Contribución de los RPAS en investigación y conservación en espacios protegidos: presente y futuro

En este estudio se procedió a identificar y resumir el estado actual y las tendencias en el uso de los drones en proyectos científicos con fines de conservación en espacios naturales protegidos, mediante la recopilación y revisión de material bibliográfico en forma de artículos científicos, revistas, proyectos de conservación y otras fuentes de información relevantes.

Table of Contents

# Introducción

Las aplicaciones civiles de los vehículos aéreos no tripulados (RPAS, UAVs, drones) han sido planteadas en un número cada vez mayor de artículos científicos. Durante los últimos años ha habido un incremento significativo de las líneas de investigación sobre vida silvestre en espacios protegidos que hacen uso de RPAS (J. Linchant et al. 2015) (Christie et al. 2016). En la mayoría de los casos son estudios pilotos que buscan determinar la idoneidad de estos sistemas frente a instrumentos tradicionales de apoyo a la conservación, en sus diferentes facetas, delimitando sus ventajas e inconvenientes, estableciendo pautas y recomendaciones de uso y abriendo nuevas perspetivas de aplicación. Si bien el concepto ha evolucionado a lo largo del tiempo, actualmente los espacios naturales protegidos son aquellos en los que la intervención del hombre no ha llegado a alterar de forma significativa la presencia y funcionamiento de los elementos bióticos y abióticos que lo integran (Bravo 2008). Cumplen con finalidades de protección y conservación del medio biofísico y cultural, donde se promueve iniciativas en el ámbito científico y educativo, de restauración, actividades recreativas y turísticas compatibles con el medio natural y acciones de índole socioeconómica enmarcadas en el desarrollo sustentable del territorio. Están amparados bajo algún instrumento nacional o internacional de protección y regulados de forma acorde a través de los planes de manejo específicos de la región. A pesar de que el número de áreas protegidas ha experimentado un aumento sensible a nivel mundial, con un 15.4 % de la superficie terrestre y un 8.4% de las áreas marinas bajo alguna figura de protección (Juffe-Bignoli et al. 2014) , hay autores que resaltan la necesidad de mejorar las herramientas de gestión de áreas protegidas que aseguren la efectividad de la conservación de la biodiversidad (Chape et al. 2005). Por otra parte algunas áreas protegidas sufren procesos de degradación, continuan disminuyendo en tamaño o han dejado de existir (Mascia and Pailler 2011), o bien han sido declaradas bajo criterios oportunistas que no reflejan necesariamente el valor ecológico de los ecosistemas a preservar (Knight and Cowling 2007). En un reciente informe realizado por la Sociedad Zoológica de Londres (WWF 2016) , se calcula que el tamaño de las poblaciones de vida silvestre ha disminuido en un 52 % en el periodo de 1970 hasta 2012. Todos los indicios apuntan al hombre como principal desencadenante de la ya denominada sexta extinción masiva en nuestro planeta (Barnosky et al. 2011), hasta el punto de que algunos investigadores comienzan a hablar del antropoceno, como inicio de una nueva época del Cuaternario. La fragmentación del hábitat, el aumento de la contaminación, especialmente grave en ecosistemas de agua dulce, la sobreexplotación de los recursos, las consecuencias a nivel global del cambio climático y el impacto de las especies invasoras sobre poblaciones autóctonas han sido identificados como las principales amenazas para la diversidad biológica . El Grupo sobre Observaciones de la Tierra (GEOBON) ha identificado un conjunto de variables esenciales para la biodiversidad (Pereira et al. 2013) con objeto de desarrollar un abanico de indicadores que permitan conocer el estado global de nuestros ecosistemas y ayuden a la mejor toma de decisiones en materia de biodiversidad mediante la integración de técnicas de observación remota y observaciones in-situ como piezas clave para el levantamiento de información ambiental (Forum 2008). Por otra parte, el Convenio sobre la Diversidad Biológica desarrollado como parte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) estableció en Nagoya (Japón) un plan estratégico para el periodo 2011-2020 que incluye las metas de Aichi para la diversidad biológica. Dentro de los objetivos planteados cobra especial relevancia en el contexto actual el aumento de los sistemas de áreas protegidas de especial importancia para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Meta 11) y se establece una serie de criterios de gobernanza, equidad, gestión, representatividad y conectividad ecológica para la inclusión de áreas prioritarias para la conservación. Para hacer frente a una situación cada vez más insostenible, es necesario desarrollar soluciones noveles que mejoren nuestra compresión de los ecosistemas y permitan tomar medidas encaminadas a la preservación de la biodiversidad. En este contexto, el presente estudio realiza una revisión pormenorizada del prometedor desempeño de los RPAS en materia de conservación y gestión de áreas protegidas, en la medida que se superen las barreras técnicas y legales que limitan su efectividad.

Existen actualmente algunas iniciativas que tratan de recoger el estado actual de los RPAS en las áreas de la ecología y conservación. Con fecha reciente de finalización , la revista *Remote Sensing in Ecology and Conservation* hizo una llamada a la comunidad científica para el envío de propuestas afines, con objeto de sensibilizar a estudiantes y profesionales y demostrar el uso responsable de RPAS. Es de esperar que del resultado de este llamamiento se produzca un aumento significativo de la literatura científica en este ámbito. Por otro lado, es remarcable la mayor presencia de portales en internet que centran su actividad en torno a las aplicaciones con RPAS. En el campo de la investigación aplicada en conservación <http://conservationdrones.org/> es uno de los sitios de referencia. Sus objetivos se enmarcan en la facilitación del uso y desarrollo de RPAS en actividades conservacionistas. En su web se pueden consultar casos de usos recientes cuyos resultados, dado el caracter pionero de estos estudios, no siempre aparecen reflejados en artículos científicos. Dentro de las aplicaciones de los RPAS con caracter general destaca la comunidad online <http://diydrones.com/>, en la que tiene gran acogida el uso de plataformas abiertas, de gran popularidad frente a los tradicionales sistemas cerrados promovidos por compañias comerciales del sector. Esto ha dado como resultado la reducción de los costes de estos equipos, junto con el software asociado, permitiendo acercar la tecnología disponible a un mayor número de usuarios y organizaciones. Estas plataformas abiertas tienen la ventaja adicional de tener un mayor grado de personalización de los equipos. El incremento en la flexibilidad en el montaje de diferentes sensores y sistemas de control permite atender a las necesidades específicas de cada proyecto, dentro del propio grupo de investigación (Koh and Wich 2012).

A partir de las fuentes consultadas ha sido posible determinar el estado actual de los RPAS y las tendencias futuras en contraposición a las técnicas tradicionales de apoyo a la conservación en espacios naturales protegidos, tanto en su vertiente científica como conservacionista. En este sentido, las limitaciones desde el punto de vista financiero y tecnológico de la teledetección, por la cual se obtienen imágenes de la superficie terrestre a partir de sensores instalados en plataformas aéreas o espaciales, son descritas por diversos autores (Koh and Wich 2012). Si bien es posible adquirir imágenes satelitales a bajo coste o prácticamente nulo (LandSat, MODIS, Sentinel, etc.), la mayor parte de estas plataformas operan a escala global o regional. La limitada resolución espacial y temporal, junto con los problemas de presencia de nubes especialmente acusados en zonas tropicales, reduce la viabilidad de la teledetección en la recolección de datos a escala suficientemente detallada para hacer frente a los requerimientos de estudios ecológicos a nivel de hábitat, especies o poblaciones (Wulder et al. 2004). Además, el gran tamaño de estas áreas protegidas reducen en muchos casos la efectividad y aumenta significativamente los costes de los trabajos de campo, mientras que aumenta los riesgos en zonas especialmente inaccesibles, por lo que los RPAS se han posicionado como un complemento adecuado para las actividades de conservación (Zahawi et al. 2015). En paises en vías de desarrollo, especialmente sensibles en cuanto a dotaciones presupuestarias, se han desarrollado con gran éxito programas de monitoreo y vigilancia a partir del uso del RPAS, eliminando los inconvenientes descritos con anterioridad. Los vehículos aéreos tripulados ofrecen en principio una mejor alternativa en la captura imágenes de la superficie terrestre, sin embargo su uso no está justificado en estudios a escala local, debido a costes operacionales excesivamente altos. Por otro lado, el riesgo de sufrir accidentes aéreos es mayor, situándose como primera causa de mortandad en especialistas en vida silvestre en los Estados Unidos (Sasse 2003).

Con objeto de reducir el impacto de los drones en estudios de fauna , algunos experimentos analizan la respuesta de aves frente a RPAS (Vas et al. 2015). Otros ensayos se centran en mamíferos y miden el estreś fisiológico y posibles cambios en la etología frente a vuelos realizados con RPAS (Ditmer et al. 2015). Fruto de los resultados obtenidos, se están comenzando a documentar manuales de buenas prácticas y recomendaciones con objeto de reducir el impacto negativo en el bienestar y evitar perturbaciones en los patrones de comportamiento de las especies.

Finalmente, algunos autores señalan la necesidad de mejorar el marco regulatorio respecto al uso civil de los RPAS (Nugraha, Jeyakodi, and Mahem 2016). En los Estados Unidos y en la mayoría de los paises de Europa consultados, se han adoptado leyes provisionales que en cierta medida equiparan el manejo de los RPAS con el de aeronaves tradicionales. Este tipo de restricciones podría limitar las posibilidades de uso de los RPAS en el ámbito de la conservación, por lo que se hace patente la necesidad urgente de armonizar la legislación en relación a este tipo de actividades. En términos generales, la situación en America Latina es desigual, con algunos paises que siguen sin desarrollar leyes específicas para hacer frente al auge de los RPAS tanto en el sector civil como militar (Agencia EFE 2013). Africa es uno de los continentes donde el impacto de los drones en conservación ha tenido mayor repercusión. Sin embargo, según la opinión de algunos conservacionistas, su uso no ha estado exento de problemas, dando como resultado gobiernos que han prohibido total o parcialmente la operación con drones, argumentando problemas de seguridad nacional en detrimento de la protección de los espacios naturales protegidos (Andrews 2014). La incertidumbre de los usuarios ha promovido el desarrollo de asociaciones con objeto de asesorar sobre los aspectos legales a tener en cuenta durante la operación. En España, la Asociación Española de Drones y Afines <https://www.aedron.com> promueve un uso consciente y responsable de los RPAS y organiza seminarios para informar a los socios sobre temas de interés. En su web se puede consultar el borrador de la nueva normativa que regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto en España (AEDRON 2017). A nivel global han surgido otras iniciativas, siendo la Asociación Internacional para Sistemas de Vehículos No Tripulados (AUVSI) <http://www.auvsi.org> la organización sin fines de lucro más grande del mundo dedicada al avance de la comunidad de usuarios de sistemas aéreos no tripulados.

# Métodos

Para alcanzar los objetivos propuestos se procedió a la revisión bibliográfica de artículos, literatura gris, tesis de postgrado, sitios web y revistas especializadas, siguiendo una línea similar a otros estudios realizados con anterioridad J. Linchant et al. (2015), (Christie et al. 2016) Mediante artículos seleccionados para el curso de Experto Universitario en Vehículos Aéreos no Tripulados y sus Aplicaciones Civiles organizado por la Universidad de Cádiz en su edición de 2016-2017, junto con herramientas como Google Schoolar, ResearchGate y Mendeley Desktop se obtuvo la mayor parte de la bibliografía seleccionada, mientras que el uso de los motores de búsqueda por internet incluyeron el resto de materiales mencionados. Los principales criterios de búsqueda por palabras claves incluyeron los vehículos aéreos no tripulados en sus diversas acepciones y acrónimos (RPAS, UAV, drones, etc.), junto con una variedad de términos que hacen referencia a áreas naturales protegidas, fundamentalmente en inglés. Dicha actividad tuvo lugar hasta el mes de Abril, 2017.

La información recolectada se categorizó según el propósito de aplicación de los RPAS en relación directa o indirecta con la conservación en espacios protegidos. La mayoría de las fuentes analizadas se centran en proyectos de conservación a escala local y estudios de viabilidad de los RPAS en la caracterización de poblaciones y comunidades de vida silvestre, especialmente en estudios de distribución y abundancia. La literatura comienza a ser igualmente prolífica en actividades de monitoreo y mapeo en ecosistemas terrestres y acuáticos, nicho actualmente ocupado por las plataformas aéreas y espaciales de teledetección ambiental. A pesar de la dificultad de encontrar artículos dedicados al uso de RPAS en el control y vigilancia de áreas protegidas, es uno de los temas que mayor debate social genera y no es extraño encontrar iniciativas gubernamentales o promovidas por organizaciones ambientales en la lucha contra la caza y pesca furtiva. Adicionalmente se revisan algunos aspectos de calado social recogidos en los materiales seleccionados y que son motivo de controversia, con especial referencia a la privacidad de las personas y el bienestar de las especies estudiadas, las implicaciones éticas y legales y la repercusión en la efectividad de los RPAS en la conservación a largo plazo. En cualquier caso, dado el carácter multidisciplinar y multipropósito de estos estudios existe cierto solape entre los objetivos marcados dentro de cada proyecto, por lo que se ha tenido en cuenta aquellos objetivos que mayor peso tienen en el contexto de la investigación.

La información seleccionada se presenta en formato tabular, identificando los paises implicados, el propósito principal de cada estudio, junto con las técnicas y materiales empleados, haciendo referencia explicita al tipo de aplicación y plataformas de vuelo, tanto de ala fija como de pala rotatoria. Finalmente se discuten los posibles escenarios que presentan los RPAS como herramientas fundamentales para contribuir a la consecución de los planes de conservación en espacios protegidos, destacando algunas tendencias y oportunidades que aún no han sido convenientemente explotadas.

# Discusión

En discusión comenta el resultado de esa tabla y los porqués (ej se usan más multicópteros que fixed por...) y las limitaciones que señalan los usuarios o conflictos que hayan podido encontrar (con el parque, técnicos etc).

## Estudios de fauna y vida silvestre

Uno de los temas centrales de la ecología es el desarrollo de modelos geoestadísticos de distribución de especies que permiten inferir el hábitat potencial o idóneo de los organismos a partir de la recolección de información ambiental y datos de presencia procedentes de diversas fuentes (Mateo, Felicísimo, and Muñoz 2011). La radiotelemetría es uno de los métodos más comunes para la recolección de datos de movimiento en individuos marcados con geolocalizadores. Algunos estudios comparan el uso de RPAS frente a estos sistemas (Pázmány Mulero 2015), (Mulero-Pázmány et al. 2015) en animales de gran tamaño y fácilmente identificables mediante imágenes aéreas de alta resolución, obteniendo resultados similares en cuanto al rendimiento de los modelos pero con diferencias notables en cuanto a costes derivados de la compra de los equipos y gastos de logística, favoreciendo en este caso a los RPAS. Las limitaciones financieras también afectan al tamaño del muestreo con el uso de geolocalizadores, con el riesgo añadido de marcar individuos bajo criterios no aleatorios, si bien se remarca la ventaja de estos sistemas en cuanto a su capacidad para generar grandes volumenes de datos en un periodo de tiempo mayor. En cuanto a la exactitud posicional, los RPAS tienen un error máximo entre 1 y 3 metros, mientras que los errores del GPS pueden ser mayores a 20 metros. En cualquier caso los autores remarcan que ambas metodologías tienen potencial para complementarse a lo largo de todas las fases del estudio. Otras técnicas innovadoras han sido recientemente ilustradas en artículos cientificos que evaluan la viabilidad del uso combinado de radiolocalizadores en RPAS en la búsqueda de individuos marcados con radio collares VHF (Körner et al. 2010), (Bayram et al. 2016), (Cliff et al. 2015), (Leonardo et al. 2013).

En determinados casos, frente a las dificultades para detectar directamente a la especie de interés, los estudios se enfocan en la localización y caracterización de sus áreas de cría y nidificación (Andel et al. 2015). En áreas protegidas de gran extensión se han ensayado con éxito el conteo de grandes mamíferos terrestres , no habiéndose registrado reacciones adversas en vuelos realizados a cierta altura (Jain 2013). La estimación de poblaciones de mamíferos en ecosistemas marinos también ha sido documentado con resultados positivos (A. Hodgson, Kelly, and Peel 2013), mientras que en el apartado de aves se han usado para estudiar las dinámicas poblacionales en colonias (Sardà-Palomera et al. 2012). La utilidad de estos sistemas también queda manifiesta en la inspección y caracterización de nidos de aves en zonas de dificil acceso (Weissensteiner, Poelstra, and Wolf 2015), permitiendo evaluar el estado en el que se encuentran de forma menos intrusiva.

Dada la masiva cantidad de información que generada, no es de extrañar que se hayan aplicado métodos desarrollados en el campo de la visión computerizada, dirigidos al conteo automático de individuos capturados en las escenas adquiridas por los sensores fotográficos (Lhoest et al. 2015),(Abd-Elrahman, Pearlstine, and Percival 2005), (Gemert et al. 2015). Esto conlleva una reducción de los costes respecto al conteo manual de las escenas adquiridas, con la ventaja adicional de no estar sujetos en mayor o menor medida a la interpretación del especialista. En este sentido, los métodos de observación directa desde vehículos aéreos tripulados también representan desventajas con respecto a la toma de imágenes aéreas, puesto que necesitan un mayor número de observadores que garantizen un conteo exahustivo de las poblaciones para evitar errores en la estimación. Fuera de la literatura científica, existen proyectos para el monitoreo de la fauna tanto en ecosistemas marinos como terrestres. A partir de la información recopilada en la comunidad online <https://conservationdrones.org> se han identificado varios estudios relacionados con el registro de individuos en poblaciones situadas en áreas protegidas o frecuentemente visitadas por especies sujetas a alguna figura de amenaza, siendo la mayoría de estos proyectos respaldados por organizaciones no gubernamentales y centros de investigación. Por ejemplo, un estudio realizado en la cuenca del Amazonas en Brasil está experimentando el uso de drones para mejorar la estimación de la densidad y abundancia de diferentes especies de delfines, comparándolo con la observación directa realizada por especialistas (S. Wich 2017). Dentro de los objetivos de la investigación se contempla la validación y armonización de ambas metodologías y de forma indirecta, evaluar la viabilidad para su aplicación regular en proyectos de monitoreo con similar propósito, teniendo en cuenta el coste-beneficio de la ejecución.

## Evaluación de infraestructuras y riesgo

Otros trabajos resaltan la utilidad de los RPAS en la evaluación del riesgo de infraestructuras humanas y la puesta en marcha de medidas preventivas frente a especies de aves que nidifican en postes de líneas eléctricas de alta tensión, haciéndolas especialmente vulnerables a colisiones y electrocutamiento. Para la ejecución de trabajos de precisión donde la estabilidad, maniobrabilidad y el detalle en la identificación es esencial (Lobermeier et al. 2015) el uso de multirotores es recomendado, mientras que en evaluaciones de estructuras lineales de gran extensión en los que el costo y tiempo de vuelo es determinante en contraposición a la resolución espacial, los vehículos de ala fija ofrecen mejores ventajas (Mulero-Pázmány, Negro, and Ferrer 2014), (Zhang et al. 2016).

Si bien estos estudios no están dirigidos exclusivamente a áreas protegidas, podrían resultan de especial interés en zonas aledañas de amortiguamiento, donde el desarrollo antrópico puede generar situaciones de conflicto con la fauna circundante. Por ejemplo, se sabe que hay ciertas especies de aves que nidifican en el suelo, especialmente en zonas de cultivo de cereal. Como actividad previa a la cosecha, realizada generalmente bajo procedimientos mecánicos, se podría realizar un sobrevuelo para identificar posibles nidos, y en su caso, tomar las medidas adecuadas para evitar su destrucción.

## Monitoreo y mapeo de ecosistemas terrestres y acuáticos

Durante las últimas decadas el auge de los sensores remotos a bordo de plataformas aéreas o espaciales ha desencadenado un aumento de las aplicaciones para el estudio de los ecosistemas (Wulder et al. 2004). Los datos obtenidos han permitido desarrollar mapas de cobertura vegetal y suelos, caracterizar hábitats, mejorar la compresión de la estructura y función de las masas forestales, desarrollar modelos digitales de elevaciones o levantar cartas geomorfológicas de aplicación en el modelamiento de distribución de especies. El advenimiento de los RPAS ha propiciado el análisis cuantitativo de hábitats a un nivel de detalle que no ha sido posible hasta ahora, bien por motivos económicos o por limitaciones propias de la ingeniería. Este impulso ha sido especialmente notable con el desarrollo paralelo de sensores multiespectrales e hiperespectrales adaptados a aeronaves de pequeño tamaño, cuyo precio se espera disminuya según las tendencias del sector tecnológico . Dentro de las actividades del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) se han operado vuelos con objeto de clasificar la cobertura vegetal en humedales (USGS 2014). Otros estudios monitorean la distribución de especies invasoras bajo diferentes condiciones de vuelo y cobertura vegetal (Perroy, Sullivan, and Stephenson 2017), mientras que la caracterización de masas forestales constituye un importante apartado dado el número de artículos que abordan el problema desde diferentes perspectivas. (Gini et al. 2012) emplea un modelo de cuadrocóptero y cámaras en RGB y NIR a baja altura en áreas de pequeña extensión. Debido a la reducida fiabilidad y autonomía de la plataforma y las dificultades para aumentar la capacidad de carga, la planificación del vuelo se ve reducida a tres pasadas con un porcentaje del 80% y 30% de solape longitudinal y transversal respectivamente.(Lisein et al. 2015) realiza un análisis multitemporal de la respuesta espectral frente a variaciones en la fenología en diferentes especies de árboles de hoja caduca y concluye que la variación espectral intraespecífica es de máximo interés para la optimización de los algoritmos de clasificación y discriminación entre especies. En su investigación, opera un modelo de RPAS de ala fija, utiliza diferentes sensores en el rango visible e infrarrojo cercano y optimiza los parámetros de vuelo con objeto de cubrir la máxima superficie con el menor número de vuelos posible. (Zahawi et al. 2015) aplica la metodología *Ecosynth*, un conjunto de herramientas para cartografiar y medir la vegetación en 3D utilizando cámaras digitales y software de visión artificial de código abierto, con objeto de evaluar la eficacia de las acciones de restauración en bosques tropicales mediante RPAS, como alternativa viable para las medidas de campo tradicionales y aplica diferentes modelos predictivos de presencia de pájaros frugívoros a partir de los datos de altura y estructura del dosel vegetal.

## Vigilancia y apoyo para el cumplimiento de las leyes en áreas protegidas

Los RPAS también tienen especial proyección en el control y vigilancia de áreas protegidas. Así lo demuestran diferentes experiencias enfocadas principalmente en el control de la caza y pesca furtiva. Este tipo de estudios se caracteriza por dar una mayor importancia a la mejora de los sistemas de visión en primera persona (FPV) con objeto de obtener una panorámica en tiempo real de la zona monitoreada, el uso de RPAS de ala fija cuya mayor autonomía frente a los multirrotores permite cubrir una mayor extensión, la necesidad de utilizar cámaras térmicas en condiciones de baja visibilidad, usualmente relacionadas con horas de mayor actividad furtiva, junto con avances en los sistemas de visión computerizada programados para detectar la presencia de humanos y especies sometidas a la presión de comercio ilegal en áreas protegidas. (Mulero-Pázmány et al. 2014) se enfocan en el rinoceronte africano y constatan las ventajas del video en tiempo real frente a la toma de fotografías, que necesitan un mayor tiempo de postprocesamiento. Adicionalmente recalcan la necesidad de mejorar la resolución de las sensores térmicos para aumentar las posibilidades de detectar actividades sospechosas en horas nocturnas. Entre las dificultades encontradas se incluyen la falta de una regulación específica para actividades con RPAS que permitan operar más allá del campo visual, los incovenientes derivados de la escala de trabajo en grandes extensiones de terreno, las condiciones atmosféricas adversas que afectan a la capacidad de volar de los RPAS y los posibles efectos negativos sobre la fauna, como ejemplos de alguno de los retos que van a determinar la capacidad de integrar los RPAS en actividades de control y vigilancia. (Duffy 2014) analiza las consecuencias de la militarización de las prácticas de conservación, como tendencia cada vez mayor en áreas naturales protegidas de todo el mundo e ilustra el uso de RPAS a través de varios ejemplos. Respecto a zonas costeras, una búsqueda rápida por internet permite recoger diversas iniciativas que tratan de optimizar las labores de control de la pesca furtiva mediante RPAS. Sin embargo no hemos podido constatar estudios científicos que avalen tales iniciativas, por lo que se abre una vía interesante para su investigación. Por ilustrar algunos de los numerosos ejemplos, en Belize se realizó un estudio pionero para el monitoreo de pesquerías mediante un modelo de ala fija Skywalker. El Gobierno de Canarias está considerando el uso de RPAS en labores de control e inspección en zonas de dificil acceso para hacer frente al furtivismo (EFE 2017) . Finalmente <http://soarocean.org/> es una iniciativa de *National Geographic* y *Lindblad Expedition* para el uso de drones de bajo coste en la protección de los océanos y es un buen punto de partida para buscar aplicaciones pioneras en este ámbito.

## Ecoturismo

El amplio abanico de posibilidades que ofrece la aplicación de los RPAS en la industria ecoturística queda resumido en un artículo reciente, en el que se exponen posibles actividades recreativas, oportunidades de negocio, operaciones de búsqueda y rescate, mapeo y fórmulas para la concesión de operaciones con RPAS en áreas designadas para tal fin (King 2014). Dentro de la aún escasa literatura, (Hansen 2016) valora la eficacia de los RPAS en el monitoreo de visitantes en áreas marinas y costeras, en combinación con otras soluciones innovadoras. Según el autor los RPAS permitirían teóricamente operar bajo diferentes condiciones ambientales, mejorando el nivel de detalle y ofreciendo una cobertura continua en el flujo y comportamiento de los visitantes , en contraposición a otras técnicas de uso habitual como la observación manual o la instalación de redes de cámaras de vigilancia. La implementación de este tipo de soluciones estaría sujeta a ciertas consideraciones. Por ejemplo, aún no está claro si el ruido o la presencia notable de RPAS en áreas naturales podría afectar negativamente la experiencia del turista o pertubar significativamente a la fauna. Para que la industria ecoturística pudiera beneficiarse de los RPAS, sería necesario mejorar nuestro conocimiento sobre estas cuestiones planteadas y abordar las implicaciones éticas y legales derivadas de su uso.

## Impacto de los RPAS en la fauna silvestre

La priorización del bienestar del animal debe ser incluida en las aplicaciones de RPAS, estableciendo unos principios éticos que complementen los estándares vigentes en materia de investigación y conservación. (Vas et al. 2015) obtienen resultados prometedores de relevancia en estudios ornitológicos, valorando el impacto del color, la velocidad y el ángulo de vuelo en las respuestas de comportamiento de aves lacustres frente a la aproximación de multirrotores, siendo este último factor el principal desencadenante de cambios en los patrones de comportamiento, especialmente en aproximaciones desde la vertical, a un ángulo de 90º. Finalmente concluyen con una serie de recomendaciones básicas y consideran recomendable extender los ensayos a una amplia gama de RPAS y especies. (Ditmer et al. 2015) mide el estrés fisiológico en el oso negro americano mediante el registro electrónico de la actividad cardíaca en presencia de RPAS. Si bien no registran cambios en los patrones de comportamiento, el aumento de los latidos por minuto (bmp) es significativo en la mayoría de los casos observados. Ante la falta de experiencias que aborden de manera explícita el fenómeno, (J. C. Hodgson and Koh 2016) concluyen con una serie de recomendaciones generales como base para un código de buenas prácticas, destacando la adopción del principio de precaución y respeto a las normas de aviación civil, el entrenamiento específico de los operadores, la selección apropiada de los equipos, el cese de las operaciones en caso de generar perturbaciones evidentes en las poblaciones estudiadas y el reporte de las observaciones en publicaciones científicas, que permita compartir el conocimiento con vistas a una mejora progresiva en los protocolos de operaciones con RPAS.

(Ditmer et al. 2015)

# Conclusiones

La consolidación de los RPAS como herramientas de gestión e investigación en áreas naturales protegidas van a depender en gran medida del desarrollo tecnológico de los elementos asociados a la plataforma y el establecimiento de medidas que regulen favorablemente su uso, aumentando las oportunidades en el sector y estimulando la innovación en áreas de interés para la conservación. En el primer caso, se esperan mejoras en el control y navegación, incrementos en la autonomía de vuelo, sensores más pequeños, de mayor resolución y menor costes, sistemas más silenciosos de gran importancia en estudios de fauna, junto con avances en el campo de la inteligencia artificial, que prometen destapar el verdadero potencial de los RPAS. Respecto al marco regulatorio, resulta dificil preveer las medidas legislativas que cada país va a adoptar y por tanto la repercusión en la eficacia de estos instrumentos en áreas protegidas.

La revisión de la literatura sugiere que aún quedan ciertos nichos que necesitan de mayor atención por parte de la comunidad. A pesar de surgimiento de algunas iniciativas, aún no está claro el impacto de los RPAS sobre la fauna, por lo que sería necesario contar con experiencias que abarcaran un mayor número de especies y permitieran adoptar un conjunto de buenas prácticas y recomendaciones para el desarrollo de RPAS específicos para este tipo de estudios.

Abd-Elrahman, Amr, Leonard Pearlstine, and Franklin Percival. 2005. “Development of Pattern Recognition Algorithm for Automatic Bird ...” *Surveying and Land Information Science* 65 (1): 37.

AEDRON, Asociación Española de Drones y Afines. 2017. “*Borrador de La Nueva Normativa (Pendiente Aprobación Y Publicación)*.”

Agencia EFE, La Nación. 2013. “*CIDH Alerta Del Creciente Uso de ’Drones’ En América Latina*.”

Andel, Alexander C. van, Serge A. Wich, Christophe Boesch, Lian Pin Koh, Martha M. Robbins, Joseph Kelly, and Hjalmar S. Kuehl. 2015. “Locating chimpanzee nests and identifying fruiting trees with an unmanned aerial vehicle.” *American Journal of Primatology* 77 (10): 1122–34. doi:[10.1002/ajp.22446](https://doi.org/10.1002/ajp.22446).

Andrews, C. 2014. “*Wildlife Monitoring: Should Uav Drones Be Banned?*”

Barnosky, Anthony D, Nicholas Matzke, Susumu Tomiya, Guinevere O U Wogan, Brian Swartz, Tiago B Quental, Charles Marshall, et al. 2011. “Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived?” *Nature* 470 (7336). Nature Publishing Group: 51–57. doi:[10.1038/nature09678](https://doi.org/10.1038/nature09678).

Bayram, Haluk, Krishna Doddapaneni, Nikolaos Stefas, and Volkan Isler. 2016. “Active Localization of VHF Collared Animals with Aerial Robots,” no. 13: 74–75. doi:[10.1109/COASE.2016.7743503](https://doi.org/10.1109/COASE.2016.7743503).

Bravo, Xavier Lastra. 2008. “LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS. Concepto, evolución y situación actual en España.” 1–25.

Chape, S, J Harrison, M Spalding, and I Lysenko. 2005. “Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets.” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 360 (February 2005): 443–55. doi:[10.1098/rstb.2004.1592](https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1592).

Christie, Katherine S., Sophie L. Gilbert, Casey L. Brown, Michael Hatfield, and Leanne Hanson. 2016. “Unmanned aircraft systems in wildlife research: Current and future applications of a transformative technology.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 14 (5): 241–51. doi:[10.1002/fee.1281](https://doi.org/10.1002/fee.1281).

Cliff, Oliver M, Robert Fitch, Salah Sukkarieh, Debra L Saunders, and Robert Heinsohn. 2015. “Online Localization of Radio-Tagged Wildlife with an Autonomous Aerial Robot System.” *Robotics Science and Systems*, no. November 2016: 1–9. doi:[10.15607/RSS.2015.XI.042](https://doi.org/10.15607/RSS.2015.XI.042).

Ditmer, Mark A., John B. Vincent, Leland K. Werden, Jessie C. Tanner, Timothy G. Laske, Paul A. Iaizzo, David L. Garshelis, and John R. Fieberg. 2015. “Bears Show a Physiological but Limited Behavioral Response to Unmanned Aerial Vehicles.” *Current Biology* 25 (17). Elsevier Ltd: 2278–83. doi:[10.1016/j.cub.2015.07.024](https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.07.024).

Duffy, Rosaleen. 2014. “Waging a war to save biodiversity: The rise of militarized conservation.” *International Affairs* 90 (4): 819–34. doi:[10.1111/1468-2346.12142](https://doi.org/10.1111/1468-2346.12142).

EFE. 2017. “*Canarias Usará Drones Para Controlar La Pesca Furtiva Y Mejorar Su Inspección*.”

Forum, Policy. 2008. “Toward a Global Biodiversity Observing System,” no. April.

Gemert, Jan C. van, Camiel R. Verschoor, Pascal Mettes, Kitso Epema, Lian Pin Koh, and Serge Wich. 2015. “Nature conservation drones for automatic localization and counting of animals.” *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 8925: 255–70. doi:[10.1007/978-3-319-16178-5\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16178-5_17).

Gini, R., D. Passoni, L. Pinto, and G. Sona. 2012. “Aerial Images From an Uav System: 3D Modeling and Tree Species Classification in a Park Area.” *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XXXIX-B1 (September): 361–66. doi:[10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-361-2012](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-361-2012).

Hansen, Andreas Skriver. 2016. “Applying visitor monitoring methods in coastal and marine areas – some learnings and critical reflections from Sweden.” *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism* 2250 (June): 1–18. doi:[10.1080/15022250.2016.1155481](https://doi.org/10.1080/15022250.2016.1155481).

Hodgson, Amanda, Natalie Kelly, and David Peel. 2013. “Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying Marine Fauna: A dugong case study.” *PLoS ONE* 8 (11): 1–15. doi:[10.1371/journal.pone.0079556](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079556).

Hodgson, Jarrod C., and Lian Pin Koh. 2016. “Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research.” *Current Biology* 26 (10). doi:[10.1016/j.cub.2016.04.001](https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.04.001).

Jain, Mukesh. 2013. “Unmanned Aerial Survey of Elephants.” *PLoS ONE*. doi:[10.1371/ journal.pone.0054700](https://doi.org/10.1371/ journal.pone.0054700).

Juffe-Bignoli, Diego, Neil David Burgess, H Bingham, E M S Belle, M G De Lima, M Deguignet, B Bertzky, et al. 2014. “Protected planet report 2014.” *Cambridge, UK: UNEP-WCMC*. Citeseer.

King, Lisa M. 2014. “Will drones revolutionise ecotourism?” *Journal of Ecotourism* 13 (1): 85–92. doi:[10.1080/14724049.2014.948448](https://doi.org/10.1080/14724049.2014.948448).

Knight, Andrew T., and Richard M. Cowling. 2007. “Embracing opportunism in the selection of priority conservation areas.” *Conservation Biology* 21 (4): 1124–6. doi:[10.1111/j.1523-1739.2007.00690.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00690.x).

Koh, Lian Pin, and Serge A. Wich. 2012. “Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation.” *Tropical Conservation Science* 5 (2): 121–32. doi:[WOS:000310846600002](https://doi.org/WOS:000310846600002).

Körner, Fabian, Raphael Speck, Ali Haydar, and Salah Sukkarieh. 2010. “Autonomous Airborne Wildlife Tracking Using Radio Signal Strength,” 107–12.

Leonardo, Miguel, Austin Jensen, Calvin Coopmans, Mac McKee, and YangQuan Chen. 2013. “A Miniature Wildlife Tracking UAV Payload System using Acoustic Biotelemetry.” *Proc. of the ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, no. July 2015. doi:[10.1115/DETC2013-13267](https://doi.org/10.1115/DETC2013-13267).

Lhoest, S., J. Linchant, S. Quevauvillers, C. Vermeulen, and P. Lejeune. 2015. “How many hippos (Homhip): Algorithm for automatic counts of animals with infra-red thermal imagery from UAV.” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* 40 (3W3): 355–62. doi:[10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-355-2015](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-355-2015).

Linchant, Julie, Jonathan Lisein, Jean Semeki, Philippe Lejeune, and Cédric Vermeulen. 2015. “Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges.” *Mammal Review* 45 (4): 239–52. doi:[10.1111/mam.12046](https://doi.org/10.1111/mam.12046).

Lisein, Jonathan, Adrien Michez, Hugues Claessens, and Philippe Lejeune. 2015. “Discrimination of deciduous tree species from time series of unmanned aerial system imagery.” *PLoS ONE* 10 (11). doi:[10.1371/journal.pone.0141006](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141006).

Lobermeier, Scott, Matthew Moldenhauer, Christopher Peter, Luke Slominski, Richard Tedesco, Marcus Meer, James Dwyer, Richard Harness, and Andrew Stewart. 2015. “Mitigating avian collision with power lines: a proof of concept for installation of line markers via unmanned aerial vehicle.” *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 3 (4): 252–58. doi:[10.1139/juvs-2015-0009](https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0009).

Mascia, Michael B, and Sharon Pailler. 2011. “Protected area downgrading, downsizing, and degazettement (PADDD) and its conservation implications” 4 (Dowie 2009): 9–20. doi:[10.1111/j.1755-263X.2010.00147.x](https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00147.x).

Mateo, Rubén G., Ángel M. Felicísimo, and Jesús Muñoz. 2011. “Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética.” *Revista Chilena de Historia Natural*, 217–40. doi:[10.4067/S0716-078X2011000200008](https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008).

Mulero-Pázmány, Margarita, Jose Ángel Barasona, Pelayo Acevedo, Joaquín Vicente, and Juan José Negro. 2015. “Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies.” *Ecology and Evolution* 5 (21): 4808–18. doi:[10.1002/ece3.1744](https://doi.org/10.1002/ece3.1744).

Mulero-Pázmány, Margarita, Juan José Negro, and Miguel Ferrer. 2014. “A low cost way for assessing bird risk hazards in power lines: Fixed-wing small unmanned aircraft systems.” *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 02 (01): 5–15. doi:[10.1139/juvs-2013-0012](https://doi.org/10.1139/juvs-2013-0012).

Mulero-Pázmány, Margarita, Roel Stolper, L. D. Van Essen, Juan J. Negro, and Tyrell Sassen. 2014. “Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa.” *PLoS ONE* 9 (1): 1–10. doi:[10.1371/journal.pone.0083873](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083873).

Nugraha, Ridha Aditya, Deepika Jeyakodi, and Thitipon Mahem. 2016. “Urgency for Legal Framework on Drones : Lessons for Indonesia , India , and Thailand.” *Indonesian Law Review* 6 (2): 137–57.

Pázmány Mulero, Margarita. 2015. “Unmanned Aerial Systems in Conservation Biology.”

Pereira, Henrique Miguel, Simon Ferrier, Michele Walters, Gary N Geller, Rob H G Jongman, Robert J Scholes, Michael W Bruford, et al. 2013. “Essential biodiversity variables.” *Science* 339 (6117): 277–78. doi:[10.1126/science.1229931](https://doi.org/10.1126/science.1229931).

Perroy, Ryan L., Timo Sullivan, and Nathan Stephenson. 2017. “Assessing the impacts of canopy openness and flight parameters on detecting a sub-canopy tropical invasive plant using a small unmanned aerial system.” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 125. International Society for Photogrammetry; Remote Sensing, Inc. (ISPRS): 174–83. doi:[10.1016/j.isprsjprs.2017.01.018](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.018).

Sardà-Palomera, Francesc, Gerard Bota, Carlos Viñolo, Oriol Pallarés, Víctor Sazatornil, Lluís Brotons, Spartacus Gomáriz, and Francesc Sardà. 2012. “Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems.” *Ibis* 154 (1): 177–83. doi:[10.1111/j.1474-919X.2011.01177.x](https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2011.01177.x).

Sasse, D. Blake. 2003. “Job-related mortality of wildlife workers in the United States, 1937-2000.” *Wildlife Society Bulletin* 31 (4): 1000–1003.

USGS. 2014. “*US Geological Survey National Unmanned Aircraft Systems Project*.”

Vas, E., A. Lescroel, O. Duriez, G. Boguszewski, and D. Gremillet. 2015. “Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines.” *Biology Letters* 11 (2): 20140754–4. doi:[10.1098/rsbl.2014.0754](https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0754).

Weissensteiner, M H, J W Poelstra, and J B W Wolf. 2015. “Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: An effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species.” *Journal of Avian Biology* 46 (4): 425–30. doi:[10.1111/jav.00619](https://doi.org/10.1111/jav.00619).

Wich, S. 2017. “*Amazon River Dolphin Project*.”

Wulder, Michael A, Ronald J Hall, Nicholas C Coops, and Steven E Franklin. 2004. “High Spatial Resolution Remotely Sensed Data for Ecosystem Characterization” 54 (6): 511–21. doi:[10.1641/0006-3568(2004)054](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054).

WWF. 2016. *Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era.*

Zahawi, Rakan A., Jonathan P. Dandois, Karen D. Holl, Dana Nadwodny, J. Leighton Reid, and Erle C. Ellis. 2015. “Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery.” *Biological Conservation* 186 (June). Elsevier Ltd: 287–95. doi:[10.1016/j.biocon.2015.03.031](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.03.031).

Zhang, Yong, Xiuxiao Yuan, Yi Fang, and Shiyu Chen. 2016. “UAV Low Altitude Photogrammetry for Power Line Inspection,” no. August. doi:[10.20944/preprints201608.0048.v1](https://doi.org/10.20944/preprints201608.0048.v1).