

Sistemas aéreos no tripulados (UAS o drones) en investigación y gestión medioambiental

M. Mulero-Pázmány^{1,2}

1. Estación Biológica de Doñana. Avda. Américo Vespucio s/n. 41092, Sevilla, España.

2. Departamento de Ciencias Naturales. Universidad Técnica Particular de Loja. San Cayetano Alto s/n. CP 1101608 Loja, Ecuador.

Email: muleromara@hotmail.com, <http://margaritamulero.wix.com/margaritamulero>

Resumen: El uso de sistemas aéreos no tripulados (drones) en trabajos medioambientales ha adquirido gran popularidad en los últimos años. Las principales ventajas que ofrecen los drones sobre los métodos convencionales son: 1) la capacidad para obtener imágenes de alta resolución espacial mediante cámaras embarcadas y 2) la facilidad de despliegue, que permite obtener datos de modo inmediato y en cualquier tipo de terreno. La perspectiva aérea que ofrecen los drones resulta útil para monitorizar las poblaciones animales, caracterizar las formaciones vegetales y realizar estudios de ecología e impacto ambiental. La rapidez con la que pueden desplegarse los equipos sirve para dar respuestas eficaces a crisis ambientales como episodios de contaminación, vertidos, incendios, caza y pesca ilegal, extracción de madera o sobreexplotación de recursos naturales. Aunque las restricciones legales limitan considerablemente el potencial de los drones para trabajos a gran escala, es de esperar que en el futuro cercano se produzcan avances como cargas útiles más innovadoras y la integración de los sistemas en redes de sensores que abren nuevas perspectivas para una monitorización integrada del medio natural.

Palabras clave: drones, medio ambiente, fauna, vegetación, ecología

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas aéreos no tripulados (conocidos por las siglas en inglés UAS o coloquialmente como drones) comenzaron a utilizarse hace aproximadamente una década en investigación en ecología y gestión ambiental y su popularidad en esta disciplina está aumentando exponencialmente (Mulero_Pázmány, 2015).

La principal ventaja que ofrecen los drones frente a otros métodos de investigación en biología de campo es su capacidad de adquirir datos de elevada resolución espacial y temporal. Las imágenes que se obtienen mediante cámaras de fotos o video embarcadas permiten trabajar a escalas geográficas muy finas gracias a que los sistemas pueden volar de forma segura a baja altura sobre el terreno. La rapidez de despliegue de estos equipos, capaces de despegar y aterrizar en pequeñas zonas abiertas, permite obtener información a la frecuencia temporal deseada por los investigadores, con poco preaviso y con menor esfuerzo logístico y coste que mediante aeronaves tripuladas o satélite. Además, como los drones están equipados con sistemas de navegación precisos que registran la posición y facilitan la georreferenciación de las imágenes, los vuelos pueden repetirse sistemáticamente, permitiendo comparar los datos obtenidos en distintos momentos y así interpretar la información de modo más fiable.

En el sector medioambiental se utilizan diversos tipos de aeronaves según la escala geográfica de trabajo. Las grandes organizaciones que estudian procesos ecológicos globales como el cambio climático, el deshielo de los glaciares o el deterioro de las grandes masas forestales, emplean sistemas de gran tamaño y autonomía equipados con cargas útiles formadas por sensores avanzados. Sin embargo, dado que su coste es muy elevado y su operación y logística son complejas, no es de extrañar que la expansión principal de los drones en el sector medioambiental se deba al uso de equipos de menor tamaño (<25 kg) equipados con cargas útiles como cámaras de fotos (en espectro visible

o multiespectrales). Estos pequeños drones, también conocidos por las siglas en inglés “small UAS” (small unmanned aircraft systems) son relativamente fáciles de operar y su coste es más asequible, por lo que se han popularizado rápidamente en centros de investigación, universidades y empresas para trabajar a escalas geográficas locales.

2. DRONES PARA ESTUDIOS DE FAUNA

El seguimiento de las poblaciones de fauna silvestre es necesario para conocer su estado de conservación, proponer medidas de manejo, evaluar su explotación (ej. caza o pesca) o estimar el impacto que pudiera tener una actuación humana en la zona que habitan. La perspectiva aérea que ofrecen los drones resulta de gran utilidad para realizar censos directos de animales que sirven para estimar el tamaño o densidad de las poblaciones y permite obtener información acerca de la distribución de la fauna en zonas de difícil acceso. La discreción del vuelo de los drones (silenciosos y de pequeño tamaño) facilita el estudio de los animales de modo respetuoso, lo cual contribuye a una mayor calidad de los datos porque los individuos se comportan naturalmente.

En la actualidad los investigadores están usando pequeños drones equipados con cámaras de fotos para realizar censos directos de diversas especies de fauna terrestre, principalmente mamíferos (ej. elefantes, rinocerontes, osos, ciervos, primates) y aves (ej. colonias de gaviotas, gansos y aves acuáticas). Además, resultan especialmente convenientes para el estudio de fauna marina, tanto mamíferos (ej. ballenas, delfines) como aves (ej. pingüinos) y peces (ej. bancos de atunes) en lugares remotos (océanos) o de difícil acceso (ej. Antártida, Ártico). Estos sistemas se utilizan también para obtener información indirecta sobre la fauna mediante el estudio de sus refugios o lugares de cría que son fácilmente visibles desde una perspectiva aérea, como las madrigueras construidas por roedores o los nidos de primates, cocodrilos o aves (ej. córvidos, rapaces [Canal et al., 2016]).



Figura 1. De izquierda a derecha: fotografías de grupos de caballos, ñúes y cocodrilos obtenidas mediante drones. Proyecto Aeromab. Estación Biológica de Doñana, CSIC.

El uso de drones en seguimiento fauna está restringido a las especies que tienen un tamaño suficiente para detectarse e identificarse a una altura de vuelo segura. En general, los censos de animales grandes o medianos (ej. ciervos) se realizan a una altura

de vuelo de unos 150-200 m sobre el suelo, y los de animales de pequeño tamaño (ej. aves acuáticas) aproximadamente a 100-130 m. La forma de los individuos, su contraste de colores con el fondo y la cobertura vegetal en la zona afectan a la detección de fauna, por lo que estos factores deben tenerse en cuenta en el análisis de datos y sus efectos deben ajustarse mediante coeficientes para una correcta interpretación de los resultados (Mulero-Pázmány et al., 2015). Usando cámaras térmicas es posible incrementar la detección de animales en zonas de vegetación cerrada, de especies que se camuflan con el entorno o que están activas en periodos nocturnos (Margarita Mulero-Pázmány et al., 2014b). No obstante, para que estas cámaras funcionen adecuadamente es necesario que el contraste térmico entre los animales y el medio sea máximo y que la humedad ambiental sea baja, lo cual limita los escenarios de uso a zonas secas y periodos horarios más fríos (ej. amanecer).

La operación de drones para censos de especies animales debe realizarse lo más rápido posible, con un diseño óptimo de recorrido y prestando especial atención a las zonas de solape entre imágenes consecutivas o entre zonas que se superponen lateralmente en el recorrido, ya que los animales se mueven a lo largo del tiempo y pueden aparecer varias veces sobre las imágenes, dando lugar a problemas de doble conteo o pseudorréplica.

Los drones también contribuyen a la conservación de especies animales amenazadas. Por ejemplo, se han utilizado en Sudáfrica como herramienta contra la caza furtiva de rinocerontes (Margarita Mulero-Pázmány et al., 2014b) ya que su perspectiva permite localizar y comprobar el estado de los animales mediante vuelos de reconocimiento. Además, los vuelos de vigilancia sobre las vallas que limitan las fincas o sobre los “puntos calientes” donde se acumulan los incidentes ayudan a detectar la entrada de personas no autorizadas y sirven como apoyo a las patrullas de tierra en operaciones de persecución de furtivos.



Figura 2. Fotografías de rinoceronte blanco e intrusión en finca de dos individuos con perros en Kwa-Zulú Natal, Sudáfrica. Proyecto Aeromab. Estación Biológica de Doñana, CSIC.

Por último, los drones se están empezando a utilizar para manejo directo de fauna. Estas aplicaciones pretenden, en contraste con las anteriormente descritas, que el sistema sea visible y notable para actuar sobre especies animales que afectan negativamente a cultivos, piscifactorías o al patrimonio histórico. Por ejemplo, algunas empresas utilizan aeronaves con forma de aves rapaces (ej. águilas) para espantar a los pájaros que se consideran plagas realizando vuelos agresivos con el dron o emitiendo sonidos de alarma mediante altavoces integrados en los sistemas.

3. ESTUDIOS DE VEGETACIÓN

El estudio de la vegetación proporciona información de interés científico sobre la salud del ecosistema y su grado de conservación y sirve para aplicaciones prácticas, ya que las plantas tienen un evidente interés económico para el hombre, por ejemplo en forma de explotaciones forestales, para la agricultura o para obtención de fármacos.

La perspectiva aérea que se obtiene mediante los drones resulta de gran utilidad para estudiar las comunidades vegetales, ya que proporcionan imágenes de mayor resolución espacial y temporal a menor coste que los satélites o aeronaves tripuladas. Los drones equipados con cámaras en el espectro visible (RGB) se utilizan para caracterización de la vegetación, estimación de la mortalidad del dosel vegetal, evaluación de la biodiversidad en los bosques y en estudios de dependencia entre los patrones de perturbación medioambiental y diversidad de plantas. Estos trabajos sirven para comprender mejor los procesos ecológicos como el ciclo del agua y de nutrientes, evaluar el riesgo de incendios y de erosión, la disponibilidad de recursos para la fauna, y como indicador de la sostenibilidad a largo plazo del ecosistema.



Figura 3. Fotografía obtenida con dron de *Azolla filiculoides*, especie invasora de las marismas de Doñana. Proyecto Aeromab. Estación Biológica de Doñana, CSIC.

Además, el uso de cámaras infrarrojas y multi o hiper espectrales embarcadas en drones permite cartografiar la expansión de plantas invasoras, determinar estados fenológicos óptimos para clasificar distintas especies de árboles, o utilizar indicadores como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para obtener información acerca del nivel de estrés y salud de las plantas y planificar actuaciones sobre la cubierta vegetal (poda, desbroce, cultivo, explotación).

Existen también propuestas de aplicaciones relacionadas con la gestión práctica de la vegetación. Por ejemplo, se han realizado experimentos de dispersión de semillas germinadas, que podrían ser distribuidas mediante drones de modo automático para reforestar de modo masivo en zonas remotas.

4. ECOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La información que se obtiene mediante el uso de drones tiene gran valor para comprender las relaciones entre los distintos componentes de los ecosistemas. La combinación de datos de posicionamiento de animales con imágenes de alta resolución

del medio que ocupan permite realizar estudios de ecología animal, que contribuyen a la gestión y conservación de las especies. Por ejemplo, proyectando los datos de movimiento de aves rapaces reintroducidas y marcadas con emisores GPS sobre imágenes georreferenciadas obtenidas con drones se puede analizar la selección de recursos ambientales que utilizan para su alimentación (Rodríguez et al., 2012). El estudio de imágenes obtenidas con drones sirve también para investigar los patrones de distribución espacial de ungulados silvestres y domésticos y su relación con características ambientales para comprender mejor la epidemiología de enfermedades como la tuberculosis en zonas protegidas (Barasona et al., 2014).



Figura 4. *Izquierda: Cernicalo primilla marcado con emisor GPS. Derecha: en rojo trayectoria por el cernicalo primilla marcado, en azul ruta del drone con fondo de la imagen obtenida por la cámara embarcada en el dron. Proyecto Aeromab. Estación Biológica de Doñana, CSIC.*

Además, los drones se utilizan como herramienta de apoyo en trabajos de evaluación de impacto ambiental, ya que sobre las imágenes que proporcionan pueden realizarse cálculos de superficies afectadas por intervenciones humanas y construir modelos de riesgo o diseñar medidas correctoras. Por ejemplo, se han usado para evaluar los efectos de incendios y vertidos y para determinar los puntos negros de mortalidad de aves por electrocución en líneas eléctricas (Margarita Mulero-Pázmány et al., 2014a).



Figura 5. Nido de cigüeña blanca sobre torreta eléctrica fotografiado mediante dron de ala fija. Proyecto Aeromab. Estación Biológica de Doñana, CSIC.

5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El papel de los drones en la investigación y gestión del medio ambiente es cada vez más importante, dado que permiten ahorrar tiempo y esfuerzo en tareas de seguimiento de fauna y caracterización de la vegetación, acceder a zonas complicadas por otros medios de forma discreta y obtener información detallada y en tiempo real de los cambios naturales o por acción humana que se producen en los ecosistemas.

Sin embargo, dada la novedad de los drones y los avances continuos que se producen en esta tecnología, existen aún limitaciones para los investigadores y gestores medioambientales. Para que el uso de estos equipos sea exitoso es importante que los usuarios analicen en profundidad el mercado de sensores y aeronaves para seleccionar los más apropiados para cada aplicación y que sean capaces de operarlos de forma segura realizando cursos de vuelo y procesamiento de los datos. Es imprescindible también tener en cuenta la normativa relativa al uso de drones en la zona de trabajo, ya que esto condiciona la aplicabilidad de los sistemas (ej. actualmente en España no es legal volar fuera de línea de visión, lo cual limita la extensión del área de estudio). Además, cualquier vuelo de drones realizado en la naturaleza conlleva un cierto riesgo de conflicto con la fauna local que puede tener consecuencias negativas para los animales (ej. estrés) y para el propio dron (daños en la estructura en caso de accidente o ataque), por lo que hay que seguir ciertas pautas de operación de los sistemas para evitar incidentes (ej. no realizar aproximaciones directas y cercanas a la fauna y respetar lugares de cría).

En el futuro cercano cabe esperar que se desarrollen aplicaciones más novedosas de los sistemas aéreos no tripulados. Recientemente se han producido avances en cargas útiles distintas de las tradicionales cámaras de foto y video, como por ejemplo trampas para capturar insectos (Bedoya et al., 2013) y se están realizando experimentos para la integración de los drones en redes heterogéneas de sensores (internet de las cosas)

donde tienen un papel muy útil como herramienta móvil para la adquisición de datos (Figura et al., 2014; M. Mulero-Pázmány et al., 2014).

6. REFERENCIAS

- Barasona, J.A., Mulero-Pázmány, M., Acevedo, P., Negro, J.J., Torres, M.J., Gortázar, C., Vicente, J., 2014. Unmanned Aircraft Systems for studying spatial abundance of ungulates: relevance to spatial epidemiology. *PLoS One* 9, e115608. doi:10.1371/journal.pone.0115608
- Bedoya, C., Viguria Jimenez, L., Jimenez Bellido, A., Martín Mora, V., Anderson Bell Seiler, A., Mulero Pazmany, M., Ibáñez, C., Negro Balmaseda, J., García Popa-Lisseanu, A., 2013. P201331941. Dispositivo de captura de muestras de elementos macroscópicos presentes en el entorno con múltiples cámaras de captura y almacenamiento.
- Canal, D., Mulero-Pázmány, M., Negro, J.J., Sergio, F., 2016. Decoration Increases the Conspicuousness of Raptor Nests. *PLoS One* 11, e0157440. doi:10.1371/journal.pone.0157440
- Figura, R., Ceriotti, M., Shih, C., Mulero-Pázmány, M., Fu, S., Daidone, R., Jungen, S., Negro, J.J., Marrón, P.J., 2014. IRIS: Efficient Visualization, Data Analysis and Experiment Management for Wireless Sensor Networks. *EAI Endorsed Trans. ubiquitous Environ.* 1, 1–18. doi:10.4108/ue.1.3.e
- Mulero_Pázmány, M., 2015. Unmanned Aerial Systems in conservation biology. University of Seville, Spain.
- Mulero-Pázmány, M., Barasona, J.Á., Acevedo, P., Vicente, J., Negro, J.J., 2015. Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecol. Evol.* 5, 4808–4818. doi:10.1002/ece3.1744
- Mulero-Pázmány, M., Negro, J.J., Ferrer, M., 2014a. A low cost way for assessing bird risk hazards in power lines: Fixed-wing small unmanned aircraft systems. *J. Unmanned Veh. Syst.* 2, 5–15. doi:0.1139/juvs-2013-0012
- Mulero-Pázmány, M., Schwarzbach, M., Viguria, A., Martínez de Dios, J.R., Mann, J.M., Kropp, A., Nebot, H., Alarcón Romero, F., Negro, J.J., Kondak, K., Yen Shih, C., Ollero, A., Marrón, P., 2014. Heterogeneous networked cooperating objects for pollution detection and monitoring, in: 99th ESA Annual Convention. Sacramento, Ca. USA.
- Mulero-Pázmány, M., Stolper, R., Van Essen, L.D., Negro, J.J., Sassen, T., 2014b. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa. *PLoS One* 9, 1–10. doi:10.1371/journal.pone.0083873
- Rodríguez, A., Negro, J.J., Mulero, M., Rodríguez, C., Hernández-Pliego, J., Bustamante, J., 2012. The eye in the sky: combined use of unmanned aerial systems and GPS data loggers for ecological research and conservation of small birds. *PLoS One* 7, e50336. doi:10.1371/journal.pone.0050336