

# Protocolo de obtención de imágenes para detección de individuos mediante vehículos aéreos no tripulados

---

Gonzalo A. Pighin<sup>a,b</sup>, Enrique M. Albornoz<sup>a</sup>, Carlos I. Piña<sup>bc</sup>

## Resumen

La detección de individuos animales mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT) es una reciente aplicación tecnológica basada en la posibilidad de hacer un registro masivo de imágenes de gran resolución en un corto período de tiempo. Esto permite agilizar el muestreo de individuos en grandes áreas de interés y complementa las técnicas tradicionales de monitoreo. El presente protocolo tiene como finalidad explicar diferentes indicaciones y variantes existentes para la obtención y el análisis de datos, a partir de la caracterización de los individuos de interés y de la zona a ser registrada. Esto comprende la preparación de los VANT según las características requeridas en las fotografías, el método seleccionado para hacer los recorridos y el detalle del equipamiento necesario para realizar los registros y el posprocesamiento de las imágenes adquiridas.

**Palabras clave:** drones, fauna, monitoreo

*a. Instituto de investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Artificial – sinc(i), CONICET–UNL.*

*b. Centro de Investigación Científica y de Transferencia Tecnológica a la Producción (CICyTTP). CONICET–Prov. ER–UADER. Correo electrónico: cidcarlos@infoaire.com.ar*

*c. Facultad de Ciencia y Tecnología (FCYT), Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER).*

Dirección de correo electrónico: gpighin@sinc.unl.edu.ar, emalbornoz@sinc.unl.edu.ar, cidcarlos@infoaire.com.ar

Autor de correspondencia: Carlos I. Piña. Correo electrónico: cidcarlos@infoaire.com.ar

# Protocolo para detecção de indivíduos através da tomada de imagens por veículos aéreos não tripulados

## Resumo

A detecção de indivíduos através dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) é uma aplicação tecnológica recente, baseada na possibilidade de se fazer registros de forma massiva, com imagens de alta resolução e em curtos intervalos de tempo. Desta maneira, se abre a possibilidade da utilização de VANTs para acelerar a amostragem de indivíduos de interesse que se encontrem grandes áreas, sendo uma maneira complementar às técnicas tradicionais de monitoramento. O presente protocolo tem como objetivo explicar as diferentes indicações e variáveis existentes para a coleta e análise dos dados, começando pela caracterização dos indivíduos de interesse e da área a ser registrada; na preparação dos VANTs, de acordo com as características finais exigidas nas fotografias; no método selecionado para se fazer os voos e, por fim, no detalhamento dos equipamentos necessários para se fazer o registro e pós-processamento das imagens adquiridas.

**Palavras chave:** drones, fauna, monitoramento

# Imaging protocol for animals detection using unmanned aerial vehicles

## Abstract

Animal individuals' detection through unmanned aerial vehicles (UAVs) is a recent technological application that allows a massive registry of high-resolution images in short time periods. In this way, the individual registration in large areas is possible and complement the traditional counting techniques. In this work, a global protocol for data acquisition (using UAVs) and management is presented. Some recommendations and characterizations about regarded species and geographical areas of interest are presented. In addition, the UAVs setup is addressed focusing the photographic requirements. Different flight design methods, necessary equipment and technics for image post-processing are introduced.

**Key words:** drones, wildlife, monitoring

## Introducción

---

En general, el monitoreo de poblaciones de animales es una actividad que regularmente se realiza con el fin de conocer la cantidad, la distribución, los hábitos y comportamientos de individuos de una especie o de un conjunto de especies. Esto puede hacerse mediante la identificación de los individuos a partir de fotografías registradas en determinadas condiciones, incluso en proyectos de ciencia ciudadana (Balaguera-Reina *et al.*, 2020), o bien mediante su señalamiento directo o indirecto en campo.

Estas formas convencionales tienen como soporte técnicas exploratorias en hábitat y la utilización de dispositivos de movilización (vehículos tripulados, como automóviles, lanchas y helicópteros) y de registro digital o analógico (cámaras de fotografía y video, grabadores). La aplicación de estos equipos dependerá de las condiciones de trabajo designadas por el entorno o por el tipo particular de individuo de interés. Estas técnicas pueden estar complementadas por protocolos de documentación y reporte, en los que se explicitan las formas de realizar el trabajo (Barnas *et al.*, 2020).

Los dispositivos de movilización y registro de datos han mejorado con la aparición de nuevas tecnologías, se han desarrollado elementos de adquisición de muy buena calidad y a un bajo costo. Estas nuevas tecnologías han permitido, en primera instancia, mejorar la exactitud de los métodos

de adquisición de imágenes, lo que minimiza el estrés de la especie estudiada (Zemanova, 2020) y, en segundo lugar, repetir el trabajo, gracias a la relativa facilidad de acceso a estas tecnologías en comparación con años anteriores.

En la actualidad, se puede encontrar una gran variedad de sistemas de adquisición de imágenes con capacidades técnicas que permiten una mejor caracterización del sitio que se desea muestrear. Cámaras de gran resolución (20 Mpx) son utilizadas para registrar imágenes de poblaciones de fauna para, en último término, contabilizar a los individuos.

Además de la adquisición de imágenes, estos dispositivos permiten la intercomunicación entre los vehículos aéreos no tripulados (VANT) —también llamados ‘drones’— y los satélites, en creciente disponibilidad para la telecomunicación georreferenciada. Esto permite generar registros de gran precisión y exactitud en condiciones de altura específicas.

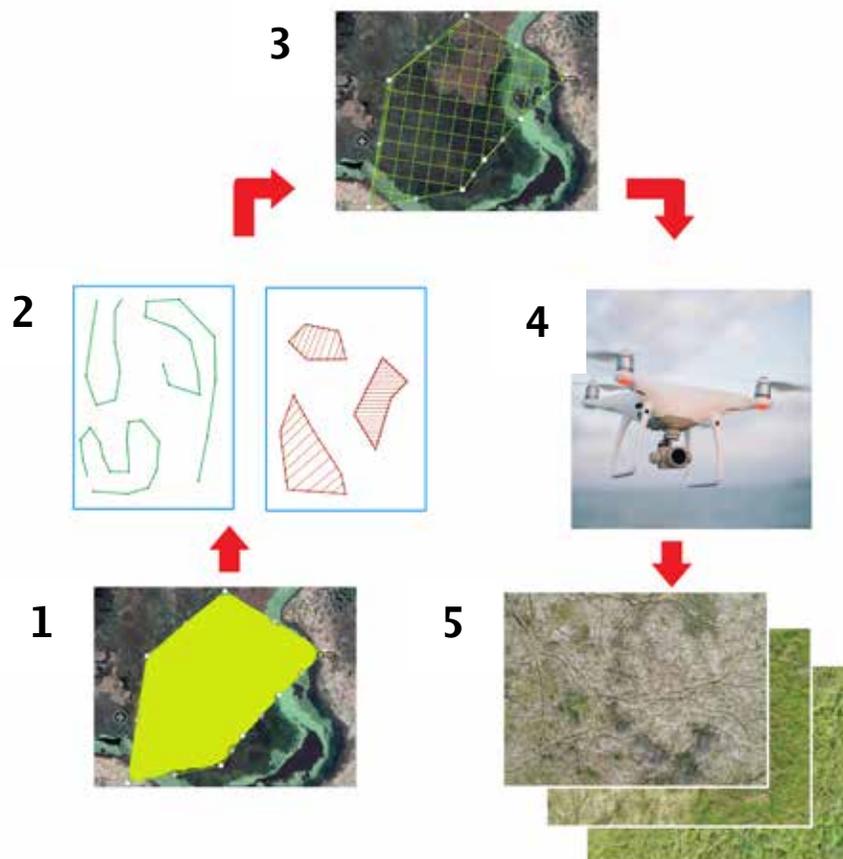
En cuanto al campo de la computación y la manipulación de datos, se observa una mejora continua en las técnicas de procesamiento gráfico e innovaciones tecnológicas que mejoran las posibilidades del análisis de imágenes (Ma *et al.*, 2019). Muchos de los sistemas de cómputo disponibles comercialmente cuentan con diversas capacidades para el procesamiento de imágenes a través de la aplicación de técnicas básicas, como el realce, el filtrado y la ecualización; también mediante técnicas computacionalmente más costosas, como el análisis morfológico,

la segmentación y –en forma añadida al procesamiento de imágenes propiamente dicho– la utilización de redes neuronales con la finalidad de aprender los patrones que permiten extraer características de los elementos de interés en la observación.

Este trabajo pretende describir un protocolo combinado que permite el registro de imágenes mediante algunos VANT; se presentan una serie de tareas que vinculan la determinación de zonas de estudio, la caracterización de muestreos, la programación de vuelos y el registro de imágenes para su posterior análisis.

## Materiales y métodos

La obtención de imágenes mediante VANTs es un procedimiento que cuenta con una gran cantidad de parámetros ajustables, y deberían tener como base una serie de pasos establecidos (Figura 1). Entre estos parámetros podemos mencionar la altura de registro, inclinación de la cámara, tiempo y tamaño de apertura del obturador, la tasa de muestreo, etc. Muchos de éstos pueden ser modificados a criterio de



**Figura 1.** Etapas del protocolo. Las etapas se separan en 1. Trazado del área o zona de interés; 2. Selección del método de registro de imágenes; 3. Planificación de los vuelos; 4. Realización de los vuelos; 5. Almacenamiento y tratamiento de las imágenes para la detección de los individuos.

los investigadores y directamente sobre la cámara con la finalidad de mejorar la visibilidad o el procesamiento de las fotografías o fotogramas de video generados. Otros parámetros que no pueden ajustarse directamente, pero que sí pueden subsanarse, son los efectos del tiempo atmosférico, luminosidad solar, velocidad de desplazamiento del dron y efectos térmicos en las imágenes.

### Trazado del área de estudio

En principio, se delimita la zona de monitoreo donde se realizará el estudio. Como estas regiones pueden variar en tamaño y morfología, es importante considerar algunas cuestiones con base en los criterios del estudio. Una de las primeras cuestiones se refiere a la representatividad pretendida por el muestreo; de aquí resulta el tamaño de la superficie que se va a muestrear. El nivel de exactitud de las estimaciones será mejor cuanto mayor sea el porcentaje del área monitoreada y estas "parcelas", además, deberán ser seleccionadas aleatoriamente a partir de rutas preestablecidas.

Los datos adquiridos a partir de las imágenes presentan distorsiones por corrimiento (asociadas a la movilidad de los individuos), efectos indeseados por la inestabilidad del dron y demoras entre adquisiciones de imágenes. El conocimiento previo del tamaño y de la actividad de los animales, así como de las particularidades del modelo del VANT, permite hacer consideraciones necesarias para mejorar la observación y/o posprocesamiento de las imágenes. En este punto, puede ser útil contar con

información georreferenciada de las imágenes y de su distribución temporal.

Por otro lado, el manejo de un dron para el monitoreo de individuos es también una tarea exploratoria que necesita una planificación con salidas a campo. Esto implica que mientras más vuelos se consideran y más remota o de difícil acceso es la zona a muestrear, mayor es el tiempo de trabajo y el tiempo requerido para hacer el relevamiento completo. El trazado y la topología de la zona también influyen en la dificultad de transitar una ruta, y es importante conocer los límites de la demarcación (ilegal y/o peligroso), aunque esa zona también sea de interés.

### Vehículos Aéreos No Tripulados

En la actualidad los VANT tienen diferentes formatos. Existen drones de hélice o de ala giratoria (multirrotores), y de ala fija, pero también existen modelos combinados (ejemplo: Mini Drone Parrot Swing®), globos aerostáticos (Adams *et al.*, 2020) y drones subacuáticos (Butcher *et al.*, 2021) (Figura 2). Si bien todos han sido referidos en trabajos de monitoreo de fauna, los multirrotores y los de ala fija son los que gozan de mayor popularidad hoy en día para este tipo de trabajos.

Si bien no hay una gran cantidad de publicaciones que se refieran a los criterios que justifican la selección de los distintos modelos de VANT (Elmore *et al.*, 2021), se puede afirmar que la elección del VANT obedece a diversos factores, entre los que se encuentran la naturaleza del estudio que pretende

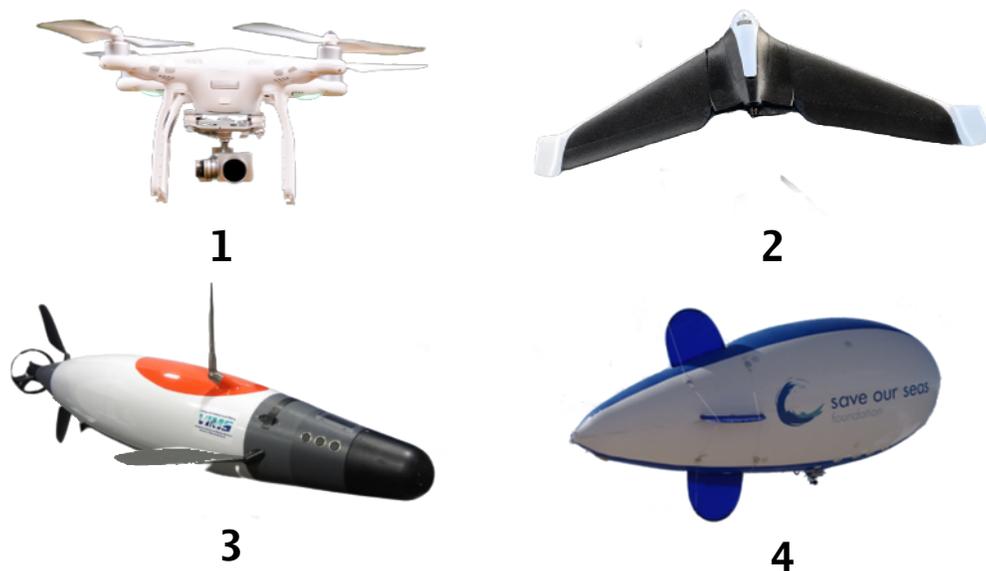
realizarse, el área de monitoreo, el tiempo de vuelo y la carga útil de vuelo (Butcher *et al.*, 2021). Otros condicionantes de elección se refieren al vuelo propiamente dicho, relacionado con factores que se pueden diferenciar en condiciones de conectividad, regulaciones y finalidades del estudio. De igual manera, la recolección de los datos puede estar influenciada por los factores

climáticos, como viento, humedad, lluvia, olas y reflexividad solar. Adicionalmente, una externalidad a considerar es la existencia de cualquier otro vehículo en el mismo medio. En el caso de estudios subacuáticos, los drones utilizados también deben tener en cuenta factores exclusivos de ese medio, como la turbidez, la profundidad y las corrientes.

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de los VANT de ala fija y de los multirrotores

Multirrotor		Ala fija	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Mayor control sobre el equipo Aterrizaje y despegue sencillos	Menor área de cobertura	Mayor área de muestreo	Mayor riesgo de pérdida de sustentación aerodinámica Necesita zona de aterrizaje y despegue Puede requerir una lanzadera
Mayor control en la toma de fotos El vuelo estático es mejor para el control de desplazamiento vertical	Menor autonomía energética Monitoreos lentos	El desplazamiento lineal optimiza el consumo de batería Muestreos rápidos	Precisa una mayor tasa de toma de fotos Mayor corrimiento de la fotografía o fotograma de video
Mejor detalle con menor altura de registro	Menor capacidad de carga de equipos	Soportan mayor peso de carga	Menor capacidad de detalle con mayor altura de registro

Fuente: elaboración propia. Adaptado de Gómez-Gutiérrez & Gonçalves (2020); Boon *et al.* (2017)



**Figura 2.** Modelos de dron. 1. Multirrotor (imagen tomada de Pexels - Pixabay); 2. Ala fija (Imagen provista por Lonnie McCaskill, Wildlife Conservation Society); 3. Subacuático (imagen tomada de FutureAtlas.com, con licencia Creative Commons); 4. Dirigible (imagen provista por Kye Adams, Universidad de Wollongong, Australia).

## Generación de las rutas de vuelo

La generación de las rutas de vuelo depende de las características deseadas en la imagen final y del tratamiento posterior de los datos del relevamiento. En esta etapa es fundamental el conocimiento previo sobre la potencial distribución de los individuos y su comportamiento, ya que la aparición de estos en las imágenes obedece a sus hábitos de alimentación y descanso, su tamaño y su distribución espacial, la preferencia por una zona sobre otra, el nivel de resguardo de la especie bajo la vegetación, la tierra o el agua, y su actividad diurna y nocturna.

La generación de las rutas se hace mediante un software que, con base en las características de recorrido antes mencionadas, localiza puntos en un mapa digitalizado y los une mediante una curva, la

cual será la referencia de vuelo del dron para pasar por todas las zonas que deseamos estudiar. Por motivos de compatibilidad, los planos de vuelo generados suelen tener un formato exportable y la posibilidad de ser visualizados en diferentes programas de representación cartográfica.

Estas formas de generación de rutas son el método de transecta y el método poligonal. El método de transecta permite hacer un registro secuencial de fotografías a lo largo de una curva (línea transecta) previamente trazada sobre un mapa digitalizado. Mediante el método poligonal se obtiene un conjunto de fotografías que luego pueden ser combinadas para obtener una fotografía más grande de la región, denominada mosaico u ortofoto. La selección del método depende del dato que se quiere ver y de cómo se quiere ver.

El trazado del recorrido se basa en algunos de los métodos mencionados y se ajusta mediante un software de georreferencia. Los vuelos transectos disponen de una trayectoria de vuelo caracterizada por un punto de inicio, puntos intermedios unidos por medio de segmentos rectos, y un punto de terminación; además, dispone de un punto de retorno, que tiene la finalidad de facilitar el regreso del dron al punto de partida por razones de emergencia, como bajo nivel de batería o finalización de la misión programada. La mayoría de los drones multirrotores ya tienen preprogramadas algunas rutinas automáticas de emergencia para estas situaciones. Por un lado, hacen un retorno lineal cuando la batería está en un nivel considerado como peligrosamente bajo; por otro lado, en el caso de que el

nivel de batería sea crítico, el dron inicia un aterrizaje vertical, sin considerar el tipo de superficie que pueda existir en la zona. Dado que los drones de ala fija tienen programadas rutinas de aterrizaje con forma rectilínea, es fundamental tener en cuenta las condiciones topológicas del lugar, ya que este tipo de dron suele realizar aterrizajes en velocidad o con pérdida de sustentación aerodinámica, lo que pone en riesgo su integridad material.

### Líneas transectas

El trazado centra su interés en un recorrido específico. Geométricamente, la transecta genera una línea de barrido con una superficie definida por la altura (Figura 3), que condiciona el ancho del área registrada en la fotografía y la longitud del



**Figura 3.** Recorrido por línea transecta con punto de partida y de llegada. Los números en los rectángulos indican la distancia entre los sucesivos puntos que generaron el recorrido.

recorrido. Este método produce una división de la región de estudio en múltiples transectas seleccionadas aleatoriamente, a partir de las cuales se toman muestras a fin de obtener una mejor representación de la variabilidad del espacio en la superficie total estudiada.

El método de transecta no busca generar un mapeo completo de regiones cerradas; se aconseja su aplicación cuando se tiene un conocimiento previo de lo que se puede encontrar a lo largo de su recorrido (a modo de ejemplo, ver Pereira *et al.*, en prensa). Al no generar una ortofoto, su información no se concentra en un sector concreto, sino

que permite tomar datos en una región mayor, con menor densidad de muestras por superficie e información más dispersa. Dentro de los posibles inconvenientes podemos referir los errores inducidos por el movimiento.

#### *Poligonal*

En este método se traza una línea poligonal con la finalidad de generar una gran imagen a partir de una serie de superficies adyacentes, denominada ortofoto (Figura 4). Para esto se demarca la región de estudio y se indica el nivel de solapamiento entre



**Figura 4.** Trazado de ruta poligonal. Los vértices marcan posiciones de cambio de dirección en la trayectoria.

las imágenes (tanto frontal como lateral). El solapamiento frontal está condicionado por la velocidad del dron y su tiempo de registro. El solapamiento lateral depende de la distancia entre transectos consecutivos, que a su vez depende de la altura de vuelo: a mayor altura, mayor separación para un mismo solapamiento. Cuanto mayor sea el solapamiento, tanto frontal como lateral, es mejor la ortofoto que se puede lograr, pero demanda más tiempo de vuelo y mayor posproceso.

La conformación del mosaico final u ortofoto se realiza mediante el ordenamiento de las imágenes en forma adyacente según su posición en el polígono de muestreo o el ordenamiento durante el vuelo. De esta manera, la composición de todas las imágenes genera una imagen con la forma del polígono creado, y su resultado es el mosaico final. El hecho de que la ortofoto sea el producto de la unión de diversas imágenes hace que exista una temporalidad diferente entre todas ellas y, por lo tanto, un riesgo de generar errores en la información cuando se realiza el muestreo. Además, suelen aparecer algunos problemas propios de la construcción de la ortofoto, como son el registro repetido de los destellos lumínicos solares en monitoreos durante o próximos al mediodía, el oleaje producto del viento, y la generación de zonas truncadas por la dificultad que presentan los mosaicos de agua al ser ubicados (Aubert *et al.*, 2021). Otros posibles inconvenientes son causados por los huecos o por el mal solapamiento entre imágenes, lo que distorsiona la información en el mosaico final; no obstante, este error

puede resolverse con repetición de vuelos sobre la región que se desea estudiar.

El método de los polígonos es de mucha utilidad para el caso particular de la observación de elementos estáticos (nidos, plantas) y para determinar su densidad y posición (Scarpa & Piña, 2019). Se puede obtener una muestra representativa de una gran región a partir del análisis de varios polígonos distribuidos aleatoriamente en la región de estudio.

## Realización de los vuelos

Una vez identificada la zona, los criterios del muestreo y el método elegido, se procede a la selección de los trayectos. Estos se encuentran representados por las transectas seleccionadas previamente.

Las transectas se toman en una cantidad estadísticamente representativa, a partir de una división equiespaciada de la superficie a muestrear, o bien mediante polígonos separados bajo el mismo criterio.

Los vuelos se inician con el conocimiento preciso de las rutas seleccionadas. Si bien la comunicación entre el dron y los satélites que mantienen sus coordenadas georreferenciadas hace que las rutas sean transitadas con un mínimo de error, es necesario que la preparación del vehículo se haga de forma ordenada y tenga todas las revisiones pertinentes, con el propósito de salvaguardarlo de posibles inconvenientes y de mantener organizado el trabajo en sus diferentes instancias.

Para cualquiera de los modelos seleccionados en el estudio, recomendamos realizar

y actualizar un registro de las fechas de adquisición de las baterías y, en el mejor de los casos, un registro continuo de su utilización y del nivel de carga. La capacidad de todas las baterías no solo disminuye con el tiempo, sino que estas también sufren variaciones en la curva de descarga, lo que hace más difícil anticipar su rendimiento real.

## Procesamiento de imágenes

Los VANT guardan las imágenes durante el tiempo de muestreo, generalmente en dispositivos de memoria flash, como tarjetas micro SD. Estas imágenes pueden transferirse posteriormente a una computadora, donde son procesadas. Las fotografías obtenidas a través del método poligonal pueden armarse mediante servicios de reconstrucción en la nube y mediante programas específicos con esa funcionalidad, para así formar el mosaico final. Estos servicios no suelen incluir métodos de corrección de imágenes, por lo que su tratamiento debe ser considerado como una tarea adicional.

## Resultados esperados

Al final de un estudio exitoso se cuenta con un set de imágenes obtenidas a partir de rutas de vuelo previamente trazadas y sin errores de posición considerables. Según el tipo de estudio, podemos contar con un conjunto de imágenes que deben juxtaponerse para la conformación de la ortofoto (método poligonal), o bien con las imágenes de los transectos.

## Interpretación y análisis de errores

Los errores pueden separarse en dos grupos:

- Errores en tiempo de adquisición: incluyen corrimiento de la fotografía, saturación, datos incompletos. Estos errores se analizarán en función de los efectos que el investigador logre observar en las fotos, y pueden ser corregidos variando los modos de trabajo del dron y su sistema de adquisición (Figura 5).



**Figura 5.** Errores en tiempo de adquisición: 1. Saturación de la imagen; 2. Corrimiento de la fotografía (imagen movida); 3. Datos incompletos.

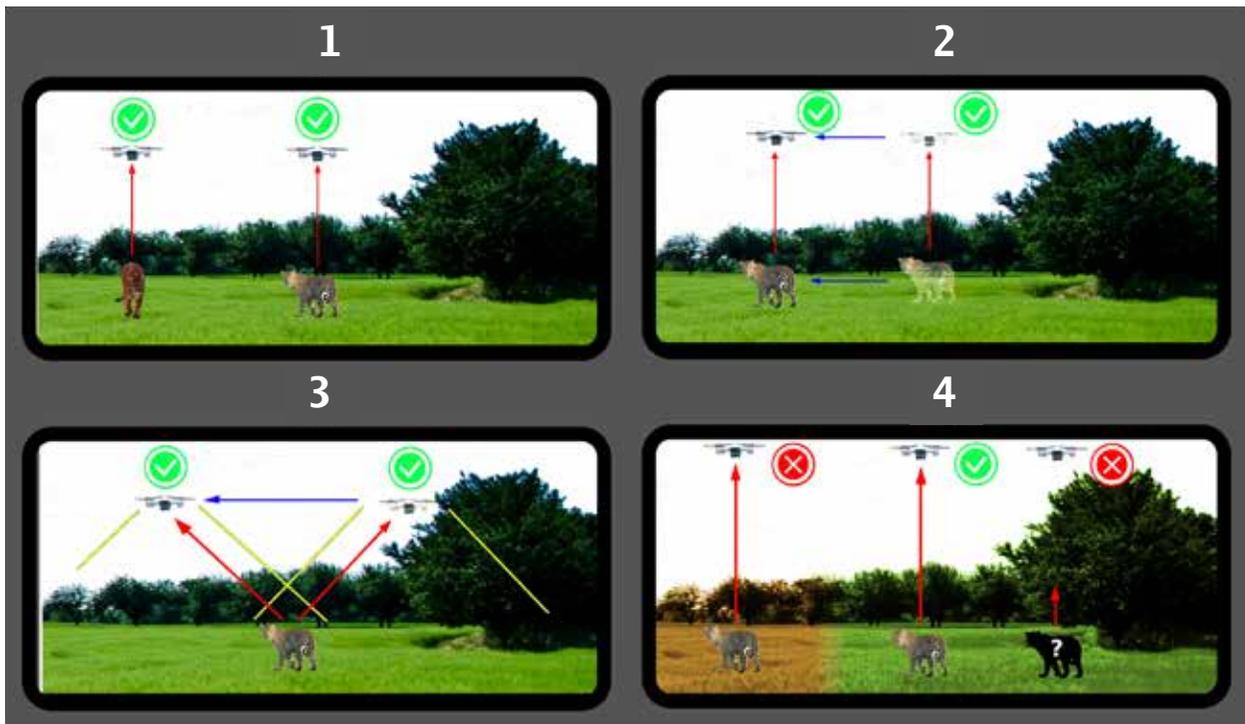
- Errores en tiempo de detección: incluyen doble conteo, falsos negativos (FN) y falsos positivos (FP). Estos errores deben ser previamente caracterizados para darles un correcto tratamiento y así lograr que el sistema de conteo sea lo más cercano a la 'verdad a nivel del suelo', que es el nivel de certidumbre en que los expertos coinciden al contar individuos manualmente en las imágenes (Figura 6). Los errores de detección, entonces, pueden clasificarse según el siguiente ordenamiento:

*Errores por Falsos Positivos.* Se cuenta un individuo en un lugar donde no hay.

- Identificación errónea: muy poco frecuente. Ocurre cuando el sistema de detección confunde un elemento y lo toma como si fuera un ejemplar de interés, y lo cuenta como tal.

*Errores por doble conteo.* Se pueden clasificar como FN o FP, según el caso.

- Áreas solapadas: un individuo se cuenta más de una vez debido a que el solapamiento entre imágenes obtenidas lo considera dos veces, lo que introduce un FP.



**Figura 6.** Errores en tiempo de detección: 1. Error por falso positivo (FP): se cuenta un individuo erróneamente; 2. Doble conteo por movimiento del individuo; 3. Doble conteo por solapamiento de áreas de muestreo; 4. Error por falso negativo (FN): no se cuentan individuos por no estar disponibles o por no poder diferenciarlos de su entorno.

- **Movimiento:** un individuo ingresa en un área que va a ser muestreada después de salir de un área ya muestreada, lo que genera dos (o más) registros del mismo individuo y produce un FP en cada recuento extra realizado. Puede ocurrir también que un individuo no muestreado se retire del área que va a ser muestreada y se desplace a un área que no va a ser muestreada, y cause un FN al no registrarse.

*Errores por Falsos Negativos.* No se contabiliza un ejemplar de interés que realmente sí se encuentra ahí.

- **Disponibilidad:** un ejemplar de interés sumergido en el agua o cubierto por la vegetación puede no ser identificado y contabilizado. Lo mismo ocurre con animales que se desplazan desde lugares donde aún no se han registrado imágenes hacia zonas ya analizadas.
- **Percepción:** ocurre cuando, habiendo disponibilidad de ejemplares de interés para ser detectados en imágenes, hay alguna falla en la detección debido al cansancio del observador durante la contabilización manual, o a un algoritmo, principalmente por problemas de bajo contraste, altura de vuelo y resolución de la cámara.

## Tratamiento de errores

Los errores referidos tienen diferentes tratamientos según su origen. Pueden ser abordados mediante métodos estadísticos (N-mezcla) (Brack *et al.*, 2018), que señalan los individuos encontrados en vuelos

hechos repetidamente sobre una misma zona. No obstante, dependiendo del caso concreto, pueden llegar a evitarse o disminuirse según los ajustes hechos al VANT.

*Errores por FP:* Son escasos y dependen de la experticia del observador, por lo tanto, marcan el límite de la “verdad a nivel del suelo”. En este caso suele apelarse a la opinión conjunta de los expertos o a la implementación de un sistema experto automatizado.

*Errores por FN:* Los errores por “disponibilidad” dependen del animal de interés, de sus hábitos y de las características del entorno que habita y, por lo tanto, de su existencia bajo follaje, elevaciones, agua o embalsados. Al no ser individuos visibles, la repetición de registros hechos sobre la misma zona puede hacer evidente su presencia, sobre todo si se cuenta con información auxiliar de referencia, como los puntos y tiempos de los registros realizados. De otro modo, es necesaria la implementación de una tecnología diferente (ej: cámara térmica), o se deben realizar acercamientos o mejorar la resolución de la cámara. En el caso de errores de “percepción”, es recomendable que varios expertos realicen el conteo.

*Doble conteo:* En el caso de “áreas solapadas”, la información de referencia, tiempo y solapamiento pueden ayudar a la identificación de un individuo doblemente muestreado. En el caso de “movimiento” de los animales dentro y fuera de la región de muestreo, no hay formas claras para el tratamiento del error, pero algunos autores han postulado el diseño de trayectorias de vuelo en franjas separadas (Chrétien *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, en prensa).

## Ventajas

---

Hay una gran variedad de ventajas en la utilización de los VANT para el monitoreo de fauna. Entre las ventajas más destacables de los drones frente al uso de técnicas clásicas se pueden mencionar:

- menor costo de adquisición, uso y traslado (Scarpa & Piña, 2019; Aubert *et al.*, 2021);
- mayor seguridad para el usuario (Aubert *et al.*, 2021);
- posibilidad de investigar especies peligrosas o difíciles de abordar (Butcher *et al.*, 2021);
- menor tiempo en el registro de las imágenes debido al procedimiento automatizado por el dron;
- mayor repetitividad de los estudios (Cleguer *et al.*, 2021);
- minimización del estrés causado a la fauna, en comparación con vehículos aéreos tripulados (Aubert *et al.*, 2021);
- método no invasivo (Zemanova, 2020);
- mejor resolución que otros métodos clásicos (Aubert *et al.*, 2021);
- gran tasa de éxito en completar vuelos autónomos (Aubert *et al.*, 2021) con buena estabilidad de los registros;
- manejo sencillo (Aubert *et al.*, 2021).

## Desventajas

---

La creciente utilización de los VANT también enfrenta algunos desafíos. Si bien sus controles presentan un esquema sencillo, poseen muchas opciones configurables, por lo que no debe subestimarse cierta complejidad en su manipulación. Entre las desventajas podemos enumerar:

- Es necesario una experiencia de uso para familiarizarse con el control del equipo y su sensibilidad. La caída ocasional del VANT en pleno vuelo conlleva su destrucción o la rotura de sus elementos, y en algunos casos se puede perder definitivamente debido a la difícil localización o acceso (Croft *et al.*, 2007).
- El uso de baterías es otro factor que debe ser considerado, ya que la capacidad de realizar vuelos exitosos depende estrictamente del rendimiento de estas.
- En cuanto a las imágenes, la calidad de la información recabada en los muestreos depende de las condiciones atmosféricas. La claridad de las imágenes está sujeta al nivel de humedad del ambiente, a las condiciones de lluvia, neblina o viento y también a sus efectos sobre el VANT. Si este no posee gran estabilidad o se enfrenta a condiciones extremas de viento, se compromete la correcta visibilidad de las imágenes resultantes.

- Vinculado al propio funcionamiento del VANT, es recomendable mantener la conectividad entre este, el mando manual y/o los sistemas de referenciación automática para su posicionamiento, con los cuales tiene una comunicación continua, a fin de evitar accidentes (Butcher *et al.*, 2021).
- Hay restricciones legales de uso dependiendo del país; la manipulación de los drones es legal hasta el límite aéreo donde puede ser visibilizado (Cleguer *et al.*, 2021), o existen espacios aéreos que requieren una licencia para su uso.
- Más allá de los efectos legales del uso de un dron (Clarke, 2014), siempre existe el riesgo de que estos sean derribados o, incluso, atacados por animales, como es el caso de ciertas aves (Rebolo *et al.*, 2019). Los drones también pueden generar perturbaciones que inducen estrés y provocan la huida de los animales que se desea estudiar (Duporge *et al.*, 2021).
- Finalmente, existen desventajas propias del uso de modelos concretos de dron. En el caso de los monitoreos de animales, los drones multirrotor suelen ser preferidos sobre los drones de ala fija debido a su mejor adaptación a los entornos agrestes y a su mayor precisión en la identificación de puntos fijos (Boon *et al.*, 2017).

## Puntos críticos

---

Existen algunos puntos fundamentales que deben considerarse para lograr una adecuada preparación, obtención y tratamiento de los datos. Esto es crítico para mejorar la calidad del trabajo realizado:

- Generación de la ortofoto, relacionada con los efectos de iluminación y la homogeneización de las imágenes: cuando los bordes de la imagen tienen características poco conspicuas (caso usual: fotos en superficies de agua) se vuelve complejo el posicionamiento de los mosaicos entre sí.
- Reconstrucción de la trayectoria: cuando no hay una continuidad en la adquisición de las imágenes, debido a razones de bajo nivel de batería o emergencia, se deben completar las trayectorias con vuelos manuales, en el menor tiempo posible.
- Selección del dron: debe realizarse según las características de la información requerida por el grupo de trabajo.
- Definición de la metodología de monitoreo: debe seleccionarse según el objetivo del estudio. El método por polígonos es preferible únicamente en el caso de observación de elementos estáticos, como nidos, plantas o elementos sin vida.

## Expectativas a futuro

---

El uso de drones en el monitoreo de fauna está aumentando aceleradamente en estudios que caracterizan la distribución de poblaciones de vida libre (Nowak *et al.*, 2018). Esto se debe en parte a que este ha sido probado y verificado exitosamente múltiples veces como un método que mejora los resultados obtenidos en las salidas exploratorias al nivel del suelo. Sin embargo, según la información que se quiere obtener, algunas veces es preferible utilizar las cámaras trampa y no los registros aéreos (Rahman & Rahman, 2021) o los registros mediante drones en lugar de los registros en tierra (Hodgson *et al.*, 2016; Beaver *et al.*, 2020). La tecnología en sistemas de adquisición también es amplia, y además de la mejora en la resolución, existen diferentes aplicaciones según el rango del espectro radioeléctrico que se desea adquirir. De esta manera, aunque la mayoría de los estudios se efectúan mediante cámaras RGB (Scarpa & Piña, 2019; Aubert *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, en prensa), existen trabajos que enfatizan el uso de cámaras térmicas (Rahman *et al.*, 2020) y proponen el empleo de cámaras hiperespectrales (Lausch *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2020) y LIDAR (Butcher *et al.*, 2021); estas dos últimas tecnologías, además de un mejor detalle de imagen, permiten la detección de puntos calientes y la medición de la distancia entre estos y el equipo de adquisición, respectivamente. El uso de estas tecnologías genera un mayor caudal de información sobre la fauna.

Finalmente, existen múltiples posibilidades de mejora en la rapidez y exactitud de los monitoreos de poblaciones de animales y vegetales mediante modelos de detección basados en visión computacional e inteligencia artificial (Kellenberger *et al.*, 2021; Onishi & Ise, 2021).

## Conclusiones

---

Presentamos un protocolo de muestreo poco invasivo para animales distribuidos en una región geográfica de interés. Estos métodos permiten realizar caracterizaciones y estimaciones sobre la existencia de animales, o de sus vestigios, mediante una detección rápida in situ, con VANT de diferentes modelos y diversas técnicas. Esta nueva tecnología nos abre la posibilidad de hacer monitoreos rápidos, lo que genera gran cantidad de información y minimiza daños o estrés sobre los ejemplares. Asimismo, es un método de bajo costo en comparación con otros métodos tradicionales.

Finalmente, el uso de drones en el muestreo de animales aún es un campo de experimentación constante, por lo que las evidencias de su utilización en diferentes situaciones generan precedentes para su aplicabilidad, los cuales son necesarios para la realimentación y el mejoramiento de los protocolos.

## Agradecimientos

---

Este documento ha sido financiado en parte por la Fundación Gordon and Betty Moore Foundation, a través del proyecto GBMF9258 a Fundación Natura.

## Material complementario

---

Como material complementario a este trabajo se puede revisar el material videográfico compartido en el canal de Youtube de taller de drones “Drones Workshop” ([www.youtube.com/channel/UC59NoGIQopqWq88dhtp-nMw](http://www.youtube.com/channel/UC59NoGIQopqWq88dhtp-nMw)), donde se pueden encontrar presentaciones sobre la aplicación de estos artefactos para el monitoreo y la conservación de la fauna.

## Referencias

---

Adams, K., Broad, A., Ruiz-García, D. & Davis, A. R. (2020). Continuous wildlife monitoring using blimps as an aerial platform: a case study observing marine megafauna. *Australian Zoologist*, 40(3), 407-415. <https://doi.org/10.7882/AZ.2020.004>

Aubert, C., Le Mogueédec G., Assio, C., Blatrix, R., Ahizi, M. N., Hedegbetan, G. C., Kpera, N. G., Lapeyre, V., Martin, D., Labbé, P. & Shirley, M. (2021). Evaluation of the use of drones to monitor a diverse crocodylian

assemblage in West Africa. *Wildlife Research*, WR20170. <https://doi.org/10.1071/WR20170>

Balaguera-Reina, S. A., Pinzón-Barrera, C., Farfán-Ardila, N., Vargas-Ortega, D. & Densmore, L. D. III. (2020). Individual identification patterns as a monitoring strategy for American crocodiles: Tayrona National Natural Park as a study case. *Amphibia-Reptilia*, 42(1), 73-80. <https://doi.org/10.1163/15685381-bja10033>

Barnas, A. F., Chabot, D., Hodgson, A. J., Johnston, D. W., Bird, D. M. & Ellis-Felege, S. N. (2020). A standardized protocol for reporting methods when using drones for wildlife research. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8(2), 89-98. <https://doi.org/10.1139/juvs-2019-0011>

Beaver, J. T., Baldwin, R. W., Messinger, M., Newbolt, C. H., Ditchkoff, S. S. & Silman, M. R. (2020). Evaluating the use of drones equipped with thermal sensors as an effective method for estimating wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 44(2), 434-443. <https://doi.org/10.1002/wsb.1090>

Boon, M. A., Drijfhout, A. P. & Tesfamichael, S. (2017). Comparison of a fixed-wing and multi-rotor UAV for environmental mapping applications: A case study. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W6, International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics, 47-54. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-47-2017>

Brack, I. V., Kindel, A. & Oliveira, L. F. B. (2018). Detection errors in wildlife abundance estimates from Unmanned Aerial Systems (UAS) surveys: Synthesis, solutions, and challenges. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1864-1873. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13026>

Butcher, P. A., Colefax, A. P., Gorkin, R. A., Kajiura, S. M., López, N., Mourier, J., Purcell, C. R., Skomal,

- G. B., Tucker, J. P., Walsh, A. J., Williamson, J. E. & Raoult V. (2021). The drone revolution of shark science: A review. *Drones*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.3390/drones5010008>
- Chrétien, L. P., Théau, J. & Ménard, P. (2016). Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of White-tailed deer using an Unmanned Aerial System. *Wildlife Society Bulletin*, 40(1), 181-191. <https://doi.org/10.1002/wsb.629>
- Clarke, R. (2014). The regulation of civilian drones' impacts on behavioural privacy. *Computer Law & Security Review*, 30(1), 286-305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clsr.2014.03.005>
- Cleguer, C., Kelly, N., Tyne, J., Wieser, M., Peel D. & Hodgson A. (2021). A novel method for using small unoccupied aerial vehicles to survey wildlife species and model their density distribution. *Frontiers in Marine Science*, 8, 640338. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.640338>
- Croft, J. L., Pittman D. J. & Scialfa C. T. (2007). Gaze behavior of spotters during an air-to-ground search. *Human Factors*, 49(4), 671-678. <http://dx.doi.org/10.1518/001872007X215746>
- Duporge, I., Spiegel, M. P., Thomson, E. R., Chapman, T., Lamberth, C., Pond, C., Macdonald, D. W., Wang, T., Klinck, H. (2021). Determination of optimal flight altitude to minimise acoustic drone disturbance to wildlife using species audiograms. *Methods in Ecology and Evolution*, 00, 1-12. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13691>
- Elmore, J. A., Curran, M. F., Evans, K. O., Samiappan, S., Zhou, M., Pfeiffer, M. B., Blackwell, B. F. & Iglay, R. B. (2021). Evidence on the effectiveness of small unmanned aircraft systems (sUAS) as a survey tool for North American terrestrial, vertebrate animals: a systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 10, 15. <https://doi.org/10.1186/s13750-021-00228-w>
- Gómez-Gutiérrez, A. & Gonçalves, G. R. (2020). Surveying coastal cliffs using two UAV platforms (multirotor and fixed-wing) and three different approaches for the estimation of volumetric changes. *International Journal of Remote Sensing*, 41(2), 1-33. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2020.1752950>
- Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A. & Clarke, R. H. (2016). Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports*, 6(1), 22574. <http://dx.doi.org/10.1038/srep22574>
- Kellenberger, B., Veen, T., Folmer, E. & Tuia, D. (2021). 21 000 birds in 4.5 h: efficient large-scale seabird detection with machine learning. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7(3), 445-460. <https://doi.org/10.1002/rse2.200>
- Lausch, A., Erasmí, S., King, D. J., Magdon, P. & Heurich M. (2016). Understanding forest health with remote sensing –Part I—A review of spectral traits, processes and remote-sensing characteristics. *Remote Sensing*, 8, 1029. <https://doi.org/10.3390/rs8121029>
- Liu, H., Bruning, B., Garnett, T. & Berger, B. (2020). Hyperspectral imaging and 3D technologies for plant phenotyping: From satellite to close-range sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105621. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105621>
- Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G. & Johnson, B. A. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
- Nowak, M. M., Dziób, K. & Bogawsky, P. (2018). Unmanned aerial vehicles (UAVs) in environmental biology: a review. *European Journal of Ecology*, 4(2), 56-74. <https://doi.org/10.2478/eje-2018-0012>

Onishi, M. & Ise, T. (2021). Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. *Scientific Reports*, 11, 903. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79653-9>

Pereira, J. A., Varela, D., Scarpa, L. J., Frutos, A. E., Fracassi, N. G., Lartigau, B. V. & Piña C. I. (en prensa). Drone-based surveys reveal an unexpectedly high density of a threatened deer in a plantation forestry landscape. *Oryx*.

Rahman, D. A., Setiawan, Y., Wijayanto, A. K., Rahman, A. A. A. F. & Martiyani, T. R. (2020). An experimental approach to exploring the feasibility of unmanned aerial vehicle and thermal imaging in terrestrial and arboreal mammals research. *E3S Web of Conferences*, 211, 02010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021102010>

Rahman, D. A. & Rahman, A. A. A. F. (2021). Performance of unmanned aerial vehicle with thermal imaging, camera trap, and transect survey for monitoring of wildlife. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 771, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/771/1/012011>

Rebolo, N., Graña Grilli, M. & Lambertucci, S. A. (2019). Drones as a threat to wildlife: YouTube complements science in providing evidence about their effect. *Environmental Conservation*, 46(3), 1-6. <https://doi.org/10.1017/S0376892919000080>

Scarpa, L. J. & Piña, C. I. (2019). The use of drones for conservation: A methodological tool to survey caimans nests density. *Biological Conservation*, 238, 108235. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108235>

Zemanova, M. A. (2020). Towards more compassionate wildlife research through the 3Rs principles: moving from invasive to non-invasive methods. *Wildlife Biology*, 1, wlb.00607. <https://doi.org/10.2981/wlb.00607>