

COMISIÓN INTERAMERICANA DEL ATÚN TROPICAL

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

15ª REUNIÓN

La Jolla, California (EE. UU.)

10 - 14 de junio de 2024

DOCUMENTO SAC-15 INF-O

EXPERIMENTO CIENTÍFICO PARA EVALUAR LA SEPARACIÓN MADRE-CRÍA DE DELFINES DURANTE LAS OPERACIONES DE PESCA CON RED DE CERCO EN EL OCEANO PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL: INFORME DE AVANCES

Heidi C. Pearson¹, Joana Castro², André Cid², y Fabio L. Matos²

¹ University of Alaska Southeast, Juneau, AK, EE.UU.

² AIMM - Associação para a Investigação do Meio Marinho, Lisboa, Portugal

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este proyecto es utilizar vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) para determinar: i) si las parejas madre-cría se separan durante la persecución, el encierro, el retroceso y/o la “carrera” tras la liberación, y ii) la tasa a la que puede estar ocurriendo la separación madre-cría y afectando potencialmente el crecimiento de las poblaciones de delfines en el Pacífico oriental tropical (POT). El proyecto, que comenzó en mayo de 2023, incluye un estudio piloto de dos fases seguido de un estudio principal. La primera fase del estudio piloto se llevó a cabo de mayo a julio de 2023 frente a las costas del sur de Portugal, donde se desarrollaron protocolos de UAV mediante la observación de delfines comunes en el sitio de estudio a largo plazo. La segunda fase del estudio piloto se llevó a cabo en agosto de 2023 a bordo de un buque cerquero atunero de pabellón mexicano, donde nos familiarizamos con las operaciones de pesca, se probaron y perfeccionaron los métodos y se recolectaron datos preliminares. Se siguieron las crías en ocho de los diez lances de pesca muestreados mediante UAV. Se elaboraron definiciones para términos clave. El estudio principal comenzó en mayo de 2024 a bordo de un buque cerquero atunero de pabellón mexicano y esta fase sigue en curso.

Objetivo general del proyecto

El objetivo de este proyecto es usar vehículos aéreos no tripulados (UAV) para determinar: i) si las parejas madre-cría de delfines se separan durante la persecución, el encierro, el retroceso, o la “carrera” tras la liberación de la red de cerco; y ii) la tasa a la cual la separación madre-cría puede estar ocurriendo y afectando potencialmente el crecimiento de la población. Estos resultados ayudarán a informar los modelos de población y las acciones de ordenación y conservación de los delfines en el POT.

Descripción general del diseño del estudio y objetivos del estudio piloto

El diseño de nuestro estudio incluye un estudio piloto en dos fases, seguido del estudio principal. Hasta el momento, hemos completado las dos fases del estudio piloto. La primera fase tuvo lugar en nuestro centro de estudio al sur de Portugal. La segunda fase tuvo lugar a bordo de un buque cerquero en el POT.

Nuestros objetivos para la primera fase del estudio piloto fueron:

- 1) Probar y adquirir maestría en el uso de dos nuevos vehículos aéreos no tripulados (el cuadricóptero multirrotor DJI Matrice 30T y el dron de ala fija Autel Dragonfish Standard);
- 2) probar el rendimiento del UAV (por ejemplo, con respecto a la duración de la batería, el viento);
- 3) evaluar la calidad del video en condiciones ambientales variables;
- 4) probar la resolución de las cámaras de luz visible e infrarroja a varias alturas para determinar la altura máxima a la que podemos volar los UAV y seguir extrayendo métricas para evaluar la separación madre-cría, y
- 5) perfeccionar las técnicas de análisis de imágenes.

Nuestros objetivos para la segunda fase del estudio piloto fueron:

- 1) Aplicar los métodos de los UAV utilizados durante la fase 1 del estudio piloto a un buque cerquero en el POT;
- 2) familiarizarse con las operaciones de pesca, el comportamiento de las especies de delfines de interés, y el trabajo bajo diversas condiciones de pesca y ambientales en el POT;
- 3) determinar el o los UAV y la o las cámaras óptimos para su uso durante el estudio principal (por ejemplo, en función de la resolución de la imagen o la duración de la batería);
- 4) desarrollar métricas para definir la separación madre-cría;
- 5) determinar si la separación madre-cría puede observarse en tiempo real,

Avances y aprendizajes: Estudio piloto, Fase 1 – Portugal

Esfuerzo de investigación

La fase 1 del estudio piloto se llevó a cabo frente al sur de Portugal en el sitio de estudio a largo plazo de la AIMM. Dos especies de delfines –el delfín común (*Delphinus delphis*) y el delfín mular (*Tursiops truncatus*)– se encuentran regularmente en esta zona, lo que la convierte en un área apropiada para llevar a cabo la primera fase del estudio piloto. Entre el 29 de mayo y el 27 de julio de 2023, se realizaron viajes de investigación desde el buque de investigación de la AIMM que zarpó del puerto de Albufeira, Algarve, Portugal. Durante este tiempo, se realizaron 40 viajes de investigación, con un total de 200 h 25 min de esfuerzo de reconocimiento (duración promedio del estudio = 5 h). Esto dio lugar a 67 vuelos de UAV, con un total de 7 h 37 min de tiempo de vuelo y una distancia de 32.3 km. Algunos de estos vuelos (n = 47) fueron vuelos de práctica sobre tierra. El resto (n = 20) se realizaron en el mar, con 149 minutos de video sobre delfines. Todo el personal del proyecto participó en esta fase del estudio piloto.

Aprendizajes

Adquirimos experiencia en el uso del Matrice M30T. La plataforma de aterrizaje de nuestro buque de investigación (*Ketos*) era de 1.5 m x 1.5 m, y determinamos que podíamos utilizar el Matrice con seguridad hasta unas condiciones Beaufort 3 y 1 m de oleaje. Por encima de ese umbral, resultaba difícil aterrizar el dron debido al balanceo del buque, que confundía el sistema de control de vuelo del UAV. Sin embargo, reconocimos que esta plataforma de aterrizaje probablemente sería mucho más pequeña que la del

buque cerquero atunero y que en el POT probablemente podríamos operar en condiciones de mar más agitadas.

Pese a las severas condiciones ambientales, pudimos obtener abundantes imágenes de delfines con drones para probar la resolución de la cámara de luz visible y perfeccionar nuestras técnicas de análisis de imágenes.

También diseñamos una serie de pruebas en tierra para determinar el tamaño real de un pixel (en la pantalla de la computadora) según un UAV volando a 90 ° a varias combinaciones de altura y zoom (Fig. 1). Por ejemplo, a una altura del dron de 100 m utilizando un zoom de 9x, determinamos que cada pixel mide 0.039 m. Esto será útil para obtener mediciones absolutas de los delfines en el POT, en particular para determinar la edad de las crías en función de las relaciones edad-talla establecidas. Sin embargo, reconocemos que esto requiere que el UAV vuele a 90 ° por encima de los delfines, lo que no siempre es posible debido al resplandor del sol.

También determinamos el campo de visión a varias alturas del UAV durante nuestras pruebas en tierra (Fig. 2). Esto nos ayudó a comprender a qué alturas podríamos necesitar volar en el POT para obtener imágenes de diferentes tamaños de grupos de delfines (por ejemplo, los grupos muy grandes probablemente ocuparían más espacio y requerirían una mayor altitud del UAV).

Pixel Size												
Zoom \ height	20	30	40	50	75	100	150	200	250	300	400	500
2	0,361	0,556	0,714	0,938	1,329	1,810	2,763					
3,2	0,227	0,352	0,457	0,590	0,897	1,129	1,750	2,333				
4,4	0,166	0,254	0,327	0,432	0,656	0,789	1,193	1,641				
5	0,142	0,216	0,281	0,352	0,528	0,695	1,040	1,438	1,780			
6	0,117	0,181	0,234	0,296	0,449	0,590	0,882	1,180	1,479			
7	0,101	0,154	0,201	0,254	0,372	0,495	0,750	1,010	1,250			
8	0,089	0,136	0,176	0,221	0,328	0,441	0,660	0,897	1,105			
9	0,078	0,122	0,157	0,198	0,292	0,390	0,590	0,795	1,000			
10	0,070	0,109	0,140	0,177	0,261	0,348	0,517	0,705	0,890	1,050	1,382	1,694
12		0,089	0,117	0,147	0,220	0,288	0,432	0,587	0,734	0,861	1,167	1,438
14		0,077	0,100	0,127	0,189	0,251	0,376	0,498	0,640	0,739	1,000	1,235
16		0,068	0,087	0,110	0,164	0,219	0,329	0,438	0,559	0,648	0,861	1,061
18		0,060	0,078	0,098	0,146	0,195	0,291	0,386	0,498	0,574	0,772	0,955
20				0,088	0,131	0,176	0,263	0,350	0,438	0,520	0,691	0,875
24				0,073	0,110	0,146	0,219	0,292	0,361	0,427	0,577	0,719
28				0,063	0,094	0,125	0,188	0,251	0,314	0,370	0,495	0,618
32				0,055	0,082	0,110	0,163	0,219	0,274	0,323	0,429	0,544
36					0,073	0,097	0,145	0,194	0,244	0,288	0,386	0,479
40					0,065	0,088	0,131	0,174	0,219	0,260	0,347	0,432
48						0,073	0,108	0,145	0,184	0,216	0,289	0,360
56						0,063	0,093	0,126	0,155	0,186	0,247	
64							0,082	0,108	0,137	0,161	0,216	0,269
72							0,073	0,097	0,121	0,144	0,193	0,241
80								0,087	0,109	0,130	0,173	0,216
96								0,072	0,090	0,108	0,145	0,180
112								0,062	0,079	0,093	0,123	0,155
128								0,054	0,068		0,108	0,134
160								0,043	0,055	0,065	0,087	0,107

FIGURA 1 (arriba). Tamaño de pixel calculado (m) según la altitud (m) y el zoom del Matrice M30T.

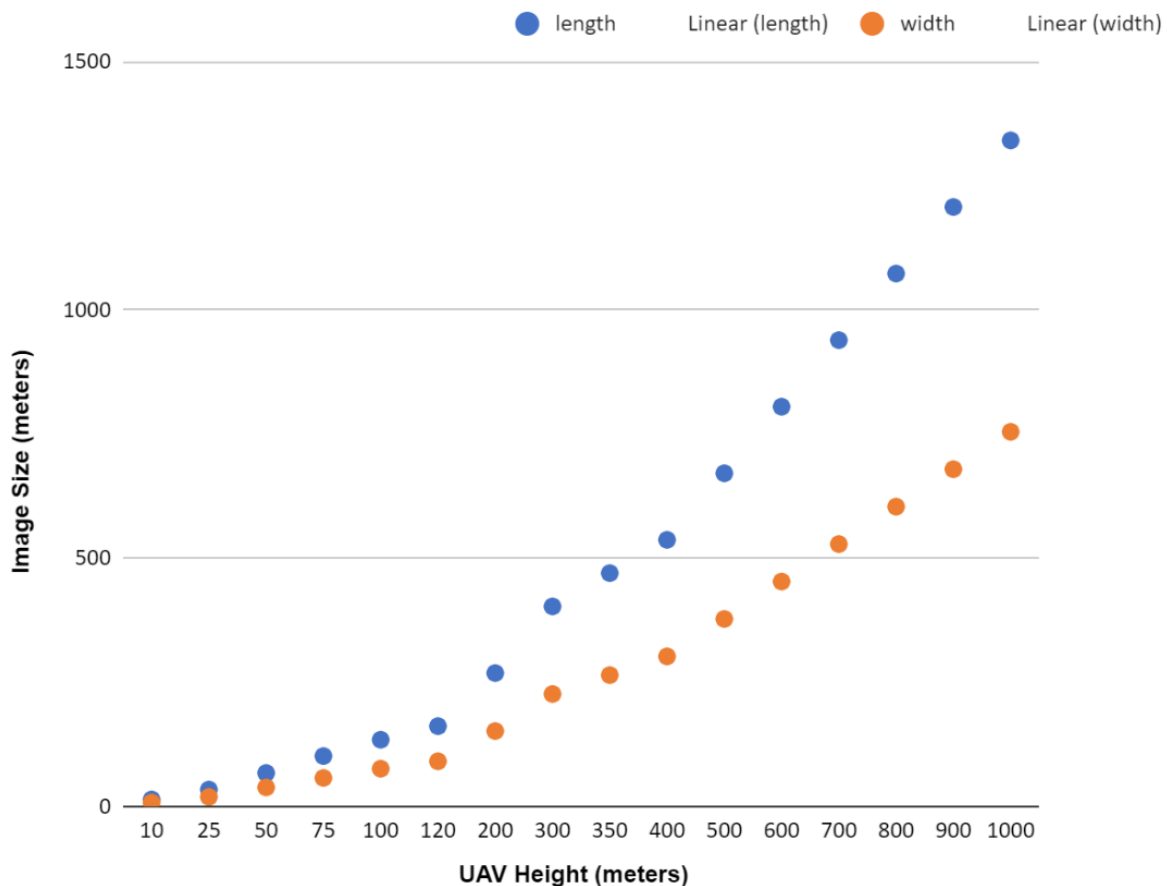


FIGURA 2 (izquierda). Tamaño (campo de visión) de una imagen 4K del Matrice 30T cuando se vuela a distintas altitudes. Los puntos más allá de 500 m son extrapolados.

En general, la resolución de la cámara era muy buena y tal como esperábamos según las especificaciones anunciadas (por ejemplo, 4K, 12 MP). Teniendo en cuenta nuestros años de trabajo con drones y cámaras de menor calidad, la mejora de la calidad de imagen fue impresionante. Por ejemplo, durante nuestras pruebas en tierra, pudimos distinguir un tamaño de píxel de 0.107 m con un *zoom* de 160x.

Por último, otro ejercicio importante durante la primera fase del estudio piloto fue determinar cuánto almacenamiento de datos requería cada vuelo del UAV. Esto nos ayudó a programar nuestras necesidades de almacenamiento de datos y a determinar cuántos y de qué tamaño serían los discos duros necesarios para el estudio piloto en el POT.

También analizamos las imágenes térmicas y concluimos que no son una herramienta útil para nuestro estudio. Contrario a nuestras predicciones, no pudimos ver los contornos del cuerpo de los delfines cuando rompían la superficie del agua. Es probable que la capa de agua que cubría casi constantemente el cuerpo de los delfines nos impidiera detectar una señal térmica.

Desafíos

Durante el estudio piloto de Portugal surgieron algunas dificultades técnicas con nuestros nuevos UAV. Sin embargo, familiarizarnos con estos nuevos sistemas y resolver los problemas técnicos que surgieron era uno de los objetivos de esta primera parte del estudio piloto.

En primer lugar, hemos tenido y seguimos teniendo problemas con la cámara térmica del Matrice. Durante la reproducción, las imágenes se congelan repetidamente cada 4 segundos. Este problema persiste incluso después de haber enviado la unidad a DJI para su reparación. Seguimos trabajando con DJI para resolver este problema, que probablemente implicará obtener una unidad completamente nueva. Afortunadamente, el determinar que la cámara térmica no es eficaz para nuestro estudio no ha ralentizado nuestro progreso.

En segundo lugar, también nos enfrentamos a múltiples dificultades a la hora de solicitar y recibir el Dragonfish. Este problema surgió del hecho de que necesitamos una estación base portátil (el ASAT), ya que volaremos el Dragonfish desde un buque en movimiento. Éramos el primer equipo del mundo en adquirir esta nueva tecnología de vanguardia y había muchos detalles que resolver con Autel. Tras varios meses de conversaciones con los ingenieros de Autel en China y con los distribuidores en China y Portugal, decidimos que la única forma de recibir el Dragonfish a tiempo para el estudio piloto del POT era que un miembro de nuestro equipo (Cid) volara a la sede de Autel en China. El viaje fue un éxito y Cid recibió la capacitación necesaria con el Dragonfish y el ASAT. Sin embargo, a pesar de nuestros esfuerzos, se produjeron múltiples retrasos en el envío del Dragonfish de China a Portugal, y el dron no llegó a tiempo para su uso en el estudio piloto del POT. La unidad llegó a Portugal en octubre de 2023 y nuestro programa de capacitación comenzó en noviembre con el capacitador local de Autel.

Durante nuestros primeros días de capacitación con el Dragonfish, experimentamos algunos problemas impredecibles con la conectividad entre el UAV y la estación terrestre (el ASAT). Por lo tanto, el ASAT estuvo fuera de servicio para su reparación desde el 5 de diciembre de 2023 hasta el 18 de enero de 2024. Una vez devuelto el ASAT y superado el problema de conectividad, el equipo de Portugal ha realizado pruebas intensivas con el UAV y el ASAT. Aún así, el hecho de que nuestra unidad sea la “primera de su clase” ha provocado algunos problemas inesperados, por lo que todavía estamos resolviendo otros pequeños problemas con el equipo de asistencia del fabricante (Autel).

Nuestra capacitación progresó de forma constante. En tres sesiones de capacitación diferentes volamos el Dragonfish desde zonas costeras de Portugal para acceder al Océano Atlántico. Estas sesiones fueron particularmente útiles para probar las diferentes cámaras del UAV en escenarios reales, así como los diferentes filtros de los lentes de la cámara. Lamentablemente, durante estos vuelos no se avistaron delfines.

Todavía no ha sido posible utilizar el Dragonfish desde un buque en Portugal. Antes de partir para el POT, nos proponemos realizar al menos una prueba desde una embarcación en la que volemos el Dragonfish sobre delfines en Portugal. Otros objetivos antes de partir para el POT son mejorar nuestro dominio de los controles de vuelo del Dragonfish y el uso de la IA, y aumentar la distancia máxima de vuelo.

Nuestros principales logros con el Dragonfish son los siguientes:

- Tiempo total de vuelo: 16:50:00 (hh:mm:ss)
- Distancia total: 995.2 km
- Número total de vuelos: 77
- Duración máxima del vuelo: 1.1 horas (29 % de batería al aterrizar)
- Distancia máxima de vuelo: 73.3 km
- Dos vuelos operados manualmente en su totalidad - 00:16:45 (hh:mm:ss) y 9.5 km
- Distancia máxima desde el ASAT: 14 km (con buena recepción)

Avances y aprendizajes: Estudio piloto, Fase 2 - POT en México

Esfuerzo de investigación

La fase 2 del estudio piloto tuvo lugar frente a las costas de México del 10 al 24 de agosto de 2023 (viaje de 15 días). Tres miembros del equipo (Pearson, Castro y Cid) zarparon del puerto de Mazatlán a bordo de un buque cerquero atunero de pabellón mexicano. El primer lance de atún se realizó el 11 de agosto. No recolectamos ningún dato durante este primer lance ya que nuestro objetivo era observar y familiarizarnos con la operación de pesca y los tiempos de las distintas fases (por ejemplo, avistamiento de los delfines, persecución, encierro, formación del canal de retroceso, liberación). El siguiente lance se realizó el 13 de agosto y fue nuestro primer periodo de muestreo. En total, observamos 15 lances y recolectamos datos durante 10 de ellos (Tabla 1). Solo se observaron delfines manchados y tornillo durante estos 10 lances.

TABLA 1. Resumen de lances de pesca y datos recolectados a bordo del buque cerquero, 10-19 de agosto de 2023.

Lance Núm.	Muestra Núm.	Fecha	Hora de inicio	¿Lance abortado? ^a	Fase pesquera ¿Imágenes con UAV?			¿Crías seguidas?
					Persec.	Encierro	Retroceso	
1	n/a	8/11	15:45	no	no	no	no	n/a
2	1	8/13	11:00	no	no	sí	no	n/a
3	n/a	8/13	14:45	sí	n/a	n/a	n/a	n/a
4	2	8/14	9:28	no	parcial	sí	sí	sí
5	3	8/14	12:34	no	no	sí	sí	sí
6	n/a	8/14	14:30	sí	n/a	n/a	n/a	n/a
7	4	8/15	11:31	no	no	sí	sí	sí
8	5	8/15	17:35	no	no	sí	sí	sí
9	6	8/16	8:12	no	no	sí	sí	no
10	n/a	8/16	10:30	sí	n/a	n/a	n/a	n/a
11	7	8/16	13:17	no	no	sí	sí	sí
12	8	8/16	16:31	no	no	sí	sí	sí
13	9	8/18	11:33	no	parcial	sí	sí	sí

14	10	8/19	10:50	no	no	sí	sí	sí
15 ^b	n/a	8/19	14:00	no	n/a	n/a	n/a	n/a

^a Entre las razones por las que la pesquería abortaba un lance incluían que el atún y/o los delfines escapaban de la red y que no quedaba suficiente atún con los delfines después de dividir el grupo.

^b Lances no fotografiados debido al fuerte oleaje, el cual provocó que el UAV se estrellara al despegar.

En la mañana del 20 de agosto nos transfirieron a otro buque para volver a Mazatlán, a donde llegamos en la mañana del 24 de agosto.

Aprendizajes

Condiciones ambientales

Del 14 al 19 de agosto, registramos nuestra posición geográfica y las condiciones meteorológicas (es decir, Beaufort, oleaje, nubosidad y visibilidad) cada hora, aproximadamente de 07:00 a 19:00 horas. La mayoría de las observaciones se produjeron en Beaufort >3 (Fig. 3) y oleaje >1 m (1 m = 40 %, 1.5 m = 24 %, 2 m = 36 %).

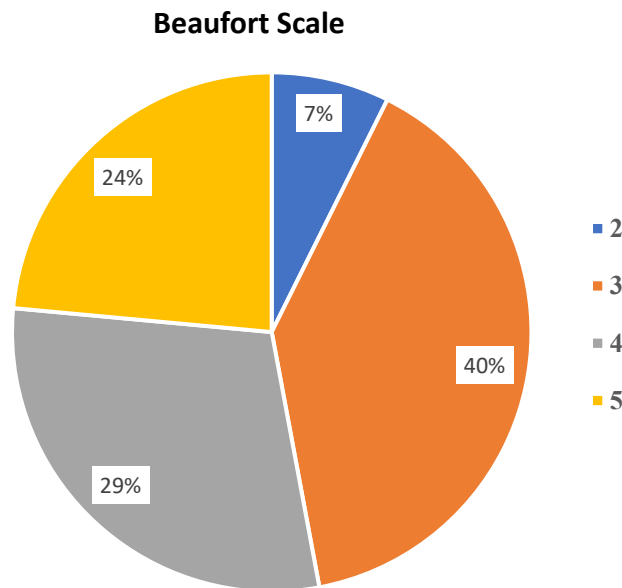


FIGURA 3. Nivel Beaufort según nuestro registro meteorológico por hora de 7:00-19:00.

El mar estaba más agitado de lo que esperábamos, sustentándonos en datos obtenidos previamente del programa de observadores de la CIAT que indican que la mayoría de los lances desde agosto hasta mediados de noviembre de 2017-2022 se realizaron en Beaufort \leq 3. La presencia del huracán Hilary probablemente causó condiciones más agitadas de lo normal. Además, basándonos en nuestras conversaciones con la tripulación, aprendimos que, normalmente, el mar en agosto está más agitado que en otras épocas del año. A pesar de estas condiciones, pudimos volar el UAV en todos los lances, excepto en el último, el 19 de agosto (Lance 15, Tabla 1), en el que el UAV se estrelló dos veces en la cubierta durante el despegue debido al gran oleaje de más de 2 m. Afortunadamente, nadie resultó herido y el UAV fue recuperado y será enviado a DJI para su reparación antes del estudio principal.

El resplandor del sol también supuso un problema para la calidad de los videos, debido al gran movimiento de la superficie del océano. Tuvimos que colocar filtros polarizados en la cámara para minimizar el problema y, en algún momento, dar prioridad a la calidad de la imagen frente a tener la imagen a 90 ° grados.

Comprender las operaciones de pesca

Al observar 15 lances de atún y tomar imágenes de 10 de ellos, logramos comprender bien esta compleja operación de pesca de varias fases. En resumen, primero se localizan los delfines con el radar, los binoculares de relieve ocular grande o el helicóptero. Una vez avistados, el helicóptero inicia la persecución con el lanzamiento de bengalas para dirigir a los delfines. Posteriormente, se sueltan las lanchas rápidas (normalmente seis) para perseguir a los delfines hasta la red. También se utilizan bombas de tinta que se lanzan en la apertura de la red, pangas que se mueven en círculos cerrados y fuertes golpeteos para impedir que los delfines escapen hasta que se cierra la red. Tras un periodo de aproximadamente 30-45 minutos, se forma el canal de retroceso y los nadadores/buceadores entran en la red para ayudar a liberar a los delfines. Durante la liberación, las lanchas rápidas también pueden ser conducidas en círculos estrechos en el perímetro de la red para llevar a los delfines hacia el canal de retroceso.

El piloto del helicóptero trabajó estrechamente con nuestro piloto del UAV (Cid) para desarrollar un plan de seguridad que incluía corredores de vuelo/no vuelo para el UAV y el helicóptero para garantizar la seguridad de todos. Esta coordinación entre el helicóptero y el dron fue esencial para el éxito libre de riesgo del estudio.

Desarrollo de protocolos

Desarrollamos y adaptamos nuestro protocolo de recolección de datos a cada fase pesquera del siguiente modo.

Persecución: Como no disponíamos del Dragonfish, y debido a la limitada autonomía y duración de la batería del Matrice M30, solo obtuvimos dos muestras parciales de la persecución. Estas muestras fueron de naturaleza oportunista. Volamos > 47 min y grabamos aproximadamente 25 min de video durante estas dos muestras. A pesar de este pequeño tamaño de muestra, conseguimos grabar y observar múltiples parejas madre-cría. Registramos información adicional para su consideración futura, incluyendo el comportamiento/reacción de los delfines ante la pesquería y la dispersión del grupo. Estamos revisando el material y lo utilizaremos para desarrollar un protocolo de imágenes y análisis de la persecución durante el estudio principal.

Encierro: Una vez que la red estaba completamente cerrada, lanzamos el UAV. Nuestro objetivo era obtener una estimación del tamaño y la composición del grupo (es decir, el número de individuos por especie y clase de tamaño).

Utilizamos tres pantallas para observar al grupo: la pantalla del control remoto del piloto, la segunda pantalla del control remoto y un monitor HD externo de 27". Esto permitió a los tres miembros del equipo observar de cerca al grupo, y prestar especial atención al número de adultos y crías, y a la identificación de las especies.

Como los grupos solían ser demasiado grandes y dispersos para obtener imágenes en un solo fotograma, desarrollamos una técnica denominada "desplazamiento por el grupo", en la que volábamos lentamente de un extremo del grupo al otro, anotando las horas de inicio y fin del desplazamiento. Hicimos esto varias veces, normalmente durante la última parte del encierro, cuando el grupo se volvía más cohesivo a medida que la red disminuía de diámetro. En la medida de lo posible dado el resplandor del sol, volamos a 90 ° para permitir mediciones absolutas del tamaño de las crías (definidas en la Tabla 2) que pueden

utilizarse para estimar su edad. El tamaño estimado del grupo y el número de crías se obtuvo a partir de este método de “desplazamiento por el grupo”.

Retroceso/carrera tras la liberación: La posición de observación óptima para el retroceso era el helipuerto. El piloto del UAV (Cid) y el observador del UAV (Pearson) observaban a los delfines en las pantallas de control remoto mientras que el observador de la red (Castro) utilizaba binoculares para supervisar el canal de retroceso y estar atento a la señal del controlador del canal de retroceso que indicaba que una pareja madre-cría estaba saliendo de la red. Esto se comunicaba entonces al equipo del UAV para que pudiéramos aumentar nuestras posibilidades de seguir a una pareja madre-cría. En todo momento, el observador de la red también estuvo atento a las crías que salían (solas o ayudadas por un buzo) solas de la red y a las crías solitarias que nadaban fuera del perímetro de la red. En la medida de lo posible, seguimos a las parejas madre-cría que salían de la red. Nuestro seguimiento más prolongado de una pareja madre-cría fue de 9 min 33 seg, en el que se cubrió una distancia de aproximada de 2.2 km.

TABLA 2. Definiciones provisionales de los términos clave utilizados en el estudio piloto. Estas definiciones podrán precisarse a medida que continúe el análisis.

Término	Definición
Cría ¹	<p>Con un adulto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un individuo de aproximadamente $\leq 80\%$ del tamaño de un adulto y nadando en asociación con un adulto, ya sea en posición escalón (nadando junto al adulto) o en posición infantil (es decir, nadando debajo del adulto) la mayor parte del tiempo de observación. <p>Sin adulto (cría solitaria):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuando el tamaño es evaluable: un individuo de aproximadamente $\leq 80\%$ del tamaño de un adulto, observado a aproximadamente ≥ 1 la longitud del cuerpo del vecino adulto más cercano y no en posición escalón o infantil². Cuando el tamaño no es evaluable: un individuo que parece en general más pequeño que un adulto, observado aproximadamente a ≥ 1 la longitud del cuerpo del vecino adulto más cercano y no en posición escalón o infantil², y que muestra un comportamiento al nadar típico de un animal con habilidades motoras subdesarrolladas, como emergencias a la superficie a manera de corcho y con la barbilla hacia arriba, y/o movimientos rápidos/erráticos, y raramente permanece quieto en la superficie. Los pliegues fetales (es decir, marcas verticales en forma de rayas a lo largo del cuerpo) y/o la aleta dorsal flácida y la aleta caudal también pueden ser visibles en los recién nacidos.
Separación	Una cría solitaria o una cría que se observa nadando en posición escalón que, posteriormente, pierde dicha posición y se convierte en una cría solitaria.
Deslizamiento	Una cría que nada en posición escalón y luego se aleja en dirección longitudinal o latitudinal. Puede o no dar lugar a la separación.
Posible reunión	Una cría solitaria que se acerca o es abordada por un adulto y posteriormente nada en posición escalón hasta que la pareja sale del campo de visión. Esto se considera una reunión potencial, ya que es difícil determinar si el adulto con el que se une la cría es su madre, o incluso una hembra, debido a la falta de marcas distintivas individuales en los delfines y a la falta de características morfológicas específicas del sexo observables por el UAV.
Rechazo	Una cría solitaria que se acerca a un adulto, nada posteriormente en posición escalón y luego interrumpe dicha posición y se aleja del adulto.

¹ Según las definiciones de Archer *et al.* (2001, 2004), Chivers *et al.* (2019), Hohn y Hammond (1985), Larese y Chivers (2009), Mann (1999), Perrin *et al.* (1976, 1977, 1979) y Rowe (2010).

² Durante el desplazamiento a alta velocidad que se da en la persecución y la carrera tras la liberación, se espera que una cría permanezca aproximadamente < 1 de la longitud del cuerpo de su presunta madre en posición escalón para maximizar los beneficios hidrodinámicos de nadar junto a ella.

Basándonos en el análisis de las tres primeras muestras, descubrimos que las parejas madre-cría disminuían su velocidad después de aproximadamente 30 segundos de haber salido de la red, lo que acaso disminuía la probabilidad de separación (Fig. 4). Por lo tanto, establecimos la regla de decisión de seguir a una pareja madre-cría durante 30 segundos, y después volver a la red para seguir a otras parejas madre-cría con el fin de aumentar el tamaño de nuestra muestra.

Si se observaba una cría solitaria (tal como se define en la Tabla 2), permanecíamos con ella el mayor tiempo posible. Esto se hizo con las crías solitarias que se observaron fuera de la red durante el retroceso o que se quedaron atrás después del retroceso. Nuestro seguimiento más largo de una cría solitaria fue de 4 min 34 seg.

Análisis de imágenes

El análisis de las imágenes se realizó en el reproductor VLC Media Player utilizando monitores 4K, la reproducción se ralentizó y se vio y revisó varias veces segundo a segundo tanto como fuera necesario.

Encierro: Seleccionamos los tres mejores desplazamientos por el grupo durante cada lance para contar todos los individuos por especie y tamaño aproximado de la cría. A continuación, utilizamos los valores más altos registrados para el tamaño del grupo y el número de parejas madre-cría para cada lance, basándonos en la lógica de que era probable que aún nos faltaran algunos animales durante los desplazamientos por el grupo (por ejemplo, debido a animales que buceaban, animales que se movían fuera de la pantalla, etc.). El número de parejas madre-cría observadas dentro de la red durante el encierro constituye el denominador de los coeficientes de separación y deslizamiento calculados globalmente y para cada liberación (véase más adelante la sección “Estimadores de separación y deslizamiento”).

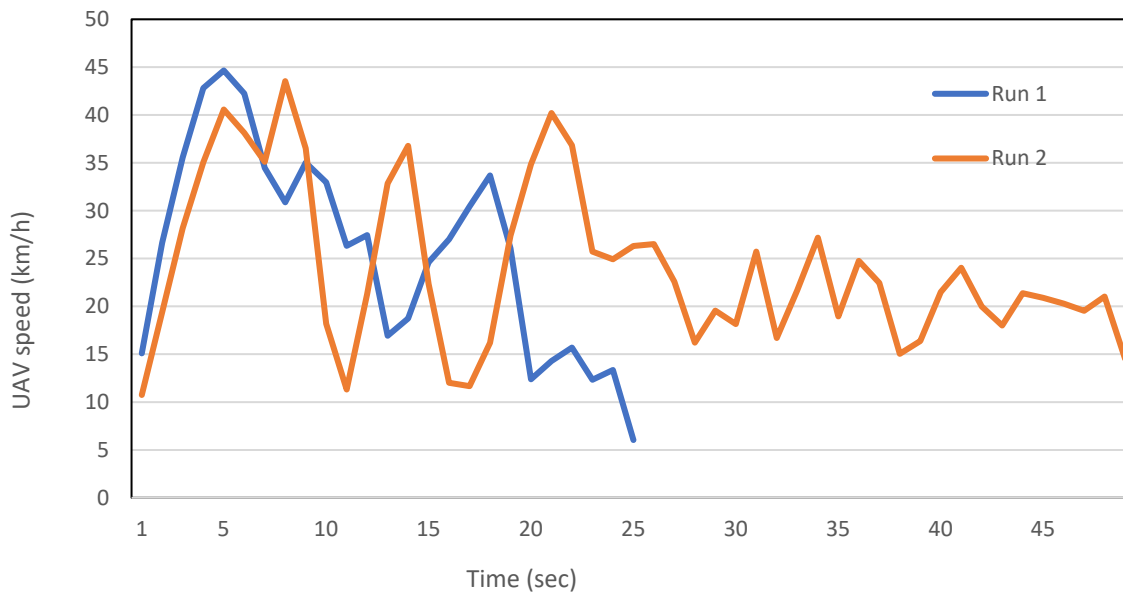


FIGURA 4. Velocidad del UAV registrada durante dos seguimientos (“carreras”) de parejas madre-cría saliendo de la red durante el muestreo núm. 10.

Retroceso/carrera tras la liberación: Para cada pareja madre-cría observada saliendo de la red, registramos el momento y el tamaño aproximado de la cría (como indicador de la edad de la cría). Para este análisis inicial, registramos cada cría como $\leq \frac{1}{2}$ de la longitud de un adulto o $> \frac{1}{2}$ de la longitud de un

adulto, basándonos en una estimación visual del tamaño. Los animales de aproximadamente $\leq \frac{1}{2}$ de la longitud de un adulto se consideran neonatos (Archer *et al.* 2001; Hohn y Hammond 1985; Perrin *et al.* 1977, 1984). Además, para este análisis inicial, no siempre pudimos hacer una identificación definitiva de las especies de animales fuera de la red.

Seguimos a una pareja madre-cría en la pantalla hasta que salieron del campo de visión y anotamos las horas de inicio y fin. Esto nos permitió controlar las separaciones, las posibles reuniones, los rechazos y los deslizamientos, al tiempo que nos proporcionó la mejor estimación de la proporción de parejas madre-cría observadas (muestreadas) para la separación o el deslizamiento. Si una cría se separaba, o desde el inicio se observaba sola, se registraba el momento, su especie y edad aproximada, y se la seguía hasta que salía del campo de visión o no podíamos continuar siguiéndola (por ejemplo, debido al comportamiento de buceo, el resplandor del sol, la duración de la batería del UAV).

Estimadores preliminares de separación y deslizamiento

El coeficiente de separación global (S) que se define a continuación es un indicador del índice potencial de separación permanente, basado en la fase de retroceso/carrera tras la liberación (es decir, sin incluir la persecución en esta fase). Evaluar la separación permanente real no es objetivo del presente proyecto por varias razones. En primer lugar, esto requeriría que cada madre y cada cría tuvieran marcas únicas. Esto es para que una cría solitaria pudiera ser identificada de forma fiable y seguida durante periodos prolongados (probablemente días) para evaluar si se produjo una reunión con su madre. Incluso si se observa que una cría se reúne con otro adulto, si ese adulto es un macho o una hembra no lactante, la cría no recibirá alimento y probablemente morirá de inanición. Si bien es posible que una cría se una a una hembra lactante, no existe documentación científica sobre el aloamamantamiento en estas especies de delfines, por lo que no es posible determinar si la cría recibiría alimento incluso si se uniera a una hembra lactante. Con base en nuestras imágenes de fotoidentificación tomadas durante el encierro, la tasa de marcas (es decir, la proporción de delfines que tenían marcas individualmente distintas) fue extremadamente baja, lo que hacía imposible identificar y rastrear individuos en el grupo con base en marcas naturales individualmente distintas. Por estas razones, consideramos las estimaciones S a continuación como indicadores de la tasa potencial de separación permanente. Además, reportamos “reencuentros potenciales” por las razones mencionadas anteriormente. Sin embargo, un estudio de marcado en el futuro ayudaría a evaluar mejor la separación permanente real y los reencuentros reales.

Nuestros estimadores preliminares se basan en el número total de parejas madre-cría observadas dentro de la red en todos los encierros (véanse las ecuaciones más abajo), como describimos en nuestra propuesta. Sin embargo, como no pudimos seguir a todas las parejas madre-cría liberadas, estaríamos asumiendo (incorrectamente) que las parejas madre-cría que no se siguieron no se separaron ni mostraron deslizamiento. Por ello, es probable que las ecuaciones que se presentan a continuación subestimen la separación y el deslizamiento. A medida que continuemos perfeccionando nuestro plan de análisis, nos proponemos revisar S y P para reflejar el número total de crías seguidas como denominador, y desarrollar un método para luego escalar S y P a todas las crías observadas dentro de la red durante el encierro.

Se calcula el coeficiente de separación global (S):

$$S = \frac{\text{número total de separaciones observadas fuera de la red durante el retroceso en todos los lances}}{\text{número total de parejas madre-cría observadas en todos los encierros}}$$

El coeficiente de deslizamiento global (P) se calcula como:

$P = \frac{\text{número total de deslizamientos observados fuera de la red durante el retroceso en todos los lances}}{\text{número total de parejas madre-cría observadas en todos los encierros}}$

número total de parejas madre-cría observadas en todos los encierros

También calculamos S y P por tamaño aproximado de la cría ($\leq \frac{1}{2}$ la longitud corporal adulta frente a $< \frac{1}{2}$ la longitud corporal adulta) y por muestra.

Desafíos

Aunque nos enfrentamos a varios retos, el estudio piloto en el POT fue todo un éxito. Como se ha mencionado anteriormente, el mar estaba más agitado (viento y oleaje) de lo previsto. Aun así, pudimos alcanzar nuestro objetivo de obtener imágenes de 10 lances. Aunque no pudimos obtener todas las imágenes de la persecución porque no teníamos el Dragonfish, obtuvimos dos muestras parciales de ella con el Matrice, que se están analizando actualmente. Además, pudimos centrarnos en el desarrollo y perfeccionamiento de nuestros métodos para obtener imágenes de las fases de encierro, retroceso y carrera tras la liberación.

Próximos pasos en el análisis de estudios piloto

Hemos identificado varias áreas prioritarias:

- 1) En colaboración con el personal de la CIAT, seguir mejorando las ecuaciones S y P .
- 2) Desarrollar un método para diferenciar mejor las especies dentro y fuera de la red. Nos resultó más fácil identificar las especies dentro de la red, ya que los delfines no nadaban a gran velocidad y teníamos un mejor control sobre cómo podíamos posicionar el UAV sobre el grupo (por ejemplo, con respecto a la altitud, el ángulo de la cámara en relación con el resplandor del sol). Sin embargo, seguimos revisando nuestro análisis de imágenes para obtener mejores estimaciones de la composición de especies dentro de la red. Fuera de la red, como no siempre observamos parejas madre-cría o crías solitarias en tiempo real, no siempre pudimos verlas en la cámara *zoom* durante el análisis *post-hoc*, que requiere que los animales estén en el centro del campo de visión. Además, para obtener un campo de visión más amplio, el UAV volaba normalmente a mayor altitud durante la liberación que durante el encierro, lo que dificultaba la diferenciación de especies. Seguiremos analizando nuestras imágenes para identificar las características clave que pueden distinguirse en altitud, como el color más oscuro y el tamaño más robusto de los delfines manchados adultos frente al color más claro y el tamaño corporal más delgado de los delfines tornillo adultos.
- 3) Obtener mediciones más precisas del tamaño de las crías para obtener estimaciones más precisas de la edad basadas en relaciones conocidas edad-talla. Esto nos ayudará a refinar nuestros coeficientes preliminares de separación basados en la clase de tamaño. Hablamos de ello con el ingeniero de programas y nos recomendó utilizar como punto de referencia un objeto grande del que pudiéramos obtener mediciones precisas, como el esquife situado en la apertura del canal de retroceso. También estudiaremos la posibilidad de colocar un inclinómetro en los UAV para realizar fotogrametría oblicua.
- 4) Explorar la posibilidad de evaluar la velocidad de desplazamiento de los delfines basándose en la velocidad del UAV o en los golpes de la aleta caudal de los delfines. Esto nos ayudará a evaluar si la velocidad de desplazamiento está relacionada con la probabilidad de separación o deslizamiento.
- 5) Examinar la dirección de desplazamiento de los delfines fuera de la red utilizando las ubicaciones GPS del UAV. Conocer los ángulos de dispersión de los delfines que salen la red puede ayudar a evaluar la probabilidad de que una cría solitaria se reúna con su madre. Nuestras observaciones preliminares indican que los individuos tienden a abrirse y formar un arco amplio cuando salen de la red.

6) Desarrollar un estimador de varianza para el coeficiente S .

7) Realizar un análisis de potencia para estimar el tamaño de la muestra necesario para determinar si la separación de las crías podría tener repercusiones a nivel de población.

8) Aumentar nuestra eficiencia en el análisis de las imágenes del UAV utilizando el software Image-Pro. También trabajaremos con un ingeniero de programas para desarrollar potencialmente técnicas automatizadas/semiautomatizadas para: i) obtener estimaciones del tamaño y composición del grupo, ii) medir las distancias madre-cría y vecino más cercano, iii) medir el tamaño absoluto y relativo de adultos y crías (para obtener estimaciones de edad), y iv) rastrear crías solitarias y parejas madre-cría a través de la pantalla.

Recomendaciones para el estudio principal

Lo primero y más importante será obtener imágenes de la persecución. Ya tenemos el Dragonfish en Portugal y dedicaremos el tiempo que queda hasta el estudio principal a aumentar nuestra destreza en su uso. El Dragonfish se utilizará para obtener imágenes de la persecución. Entendemos que los grupos pueden ser bastante grandes (>1,000 individuos) durante la persecución y estamos preparados para desarrollar protocolos diferentes para grupos grandes y pequeños. Por ejemplo, si no podemos seguir a todo el grupo, nos enfocaremos en la última parte de este para aumentar la probabilidad de observar a las crías que se separan y se quedan rezagadas del grupo. Empezaremos desde ahora a desarrollar el protocolo para la persecución y lo perfeccionaremos durante los primeros días del estudio principal.

En segundo lugar, utilizaremos dos UAV para obtener imágenes de la liberación. Ambas unidades se volarán simultáneamente, cada una realizando su propio plan de vuelo mientras se realiza el muestreo: un UAV (Autel Dragonfish o DJI Matrice) seguirá a las parejas madre-cría que salgan de la red; un segundo UAV más pequeño (DJI Mavic) vigilará el canal de retroceso y el perímetro de la red para detectar y seguir a las crías solitarias fuera de la red. El uso del Dragonfish durante las persecuciones en combinación con el vuelo de dos UAV diferentes durante la liberación ayudará a aumentar el tamaño y la calidad de nuestra muestra. Actualmente estamos desarrollando el protocolo para este método y lo perfeccionaremos durante los primeros días del estudio principal.

Por último, el estudio principal comenzó el 9 de mayo de 2024 y sigue en marcha. El estudio principal estaba previsto inicialmente para octubre-noviembre de 2023 y recomendamos reprogramarlo para finales de invierno/primavera de 2024. Se esperan mejores condiciones meteorológicas a finales de invierno/principios de primavera que a finales de otoño, y este periodo también coincide con el pico de partos que se da a finales de invierno/principios de primavera (Barlow 1984), lo que puede aumentar el tamaño de nuestra muestra. El retraso del estudio principal también nos permitió disponer de más tiempo para perfeccionar nuestros protocolos, continuar con el análisis de nuestros datos y trabajar con el Dragonfish en Portugal. Con este cambio en el calendario del estudio principal, también solicitamos una prórroga sin costo del contrato hasta el 31 de diciembre de 2024 (actualmente 31 de agosto de 2024) para disponer de tiempo suficiente para el análisis de datos y la redacción.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Archer F, Gerrodette T, Dizon A, Abella K, Southern S (2001) Unobserved kill of nursing dolphin calves in a tuna purse-seine fishery. *Marine Mammal Science* 17: 540-554

Archer FI, Robertson KM (2004) Age and length at weaning and development of diet of pantropical spotted dolphins, *Stenella attenuata*, from the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science* 20: 232-245

Barlow, J. (1984). Reproductive seasonality in pelagic dolphins (*Stenella* spp.): implications for measuring rates. Report of the International Whaling Commission (Special Issue 6), 191-198.

- Chivers SJ, Perryman WL, Lynn MS (2019) Reproduction and morphology of Central American and Tres Marias spinner dolphins in the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science* 35: 210-233
- Hohn, A. A., & Hammond, P. S. (1985). Early postnatal growth of the spotted dolphin, *Stenella attenuata*. *Fishery Bulletin* 83: 553
- Larese JP, Chivers SJ (2009) Growth and reproduction of female eastern and whitebelly spinner dolphins incidentally killed in the eastern tropical Pacific tuna purse-seine fishery. *Canadian Journal of Zoology* 87: 537–552
- Mann (1999) Behavioral development of wild bottlenose dolphin newborns. *Behaviour* 130: 529-566
- Perrin WF, Coe JM, Zweifel JR (1976) Growth and reproduction of the spotted porpoise, *Stenella attenuata*, in the offshore eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin* 74: 229-269.
- Perrin WF, Holts DB, Miller RB (1977) Growth and reproduction of the eastern spinner dolphin, a geographical form of *Stenella longirostris* in the eastern tropical Pacific. *Fishery bulletin*, 75: 725-750
- Perrin WF, Henderson JR (1979) Growth & reproductive rates in two populations of spinner dolphins, *Stenella longirostris*, with different histories of exploitation. *Southwest Fisheries Center*
- Rowe (2010) Assessment of epidermal condition and calf size of Fiordland bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* populations using dorsal fin photographs and photogrammetry. *Endangered Species Research* 11: 83-89