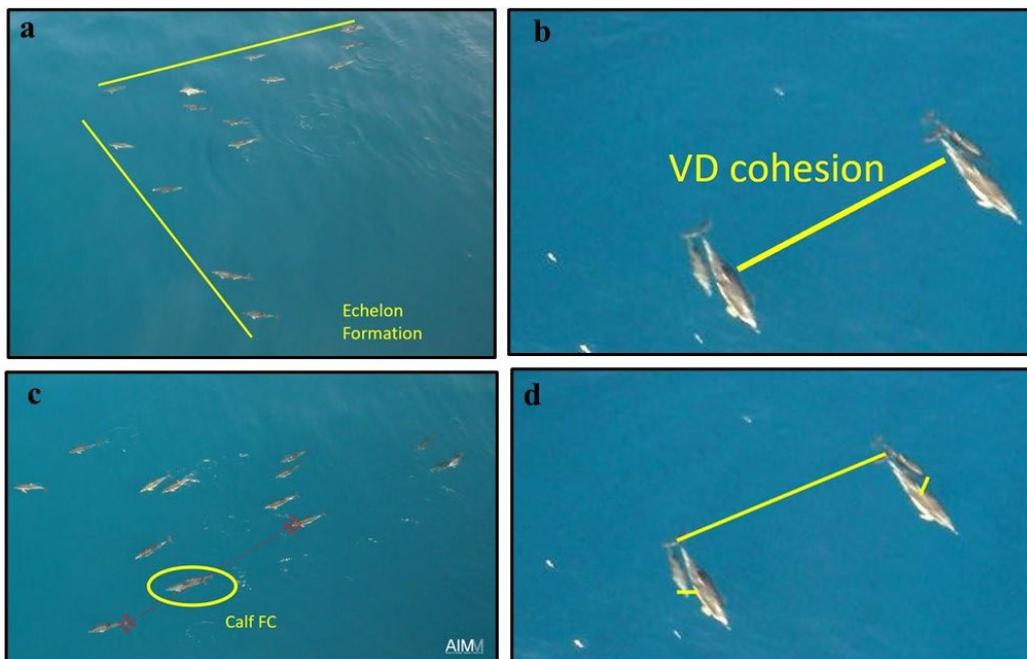
Realizamos 39 seguimientos *focales* con el dron, sobre grupos de delfines comunes. El tiempo medio de vuelo fue de 12,4 min, produciendo una media de 7,8 minutos de imágenes de vídeo utilizable para examinar por seguimiento. Analizamos todas las imágenes a intervalos de 30 segundos (N = 753 intervalos con un total de  $\sim 8$  h de imágenes), registrando tamaño del grupo, número de crías, formación espacial del grupo (solitaria, paralela, lineal vertical, manada, disperso, escalón), y cohesión del grupo (muy compacto, compacto, disperso, muy disperso, solitario) para cada intervalo (Fig. 2). Para cada pareja madre-cría, documentamos su posición dentro del grupo (centro delantero, borde delantero, centro trasero, borde trasero), y medimos la distancia entre las madres y sus crías y la distancia entre las crías y su vecino más cercano que

no era su madre. Utilizamos el tamaño medio de un delfín común adulto (2,0 m)<sup>33</sup> como punto de referencia para las mediciones de distancia. Durante cada intervalo de muestreo, también registramos el número de lactancias, saltos, contactos ventrales y eventos socio-sexuales. Para permitir observaciones más precisas de los datos extraídos del vídeo, la reproducción se ralentizó hasta 10 veces la velocidad original. Ejecutamos modelos aditivos generalizados mixtos (GAMMs) y ecuaciones de estimación generalizadas (GEEs) en R (Viena, Austria) para analizar, por ejemplo, el efecto del tamaño del grupo, la cohesión, la formación y la posición del grupo en la distancia de una cría a su madre, o por otro lado el efecto del tamaño del grupo, la cohesión y el tipo de vecino más cercano en la distancia de una cría a su vecino más cercano que no era su madre.

La nueva perspectiva aérea obtenida por el uso de drones nos ha permitido coleccionar estos parámetros de una manera efectiva y precisa, superando con éxito la dificultad generada de evaluar la configuración del grupo y la distancia entre individuos desde un punto de vista horizontal de poco ventajoso como el de los buques.

Los retos que encontramos durante la colección y análisis de datos, incluyeron el viento y oleaje (impactando en las maniobras con el dron y en la visibilidad superficial del agua), reflejo del sol, el comportamiento de los delfines y el tiempo limitado de las baterías del dron (<25 min), que obligaban a despegar el dron en múltiples ocasiones durante un mismo avistamiento, en vez de coleccionar datos de forma continua.

En este estudio, se pretenden superar estos problemas usando dos drones de nueva generación (ver abajo) con baterías de mayor duración, mayor resistencia al viento, mejor resolución de cámara y capacidad de infrarrojos, así como filtros para mejorar la calidad de imagen. Estos UAV nos permitirán obtener imágenes de un amplio campo de visión a grandes alturas, al mismo tiempo que preservan la calidad de la imagen para detectar parejas de madres y crías, incluso en grupos grandes. Los drones serán testeados durante un estudio piloto para determinar el mejor o mejores sistemas de trabajo.



**FIGURA 2.** Fotogramas de vídeo UAV mostrando los parámetros utilizados para examinar las estrategias maternas de los delfines comunes frente a las costas de Portugal. a) formación del grupo, b) cohesión (VD = muy disperso), c) posición de la cría en el grupo (FC = centro delantero), d) distancia entre la madre y la cría, y entre la cría y su vecino no-madre más cercano.

Nuestra experiencia con las anteriores metodologías es fácilmente transferible para el objetivo principal de este estudio, examinar la separación madre-cría. Además de tener un tamaño similar (en torno a los 0,5m)<sup>34</sup>, la ecología del comportamiento de los delfines comunes en el sur de Portugal es muy similar a la ecología de los pequeños delfines oceánicos en el POT, donde también se encuentran los delfines comunes<sup>1</sup>. Por ejemplo, los delfines comunes, acrobáticos y pantropicales manchados, pueden encontrarse en grupos de sexo mixto o en grupos segregados por sexo o por clase de edad<sup>29,31,35,36</sup>. Las sociedades de estas tres especies de delfines se caracterizan por un alto grado de dinámica fusión-fisión<sup>1</sup>, siendo las tasas de fusión-fisión del delfín común en el sur de Portugal una de las más altas de todos los mamíferos<sup>31</sup>. Las tres especies destacan por viajar largas distancias en periodos de tiempo cortos<sup>37</sup>, siendo el viaje uno de los comportamientos más reportados de *D. delphis* en el Algarve<sup>31</sup>. Generalmente la dieta de los delfines comunes, tornillo oriental y manchados pantropicales es similar, su presa principal son pequeños peces mesopelágicos y calamares de la capa de reflexión profunda, así como especies epipelágicas en cardúmenes<sup>38-40</sup>. Esta preferencia dietética también se ha documentado en particular para los delfines comunes en Portugal<sup>41</sup>. La biología reproductiva también es similar en las tres especies. Los periodos de gestación varían de aproximadamente 10 a 11,7 meses<sup>40,42-45</sup> y el tamaño al nacer varía de 75 a 93 cm<sup>38-40</sup>. Hasta la fecha, no se han realizado estudios para investigar el tamaño al nacer de los delfines comunes específicamente en el sur de Portugal. Sin embargo, las observaciones de campo coinciden con los rangos de tamaño informados en la literatura y, por lo tanto, son comparables con los tamaños de recién nacidos de pequeños delfínidos oceánicos en el PTO. Los intervalos entre partos y la edad de madurez sexual de las tres especies también caen dentro de rangos similares<sup>46</sup>.

No obstante, se han detectado diferencias importantes entre ambos sistemas. Lo primero es que hemos anticipado que la mayoría de los grupos seleccionados por las pesquerías serán grupos mixtos de delfín tornillo y manchado pantropical, que son de mayor tamaño (tamaño medio = 200, IC = 112-334)<sup>1</sup> que los grupos de delfines comunes analizados en Portugal (21,59 ± 14,95 individuos, abarcando de 1-69) por el método anteriormente expuesto<sup>31</sup>. Además, como los grupos de delfines más grandes transportan más atunes, son preferentemente usados por los pescadores<sup>9</sup>. Lo segundo, es que se espera que los delfines estudiados durante el proyecto presenten altas velocidades durante las observaciones con dron. Mientras que viajar fue también el comportamiento predominante en nuestro estudio de la dinámica de fisión-fusión del delfín común<sup>30</sup>, anticipamos que los delfines observados durante este estudio estarán predominantemente viajando a velocidades más altas que las observadas normalmente en nuestra área de estudio. Esto podría complicar el análisis de imágenes, ya que los delfines que viajan rápido suelen producir mucha espuma, lo que podría ocultar las parejas madre-cría. Finalmente, durante el presente proyecto, anticipamos la necesidad de trabajar en condiciones de mar más agitadas debido al mar abierto y a la necesidad de realizar observaciones durante tantos lances de pesca como sea posible, para obtener un tamaño de muestra adecuado. Sin embargo, con base en datos de la CIAT (cortesía de Ernesto Altamirano), el 88 % de las búsquedas realizadas por la flota mexicana de agosto a mediados de noviembre desde el 2017 al 2022 ocurrieron con Beaufort ≤ 3; esta es la escala máxima de Beaufort bajo la cual ocurrió nuestra investigación anterior en Portugal. Es por ello, que debido a estas diferencias clave, junto con las diferencias inherentes entre trabajar desde un buque de investigación y uno de pesca, primero se llevara a cabo un estudio piloto.

## **METODOLOGÍA**

Se llevará a cabo un estudio piloto de dos fases, seguido por el estudio principal. La primera fase del estudio piloto se llevará a cabo en nuestra área de estudio, en el sur de Portugal. La segunda fase del estudio piloto y el estudio principal se llevarán a cabo en buques de cerco en el POT. Tenemos todos los permisos de investigación y de dron necesarios para realizar el estudio piloto en Portugal. Trabajaremos con la CIAT para obtener todos los permisos necesarios para la

investigación y las operaciones con drones que se realicen en el POT. Ya hemos obtenido la aprobación del Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de la Universidad de Alaska (IACUC) para llevar a cabo el trabajo de campo en Portugal (protocolo #1885382) y obtendremos la aprobación adicional de la Universidad de Alaska Fairbanks antes de comenzar el trabajo de campo en el POT.

### Estudio piloto

#### *Fase 1: Portugal*

Los objetivos de la primera fase del estudio piloto son dos: (i) probar y obtener destreza en el uso de dos nuevos drones (Tabla 1), (ii) probar el rendimiento del UAV (p. ej., duración de la batería, el viento), (iii) Determinar la calidad de video bajo diferentes condiciones ambientales (p. ej., viento, reflejo, estado del mar, visibilidad del agua), (iv) probar la resolución de las cámaras de luz visible e infrarroja a distintas alturas para determinar la altura máxima a la que podemos volar los drones y para obtener los parámetros necesarios para determinar la separación madre-cría (tabla 2), (v) perfeccionar nuestras técnicas de análisis de imágenes.

Se adquirirán dos modelos de dron con características complementarias de vuelo (Tabla 1), para garantizar una exitosa implementación del experimento. Esto dará flexibilidad para ajustar la metodología según las condiciones de campo y la fase pesquera lo requieran, así como continuar con el muestreo en caso o fallo de uno de ellos.

**TABLA 1.** Especificaciones de los dos drones a utilizar.

<b>Atributos</b>	<b>Cuadróptero DJI Matrice 30T</b>	<b>Autel Dragonfish Aeronave estándar de ala fija con cámara L20T</b>
Tiempo de vuelo (máximo)	41 min	93 min
Velocidad de vuelo (máxima)	23 m/s	30 m/s
Resistencia al viento (máxima)	15 m/s	15 m/s
Rango de transmisión (máximo)	15 km	50 km
Gran angular (luz visible)	12 MP, 4K, 24 mm	12 MP, 4K
Cámara zoom (luz visible)	48 MP, 4K, 5-16x óptico, 200x max. zoom híbrido	4K, 20x zoom óptico, 240 max. zoom híbrido
Cámara térmica	640x512, 40 mm	640x512, 25 mm, 16x zoom
Telémetro Laser	3m – 1200m ± 0.2 m	10m – 1200m ± 1m

**TABLA 2.** Parámetros registrados a partir de secuencias de video de dron para evaluar la separación entre madre y cría.

Parámetros generales del grupo	Parámetros específicos madre-cría
Tamaño del grupo	Formación (madre-cría vs. no-madre-cría)
Composición (proporción de cada especie, proporción de madres con cría)	Posición de la cría en relación con la madre (escalón, infantil, detrás, sin asociar con otro animal no cría)
Estado de conducta predominante (buscando alimento, descansando, socializando, viajando)	Distancia madre-cría, latitudinal y longitudinalmente (“deslizamiento”)
Formación del grupo (solitario, en paralelo, lineal vertical, compacto, disperso, echelon)	Distancia entre la cría y su vecina no madre más cercana
Cohesión (muy compacto, compacto, muy disperso, solitario)	Posición de la cría en el grupo (centro delantero, borde delantero, centro trasero, borde trasero)
Velocidad de viaje	Tamaño de la cría (basado en la proporción de la longitud del cuerpo de la madre)

La ventaja principal del dron Matrice es la mayor manejabilidad por el sistema multi-rotor, aunque esto va a expensas de la duración de la batería. El dron Dragonfish es capaz de alcanzar velocidades más altas, un mayor alcance de transmisión y tiene más del doble de autonomía de batería que el Matrice, pero a costa de una menor maniobrabilidad, ya que se trata de un avión de ala fija. Sin embargo, el Dragonfish puede funcionar como un multirrotor (Aunque disminuirá la autonomía de vuelo) con una transición fácil y rápida en vuelo de ala fija a multirrotor. Ambos modelos de dron tienen la capacidad de despegue y aterrizaje vertical, característica indispensable para este proyecto. El Dragonfish tiene un receptor ADS-B con un excelente funcionamiento para evitar obstáculos e informar a otras aeronaves de su posición. Ambos vehículos aéreos no tripulados están equipados con cámaras 4K gran angular de alta resolución con sensores infrarrojos y telemétricos (Tabla 1) láser que serán ideales para observar la dinámica espacial de las madres y crías. En el Dragonfish, las tres cámaras (gran angular, zoom e infrarrojo) graban simultáneamente, por lo que incluso si hacemos zoom sobre una parte del grupo, la cámara de gran angular seguirá grabando, lo que nos permitirá monitorear continuamente todo el grupo.

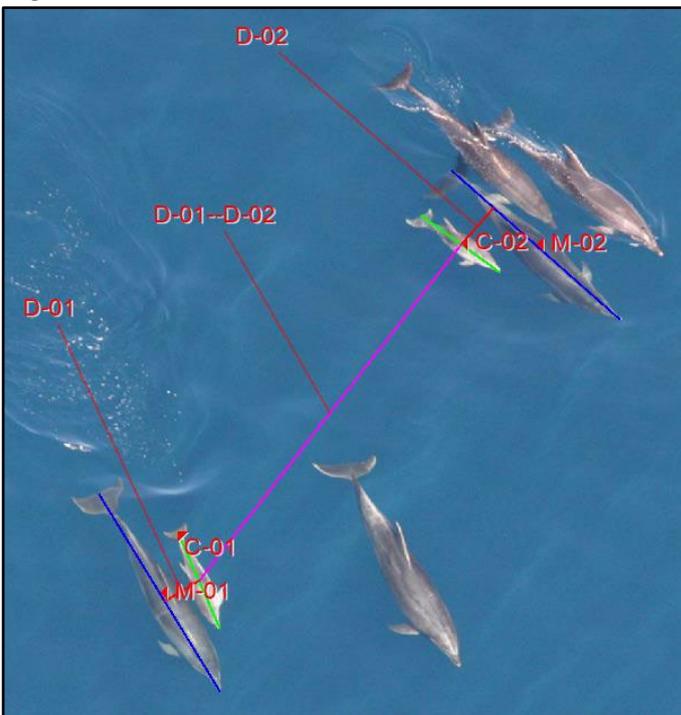
El personal de Autel llevará a cabo varios días de entrenamiento del Dragonfish al inicio del estudio piloto en Portugal. No anticipamos la necesidad de entrenamiento adicional en el uso del Matrice, debido a que nuestro equipo ha estado volando drones DJI similares durante más de 6 años y es bastante competente en su uso.

El estudio piloto coincidirá con nuestras actividades de campo rutinarias, donde se llevan a cabo estudios desde una embarcación semirrígida de 7 metros de 3 a 5 días semanales, desde abril a noviembre, en base a la climatología. Para este estudio piloto se dedicarán 30 días de campo desde mayo a julio. Los dos delfinidos que se encuentran regularmente en nuestra área de estudio en el sur de Portugal son el delfín común y el delfín mular (*Tursiops truncatus*)<sup>29,47</sup>. Con el fin de replicar los grupos que se pretenden observar en el POT, se buscarán grandes grupos de delfines comunes. Aunque nuestro anterior estudio se centraba en grupos más pequeños ( $\leq 50$ ),

se pueden encontrar grupos de hasta 1.000 individuos delfín común<sup>29</sup>. Estos grandes grupos se encuentran principalmente viajando rápido (J. Castro, datos sin publicar), lo que ayudará a simular el comportamiento de los grupos de delfines en el POT.

Utilizaremos el siguiente protocolo de UAV tanto durante las fases del estudio piloto como durante el estudio principal. La tripulación del dron estará formada por tres personas: un piloto, un copiloto y un observador visual. El copiloto asistirá al piloto en el despegue y aterrizaje del dron. Una vez el dron este en el aire, el copiloto y el observador visual ayudarán al piloto a dirigirse hasta el grupo de delfines. Una vez que el grupo sea visible en la pantalla de control del dron, el piloto mantendrá los ojos en la pantalla para permanecer con el grupo. Usando una segunda pantalla, el copiloto ayudará al piloto a permanecer con el grupo y tomar decisiones sobre qué parte del grupo enfocar según sea necesario (p. ej., si el grupo se divide o es más grande que el campo de visión deseado para obtener una resolución de imagen suficiente). El observador visual mantendrá los ojos en el dron tanto como le sea posible, guiando al piloto cuando sea necesario.

Siguiendo métodos anteriores<sup>11,31</sup>, realizaremos un análisis posterior de las secuencias de vídeo



**FIGURA 3.** Imagen que muestra un ejemplo de cómo se puede customizar Image-Pro v. 11 para el análisis de imágenes de UAV. Después de usar las herramientas "Línea materna" (azul, M-01 y M-02) y "Línea de cría" (verde, C-01 y C-02) para medir y calcular el tamaño de la cría en relación con su madre, las distancias entre los individuos pueden calcularse utilizando las herramientas "Distancia entre centros" (rojo, distancia madre-cría D-01 y D-02) y "Establecer para establecer distancia" (magenta, distancia cría-c D01-D02). Figura cortesía de Matthew Batchelor, Alces Imaging and Automation, LLC. Imagen de [https://www.onegreenplanet.org/wpcontent/uploads/2014/08/bottlenosedolphin5\\_fullsize1.jpg](https://www.onegreenplanet.org/wpcontent/uploads/2014/08/bottlenosedolphin5_fullsize1.jpg)

para registrar nuestros parámetros (Fig. 1, Tabla 2). Observaremos diferencias en nuestra capacidad para evaluar estos parámetros en función de: (i) tipo de dron (Matrice vs Dragonfish), (ii) cámara (visible vs infrarroja), (iii) altura del dron, (iv) tamaño del grupo, (v) comportamiento del grupo, (vi) composición del grupo, y (vii) condiciones ambientales. El análisis de imágenes para ambas fases del estudio piloto y para el estudio principal se realizará utilizando Image-Pro v. 11 (Media Cybernetics, Inc., Rockville, MD). Exploraremos el potencial de customizar este programa con funciones de procesamiento automático/semiautomático que agilizarán el análisis (Fig. 3).

#### Fase 2: POT

Los objetivos de esta segunda fase del estudio piloto son: (i) aplicar la metodología de la fase 1 en un pesquero de cerco en el POT; (ii) familiarizarse con las operaciones pesqueras, el comportamiento de las especies de interés y trabajar bajo diferentes condiciones ambientales y pesqueras (p. ej., beaufort, mar de fondo) en el POT; (iii) determinar el mejor o mejores drones así como cámaras para el estudio principal (p. ej., teniendo en cuenta resolución de imagen o la

duración de la batería); y (iv) definir la separación madre-cría; (v) determinar si la separación madre cría se puede observar en tiempo real; y (vi) obtener una estimación preliminar de la separación madre-cría.

El trabajo de campo de esta fase del estudio piloto tendrá lugar durante un periodo de dos semanas en julio-septiembre. Se trabajará estrechamente con el CIAT para determinar el periodo óptimo para llevar a cabo el estudio piloto y coordinar la logística de trasladar a nuestro equipo hacia/desde el cerquero. Somos conscientes de lo que supone trabajar con los horarios de la tripulación y las dificultades asociadas para llegar a/desde la costa durante una temporada de pesca activa.

Volaremos el dron desde el cerquero cuando sea posible durante todas las interacciones pesqueras que ocurran bajo buenas condiciones ambientales. Con base en datos de la CIAT (cortesía de Ernesto Altamirano) de la flota mexicana, desde octubre hasta mediados de noviembre durante los años 2017 a 2022, el número modal de persecuciones por viaje de pesca fue de 41-50 y la duración promedio del viaje de pesca fue de 51 días. Teniendo en cuenta las limitaciones debidas a las condiciones ambientales, anticipamos que, durante los 14 días del estudio piloto, podremos obtener imágenes de  $\geq 10$  persecuciones.

Mantendremos el dron en línea visual lo máximo posible, entendiendo que la persecución inicial puede tener hasta a 2 milla náuticas del buque. Reconocemos que el dron puede interferir con el helicóptero de pesca y se minimizarán los impactos lo máximo posible. Con ese fin, trabajaremos en estrecha colaboración con el helicóptero y la tripulación de pesca para desarrollar un plan de seguridad detallado y una línea clara de comunicación.

Se seguirán los métodos del dron mencionados anteriormente para la fase 1 del estudio piloto. El video del dron se retransmitirá en directo en una segunda pantalla, que el copiloto podrá monitorear constantemente. Uno de los principales objetivos de esta fase será determinar si la separación madre-cría se puede identificar en tiempo real. Esto es importante porque nos ayudará a seguir a una cría separada durante el mayor tiempo posible para determinar su destino, especialmente si sale del campo de visión del grupo principal que se está fotografiando. El objetivo será seguir a la cría hasta que el grupo esté rodeado o incluso más allá. Este enfoque podría ayudar a determinar si las crías separadas se reincorporan en el grupo cuando la persecución da la vuelta, y si las crías separadas permanecen cerca de la red después del cerco. Si se observa varias veces la separación madre-cría, durante las persecuciones posteriores, se buscará un equilibrio entre seguir a la cría separada y retomar el seguimiento del grupo principal para aumentar la posibilidad de observar más eventos de separación, aumentando así el tamaño de la muestra.

También determinaremos si los eventos de "deslizamiento" de crías se pueden identificar en tiempo real. Un aumento en la distancia latitudinal y/o longitudinal entre una madre y su cría puede anular los beneficios hidrodinámicos que brinda la natación en posición escalón, lo que podría conducir a la separación entre ambas. Si se observa un evento de deslizamiento, intentaremos permanecer con esa pareja madre-cría el mayor tiempo posible para determinar si los eventos de deslizamiento conducen a eventos de separación.

Siempre que sea posible, intentaremos mantener el grupo dentro del rango de visión del dron, especialmente al inicio de la persecución, para obtener la estima total del tamaño del grupo y del número de madres con crías. No obstante, si la altura del dron requerida para observar todo el grupo disminuye la resolución de imagen y no se pueden recopilar con exactitud los parámetros de interés (Tabla 2), nos centraremos en las parejas madre-cría. Los delfines manchados pantropicales (la especie de delfín mejor estudiada en el POT respecto a su comportamiento) viven en sociedades fusión-fisión, con grupos compuestos con todas las clases de edad, con indicios de que las parejas madre-cría pueden asociarse preferentemente entre sí en los subgrupos<sup>1</sup>. Si no es posible mantener todo el grupo de delfines dentro del campo de

visión, también exploraremos la utilidad de enfocarnos en la parte posterior del grupo para observar los animales (posiblemente crías) que se quedan atrás. Si el grupo se divide, la regla de decisión será permanecer con el grupo o parte del grupo que está siendo perseguido, hasta que se complete el cerco con la red. Comprender el equilibrio óptimo entre la observación de parte del grupo en función de la altura del UAV y la resolución de la imagen es un objetivo primordial del estudio piloto POT.

Otro objetivo principal del estudio piloto en el POT es entender la duración de las interacciones pesqueras, con respecto al tiempo de batería del dron. Durante cada fase de la pesca, desarrollaremos un método para traer rápidamente y de manera eficiente el UAV de regreso al barco pesquero según sea necesario para cambiar las baterías y volver a volar hacia el grupo de delfines. Tendremos varios juegos de baterías Dragonfish y Matrice completamente cargadas listas para usar en cubierta, además de tener otro Matrice completamente cargado listo para usar. Como respaldo adicional, traeremos nuestro DJI Mavic actualmente en propiedad, que también estará cargado y listo para usar en todo momento en la cubierta.

Según los datos de la CIAT (cortesía de Ernesto Altamirano), el 98% de las persecuciones duran  $\leq 60$  minutos, siendo el 55% de ellas  $\leq 15$  minutos. Dado el tiempo máximo de batería de Dragonfish de 93 minutos (bajo condiciones ideales utilizando solo ala fija y sin multi-rotor) y considerando el tiempo de vuelo desde la embarcación hasta el inicio de la persecución, anticipamos que, para la mayoría de las persecuciones, se podrá capturar toda la persecución en un solo vuelo del UAV.

Después se volará el UAV sobre la red durante el encierro para monitorear a los delfines nadando fuera de la red; esto puede revelar si una cría se queda cerca de la red si su madre está encerrada. Como esto ocurrirá a corta distancia de la embarcación y es probable que el UAV tenga que ubicarse sobre la red, utilizaremos el Matrice 30T durante este período. Considerando que la duración modal del encierro es de 31-40 minutos, con el 96% de ellos durando  $\leq 60$  minutos (datos de la CIAT, cortesía de Ernesto Altamirano), y una duración máxima de batería del Matrice de 41 minutos, anticipamos que necesitaremos regresar el UAV a la embarcación para cambiar las baterías (o desplegar un nuevo UAV) una vez durante el encierro.

Finalmente, volaremos un dron sobre los delfines durante la maniobra de retroceso para determinar si ocurre separación entre madre y cría durante la carrera después de ser liberados de la red. Debido a las altas velocidades y largas distancias que se espera que los delfines recorran durante este periodo, volaremos el Dragonfish sobre el grupo durante el mayor tiempo posible, teniendo en cuenta la duración de la batería necesaria para devolver el dron a la embarcación.

Durante el análisis de imagen una pareja madre-cría se identificará como dos delfines nadando más próximo entre sí que el resto de los delfines, siendo el de menor tamaño de ambos  $\leq 0.75$  la longitud del de mayor tamaño (presunta madre)<sup>11</sup>. Las crías de este tamaño se espera que tengan  $\leq 1$  año (Tabla 3) y por ende vulnerables a la separación y posterior mortalidad<sup>6</sup>. Además, se clasificarán como neonatos aquellas crías con una longitud  $< 0.5$  veces la de la presunta madre, a menudo con pliegues fetales o líneas visibles<sup>16</sup>. Los neonatos son los más vulnerables a la separación y posterior mortalidad, debido a sus capacidades natatorias subdesarrolladas y a su dependencia en la posición escalón, la cual puede no ser posible durante prolongados viajes a gran velocidad<sup>5,6</sup>. En base a la metodología propuesta<sup>31,48</sup>, las mediciones de la distancia interindividual se harán en base a la longitud del cuerpo de la madre (Tabla 3). Para tener en cuenta los cambios de altitud y ángulo del UAV a lo largo de un periodo de muestreo, en cada intervalo de 30 segundos estandarizaremos nuestras mediciones midiendo la longitud del cuerpo de la madre y usándola como punto de referencia para todas las mediciones en ese intervalo (Fig. 3). Siempre que sea posible, también usaremos las longitudes conocidas de las lanchas rápidas en el campo de visión para determinar la longitud corporal de los delfines; esto

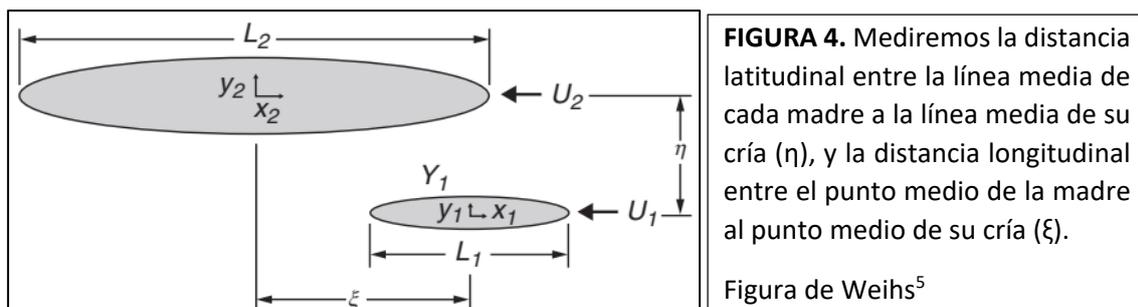
será especialmente importante para determinar las longitudes (y por lo tanto, las edades) de los individuos separados de la manada.

**TABLA 3.** Mediciones de longitud del cuerpo utilizadas para calcular el tamaño aproximado de las crías con relación a las madres.

	Delfín tornillo	Delfín manchado pantropical	Referencia(s)
Hembra adulta	171 cm	188 cm	3,49
Neonato ( <i>proporción de la longitud del cuerpo de la madre</i> )	77 cm (0.45)	83 cm (0.44)	49-51
1 año de edad ( <i>proporción de la longitud del cuerpo de la madre</i> )	128 cm (0.75)	130 cm (0.69)	50

El primer paso en el análisis posterior de imágenes -hoc será ver las grabaciones en su totalidad (reduciendo velocidad de reproducción según sea necesario) para detectar si se produjo algún evento separación madre-cría. Si bien intentaremos ver estos eventos en tiempo real como se describe anteriormente, reconocemos que esto puede ser un desafío y que la identificación *a posteriori* de los eventos de separación/slippage puede ser más práctica. Cada periodo de muestreo (p. ej., una interacción pesquera) se calificará en Sí/No para la separación o deslizamiento entre madres y crías; si hay separación/deslizamiento, se registrará el momento de la grabación en el que tuvo lugar cada evento. Lo siguiente será visualizar los videos nuevamente para registrar los parámetros de interés (Tabla 2) en intervalos de 30 segundos. Si la separación/deslizamiento tiene lugar durante los periodos de muestreo, podemos perfeccionar nuestro esquema de muestreo para registrar nuestros parámetros de interés a intervalos más cortos para captar los detalles a pequeña escala que preceden y siguen a la separación/deslizamiento. Se anticipa notar diferencias en nuestra capacidad de evaluar confiablemente los parámetros según el dron, el grupo de delfines y los parámetros ambientales.

Nos interesa particularmente determinar la distancia latitudinal y longitudinal entre cada madre y su cría (Fig. 4). Si una cría se separa de su madre demasiado lejos latitudinalmente, la cría ya no se beneficia de la succión de Bernoulli que la atrae hacia su madre para obtener un "paseo gratis". Si una cría se separa de su madre demasiado lejos longitudinalmente (adelante o atrás de ella), la cría puede quedar atrapada en la zona de estela de su madre y ya no beneficiarse de la fuerza de su arrastre<sup>5,52</sup>. En ambos casos, la cría puede ser incapaz de seguir el ritmo del grupo, lo que podría llevar a la separación. Durante el estudio piloto, trabajaremos para identificar los umbrales de distancia/tiempo que llevan a la separación observada y potencial.



Al término de la fase 2 del estudio piloto, pretendemos obtener una estimación preliminar de la

probabilidad de separación madre-cría. Esto tendrá como base el número real de eventos de separación observados, además de los posibles eventos de separación, con base en las observaciones del deslizamiento de las crías.

Para determinar la probabilidad de separación madre-cría, consideraremos: i) número total de parejas madre-cría en el grupo inicialmente perseguido; (ii) número total de parejas madre-cría en el campo de visión del dron, durante la persecución, encierro, retroceso y liberación; (iii) número de crías separadas observadas; y (iv) número de crías, y su edad relativa, que se separan de la posición escalón, lo que representa una separación potencial.

Para cada interacción pesquera, calcularemos la probabilidad de separación madre-cría ( $S_{prob}$ ) como:

$$S_{prob} = \frac{S_{obsv}}{MC_{obsv}}$$

Donde  $S_{prob}$  = número de eventos de separación observados y  $MC_{obsv}$  = número de parejas madre cría observadas en el campo de visión.

Para tener en cuenta los cambios en el tamaño del grupo, y/o si no es posible mantener todo el grupo en el campo de visión del dron en todo momento, extrapolaremos según sea necesario a un número total estimado de eventos de separación ( $\hat{S}$ ) usando la siguiente ecuación:

$$\hat{S} = S_{prob} * MC_{init}$$

Donde  $MC_{init}$  = número total de parejas madre-cría observadas al inicio de la persecución.

Usaremos las mismas fórmulas para calcular la posible separación entre madre y cría en función de los eventos observados y estimados de deslizamiento de crías. Realizaremos análisis exploratorios para identificar qué métricas predicen la separación o la separación probable.

### Estudio principal

El trabajo de campo del estudio principal se llevará a cabo desde octubre hasta noviembre. En base a los datos antes mencionados de la CIAT con respecto a la duración promedio de los viajes de pesca (51 días) y el número modal de persecuciones por viaje (41-50), anticipamos que se producirá aproximadamente una persecución por día. Realizaremos vuelos de UAV durante tantas persecuciones como sea posible, teniendo en cuenta las posibles limitaciones ambientales identificadas durante la fase 2 del estudio piloto.

El estudio principal seguirá directamente los resultados y las lecciones aprendidas durante el estudio piloto. Esperamos que los métodos de análisis de campo e imagen utilizados en el estudio principal sigan de cerca los utilizados en la fase 2 del estudio piloto. Sin embargo, seguiremos un proceso reiterativo, adaptativo y colaborativo para desarrollar y refinar continuamente nuestros métodos a lo largo del proyecto. Se hará con base en los resultados del estudio piloto, el consejo de la CIAT y la retroalimentación de la revisión externa. Es posible que el estudio principal incluya métodos no descritos en esta propuesta. Además, somos conscientes de que el espacio es limitado en el cerquero y, si fuera necesario, el equipo científico del estudio principal podría reducirse al piloto y copiloto, actuando el copiloto también como observador visual. Nuestro objetivo es considerar e incorporar todos los comentarios posibles para que estemos completamente preparados para llevar a cabo el estudio principal de forma exitosa.

## *Análisis de datos*

Usando las formulas anteriores, calcularemos las tasas de separación media observada y potencial, a partir de todas las parejas madre-cría observadas durante el estudio principal. Siguiendo el método analítico de Castro<sup>31</sup>, llevaremos a cabo un GAMMs y GEEs en R (Vienna, Austria) para identificar que parámetros (si hay alguno) que predigan la separación madre cría (Tabla 2). La fase de la interacción pesquera (p. ej., persecución, encierro, retroceso), la duración y la configuración (p. ej., número de lanchas rápidas) serán considerados variables explicativas del modelo. La probabilidad de separación madre-cría será incorporada en los modelos de dinámica de poblaciones, para determinar si la separación puede afectar al crecimiento de la población y cómo. Dado que no ha habido nuevas estimaciones de abundancia de la población desde 2006 (hasta donde sabemos), usaremos los datos de Gerrodette et al.<sup>53</sup> para nuestros modelos de población. Damos la bienvenida a la oportunidad de colaborar con la CIAT para obtener datos de población más recientes (si están disponibles) y realizar modelos de población que apoyen el Obj. 2.

Se ha estimado que con tan solo de 2 a 5 muertes adicionales de delfines por lance o de 2 a 5 muertes por cada mil delfines perseguidos, se previene a la población de la falta de recuperación observada<sup>10</sup>. Como se ha discutido anteriormente, las crías < 1 año de vida, es poco probable que sobrevivan si se separan de la madre, y es factible que la probabilidad de separación entre madre y cría obtenida durante este estudio se limite a crías < 1 año. Incluso si se observan muy pocas separaciones entre madres y crías durante este proyecto, es posible que las implicaciones para la población general sean grandes. Este estudio tiene como objetivo descubrir si esta fuente potencialmente críptica de mortalidad de delfines está ocurriendo, afectando así el crecimiento de la población y la recuperación de los delfines tornillo oriental y delfín manchado pantropical en el POT.

## **PERSONAL**

Nuestro equipo de investigación internacional y poliglota tiene una sólida experiencia en ecología del comportamiento de delfines, operaciones de dron y análisis estadístico. El equipo estará compuesto por los siguientes científicos, que se enumeran a continuación según su función en el proyecto. Además, los fondos del proyecto apoyarán el tiempo dedicado para que dos investigadores adicionales del AIMM ayuden con el trabajo de campo y el análisis de imágenes/datos.

Heidi Pearson, PhD (IP), University of Alaska Southeast (UAS): Supervisión, coordinación y gestión general del proyecto, incluido el presupuesto; participación en el trabajo de campo del estudio piloto; interpretación, redacción y presentación de resultados.

Joana Castro, PhD (Co-IP), AIMM: Científico líder de la AIMM; copiloto de dron; participación en todo el trabajo de campo; líder de análisis de imágenes de dron; análisis de los datos; interpretación, redacción y presentación de resultados.

André Cid, MSc (Co-I), AIMM: Gerente financiero AIMM; líder de trabajo de campo y piloto de dron; participación en todo el trabajo de campo; interpretación, redacción y presentación de resultados.

Fábio Matos, PhD (Co-I), AIMM: Líder de análisis de datos; interpretación, redacción y presentación de resultados.

## **CRONOLOGÍA**

Este proyecto tendrá lugar desde el 4/1/2023 hasta el 8/31/2024. Las metas a continuación siguen la línea de tiempo sugerida en el anuncio de la consultoría. Esto puede ser revisado junto con la CIAT. El personal dedicado a cada meta se indica entre paréntesis.

- 1 de abril de 2023: Comienza el contrato. Revisión continua de literatura, solicitud de equipo y suministros, reserva de viajes, coordinación y organización del equipo (Pearson, Castro, Cid, Matos).
- 1 de mayo de 2023: Presentación de propuesta de investigación actualizada a la CIAT para revisión interna.
- 15-19 de mayo de 2023: Presentación de la propuesta de investigación y diseño del estudio al Comité Científico Asesor (CCA) de la CIAT, La Jolla, CA (Pearson, Castro).
- Mayo-Julio de 2023: Estudio piloto - Fase 1, Portugal (Pearson, Castro, Cid, Asistente de Investigación (AI) de AIMM #1).
- 30 de junio de 2023: Fecha límite para incorporar comentarios del CCA sobre la propuesta inicial y volver a presentarla al comité asesor.
- Agosto de 2023: Estudio piloto - Fase 2, POT (Pearson, Castro, Cid).
- Septiembre de 2023: Análisis de datos del estudio piloto, revisión de métodos basada en estudios piloto (Pearson, Castro, Cid, Matos, AI de AIMM #1 y #2).
- 29 de septiembre de 2023: Presentación del informe del estudio piloto (fases 1 y 2) y del informe financiero a medio plazo (Pearson, Castro, Cid).
- Octubre-Noviembre de 2023: Estudio principal de campo, POT (Castro, Cid, RA de AIMM #1).
- Ene-Abr de 2024: Análisis de datos y redacción de informe (Pearson, Castro, Cid, Matos, RA de AIMM #1 y #2).
- 15 de marzo de 2024: Presentación del informe de progreso a la CIAT para revisión interna.
- Mayo de 2024: Presentación del informe final a la reunión del CCA de la CIAT, La Jolla, CA (Pearson, Castro, Cid).
- 31 de agosto de 2024: Presentación de los informes finales del proyecto y financieros a la CIAT (Pearson, Castro, Cid).

#### **PRESUPUESTO**

El coste total estimado del proyecto es de 498.000\$ (Tabla 4). Los costos a continuación incluyen una tasa reducida de instalaciones y administración (I&A) de UAS del 20% aplicada a todos los costos de UAS. No hay I&A para AIMM.

**TABLA 4.** Presupuesto estimado por institución y categoría presupuestaria.

<b>Institución</b>	<b>Categoría</b>	<b>Coste (USD)</b>	<b>Elemento</b>
<b>UAS</b>	Personal	62,614	Salario + beneficios por 3.4 meses del tiempo de IP Pearson
	Viaje	10,203	Viaje de ida y vuelta (incl. pasaje aéreo, alojamiento, viáticos y transporte local) para PI Pearson desde Juneau a: San Diego (x2), Lisboa y México (ciudad por determinar)
	Suministros	1,000	Suministros para cámaras y ordenadores
	Contractual	1,000	Tarifas de seguro Medevac y credencial de marino mercante
	I&A	14,963	
	<b>Total UAS</b>		<b>89,780</b>
<b>AIMM</b>	Personal	152,633	Salario para: Co-IP Castro (6 meses.), Co-I Matos (5 meses.), Co-I Cid (4 meses.), AIMM RAs (2 x 6 me/cada uno)
	Viaje	25,838	Viaje ida y vuelta (incl. pasaje aéreo, alojamiento, viáticos, transporte local) para Co-IP Castro y Co-I Cid desde Lisboa a: San Diego (x2) y México (x2, ciudad por determinar), y AIMM AI Lisboa a México (ciudad por determinar)
	Equipo	171,035	Drones: 1x Autel Dragonfish Standard y 2x DJI Matrice 30T y suministros asociados; cámaras DSLR con teleobjetivos; programa de análisis de imagen
	Suministros	23,714	Ordenadores portátiles de campo, combustible para embarcaciones, almacenamiento de datos, prismáticos, cámaras de acción
	Contractual	35,000	Ingeniero de software, tarifas de publicación de revistas
	<b>Total AIMM</b>		<b>408,220</b>
<b>UAS+AIMM</b>	<b>Subvención total</b>	<b>498,000</b>	

## REFERENCIAS

- Mesnick, S. L., Ballance, L. T., Wade, P. R., Pryor, K. & Reeves, R. R. in *Ethology and Behavioral Ecology of Odontocetes* (ed B. Würsig) 183-209 (Springer, 2019).
- Ballance, L. T., Gerrodette, T., Lennert-Cody, C. E., Pitman, R. L. & Squires, D. A History of the Tuna-Dolphin Problem: Successes, Failures, and Lessons Learned. *Frontiers in Marine Science* **8**, doi:10.3389/fmars.2021.754755 (2021).
- Archer, F., Gerrodette, T., Dizon, A., Abella, K. & Southern, Š. Unobserved kill of nursing dolphin calves in a tuna purse-seine fishery. *Marine Mammal Science* **17**, 540-554, doi:10.1111/j.1748-7692.2001.tb01003.x (2001).
- Archer, F., Gerrodette, T., Chivers, S. & Jackson, A. Annual estimates of the unobserved incidental kill of pantropical spotted dolphin (*Stenella attenuata attenuata*) calves in the tuna purse-seine fishery of the eastern tropical Pacific. (2004).
- Weihs, D. The hydrodynamics of dolphin drafting. *Journal of Biology* **3**, 8 (2004).
- Noren, S. R. & Edwards, E. F. Physiological and behavioral development in delphinid calves: implications for calf separation and mortality due to tuna purse-seine sets. *Marine Mammal Science* **23**, 15-29, doi:10.1111/j.1748-7692.2006.00083.x (2007).
- Scott, M. D., Chivers, S. J., Olson, R. J., Fiedler, P. C. & Holland, K. Pelagic predator associations: tuna and dolphins in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series* **458**, 283-302, doi:10.3354/meps09740 (2012).
- Wade, P. R., Reeves, R. R. & Mesnick, S. L. Social and behavioural factors in cetacean responses to overexploitation: Are Odontocetes Less “Resilient” Than Mysticetes? *Journal of Marine Biology* **2012**, 1-15, doi:10.1155/2012/567276 (2012).
- Archer, F. I., Redfern, J. V., Gerrodette, T., Chivers, S. J. & Perrin, W. F. Estimation of relative exposure of dolphins to fishery activity. *Marine Ecology Progress Series* **410**, 245-255, doi:10.3354/meps08641 (2010).
- Reilly, S. B. *et al.* Report of the scientific research program under the International Dolphin Conservation Program Act. 100 (National Marine Fisheries Service, 2005).
- Cramer, K. L., Perryman, W. L. & Gerrodette, T. Declines in reproductive output in two dolphin populations depleted by the yellowfin tuna purse-seine fishery. *Marine Ecology Progress Series* **369**, 273-285, doi:10.3354/meps07606 (2008).
- St. Aubin, D. J. *et al.* Hematological, serum, and plasma chemical constituents in pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) following chase, encirclement, and tagging. *Marine Mammal Science* **29**, 14-35, doi:10.1111/j.1748-7692.2011.00536.x (2013).
- Kellar, N. M., Trego, M. L., Chivers, S. J. & Archer, F. I. Pregnancy patterns of pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) in the eastern tropical Pacific determined from hormonal analysis of blubber biopsies and correlations with the purse-seine tuna fishery. *Marine Biology* **160**, 3113-3124, doi:10.1007/s00227-013-2299-0 (2013).
- Edwards, E. F. Fishery effects on dolphins targeted by tuna purse-seiners in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *International Journal of Comparative Psychology* **20** (2007).
- Noren, S. R., Biedenbach, G., Redfern, J. V. & Edwards, E. F. Hitching a ride: the formation locomotion strategy of dolphin calves. *Functional Ecology* **22**, 278-283, doi:10.1111/j.1365-2435.2007.01353.x (2008).
- Mann, J. & Smuts, B. Behavioral development in wild bottlenose dolphin newborns (*Tursiops sp.*). *Behaviour* **136**, 529-566 (1999).

- Noren, S. R., Biedenbach, G. & Edwards, E. F. Ontogeny of swim performance and mechanics in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *J Exp Biol* **209**, 4724-4731, doi:10.1242/jeb.02566 (2006).
- Gubbins, C., Mcowan, B., Lynn, S. K., Hooper, S. & Reiss, D. Mother-infant spatial relations in captive bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Marine Mammal Science* **15**, 751-765 (1999).
- Gibson, Q. A. & Mann, J. Early social development in wild bottlenose dolphins: sex differences, individual variation and maternal influence. *Animal Behaviour* **76**, 375-387 (2008).
- Noren, S. R. Altered swimming gait and performance of dolphin mothers: implications for interactions with tuna purse-seine fisheries. *Marine Ecology Progress Series* **482**, 255-263, doi:10.3354/meps10286 (2013).
- Mann, J. & Smuts, B. B. Natal attraction: allomaternal care and mother-infant separations in wild bottlenose dolphins. *Animal Behaviour* **55**, 1097-1113 (1998).
- Noren, S. R. & Edwards, E. F. Infant position in mother-calf dolphin pairs: formation locomotion with hydrodynamic benefits. *Marine Ecology Progress Series* **424**, 229-236, doi:10.3354/meps08986 (2011).
- Noren, S. R. Infant carrying behaviour in dolphins: costly parental care in an aquatic environment. *Functional Ecology* **22**, 284-288, doi:10.1111/j.1365-2435.2007.01354.x (2008).
- Edwards, E. F. Duration of unassisted swimming activity for spotted dolphin (*Stenella attenuata*) calves: implications for mother-calf separation during tuna purse-seine sets. (2006).
- Wade, P. R., Watters, G. M., Gerrodette, T. & Reilly, S. B. Depletion of spotted and spinner dolphins in the eastern tropical Pacific: modeling hypotheses for their lack of recovery. *Marine Ecology Progress Series* **343**, 1-14, doi:10.3354/meps07069 (2007).
- Noren, S. R. & West, K. Muscle biochemistry of a pelagic delphinid (*Stenella longirostris longirostris*): insight into fishery-induced separation of mothers and calves. *J Exp Biol* **220**, 1490-1496, doi:10.1242/jeb.153668 (2017).
- Chivers, S. J. & Scott, M. D. Tagging and tracking of *Stenella* spp. during the 2001 chase encirclement stress studies cruise. (2002).
- Forney, K. A., St Aubin, D. & Chivers, S. J. Chase encirclement stress studies on dolphins involved in eastern tropical Pacific Ocean purse-seine operations during 2001. *NOAA Admin Rep LJ-02-32* (2002).
- Castro, J. *et al.* Oceanographic Determinants of the Abundance of Common Dolphins (*Delphinus delphis*) in the South of Portugal. *Oceans* **1**, 165-173, doi:10.3390/oceans1030012 (2020).
- Castro, J. *et al.* Common dolphin (*Delphinus delphis*) fission–fusion dynamics in the south coast of Portugal. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **76**, doi:10.1007/s00265-022-03235-0 (2022).
- Castro, J. *The social lives of common dolphins (Delphinus delphis) of the Algarve, Portugal: An insight into ecology, fission-fusion dynamics and maternal strategies* PhD thesis, Universidade de Lisboa, (2022).
- Castro, J. *et al.* Assessing the Behavioural Responses of Small Cetaceans to Unmanned Aerial Vehicles. *Remote Sensing* **13**, doi:10.3390/rs13010156 (2021).
- Evans, P. in *Handbook of marine mammals*. (eds S. Ridgeway & H. Harrison) 191-224 (Academic Press, 1994).
- Jefferson, T. A., Webber, M. A. & Pitman, R. L. *Marine mammals of the world: a comprehensive guide to their identification*. 2nd edn, (Academic Press, 2015).
- Pryor, K. & Kang-Shallenberger, I. Social structure in spotted dolphins (*Stenella attenuata*) in the tuna purse seine fishery in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Chapter 5. *Dolphins Societies: Discoveries and Puzzles*. University of California Press, Los Angeles, California (1991).

- Scott, M. & Perryman, W. (University of California Press, Berkeley, 1991).
- Gowans, S., Würsig, B. & Karczmarski, L. The social structure and strategies of delphinids: predictions based on an ecological framework. *Advances in Marine Biology* **53**, 195-294 (2008).
- Perrin, W. F. in *Encyclopedia of marine mammals* 205-209 (Elsevier, 2018).
- Perrin, W. F. in *Encyclopedia of marine mammals* 819-821 (Elsevier, 2009).
- Perrin, W. F. in *Encyclopedia of marine mammals* 1100-1103 (Elsevier, 2009).
- Silva, M. Diet of common dolphins, *Delphinus delphis*, off the Portuguese continental coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **79**, 531-540 (1999).
- Perrin, W. F. & Reilly, S. B. Reproductive parameters of dolphins and small whales of the family Delphinidae. *Reports of the international whaling commission* **6**, 97-133 (1984).
- Murphy, S. *et al.* Importance of biological parameters in assessing the status of *Delphinus delphis*. *Marine Ecology Progress Series* **388**, 273-291 (2009).
- Danil, K. & Chivers, S. Growth and reproduction of female short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, in the eastern tropical Pacific. *Canadian Journal of Zoology* **85**, 108-121 (2007).
- Perrin, W. F. & Hohn, A. A. in *Handbook of Marine Mammals* Vol. 5 (ed and R. Harrison S.H. Ridgway) 71-98 (Academic Press, 1994).
- Würsig, B., Thewissen, J. G. M. & Kovacs, K. M. *Encyclopedia of marine mammals. 3rd edn. London: Elsevier. 3rd edn, (Academic Press, 2018).*
- Castro, J., Oliveira, J. M., Estrela, G., Cid, A. & Quirin, A. Epimeletic Behavior in Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in the South of Portugal: Underwater and Aerial Perspectives. *Aquatic Mammals* **48**, 646-651, doi:10.1578/am.48.6.2022.646 (2022).
- Weir, J. S. *et al.* Dusky Dolphin (*Lagenorhynchus obscurus*) Mother–Calf Pairs: An Aerial Perspective. *Aquatic Mammals* **44**, 603-607, doi:10.1578/am.44.6.2018.603 (2018).
- Perrin, W., Holts, D. & Miller, R. Growth and reproduction of the eastern spinner dolphin, a geographical form of *Stenella longirostris* in the eastern tropical Pacific. *Fishery bulletin* **75**, 725-750 (1977).
- Hohn, A. A. & Hammond, P. Early postnatal growth of the spotted dolphin, *Stenella attenuata*, in the offshore eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin* **83**, 553 (1985).
- Perrin, W. F. & Henderson, J. R. Growth and reproductive rates in two populations of spinner dolphins, *Stenella longirostris*, with different histories of exploitation. *Reports of the International Whaling Commission*, 417-430 (1984).
- Weihs, D., Ringel, M. & Victor, M. Aerodynamic interactions between adjacent slender bodies. *AIAA journal* **44**, 481-484 (2006).
- Gerrodette, T., Watters, G., Perryman, W. & Ballance, L. Estimates of 2006 dolphin abundance in the Eastern Tropical Pacific, with revised estimates from 1986-2003. 43 (2008).