
DRONES. APLICACIONES EN INGENIERÍA CIVIL Y GEOCIENCIAS

ROGER GONZÁLEZ HERRERA, JUAN PABLO UCÁN NAVARRETE, ISMAEL SÁNCHEZ Y PINTO, RUBÉN MEDINA ESCALANTE, FLOR ÁRCEGA CABRERA, CARLOS ZETINA MOGUEL Y RAFAEL CASARES SALAZAR

RESUMEN

El dron es un avión no tripulado, radio-controlado y recuperable; actualmente existe en una gran variedad de características, formas y tamaños en función del uso al que esté destinado. Tienen un gran potencial, ya que pueden desplazarse por zonas de alto riesgo y difícil acceso superando cualquier tipo de obstáculos, ofreciendo imágenes aéreas o recogiendo gran variedad de datos sin poner en peligro la vida de tripulación alguna. Equipados con una cámara de alta resolución u otro

tipo de sensores, cierran la brecha entre los laboriosos estudios de campo y la teledetección satelital. Con base en un estudio acerca del estado del arte de este instrumento aéreo no tripulado se presenta un análisis sobre su aplicación en el ámbito de la ingeniería y geociencias. El uso de los drones está extendiéndose cada vez más a diversas áreas de las Ciencias de la Tierra debido a su economía, precisión y bajos riesgos para el ser humano.

Introducción

roducidos originalmente en el entorno militar, los drones o vehículos aéreos no tripulados son cada vez más comunes en nuestra sociedad, usándose con

propósitos recreativos, académicos e industriales (Eid *et al.*, 2013). En poco tiempo estos aparatos tecnológicos han pasado de utilizarse solo como un arma en ataques militares a convertirse en un regalo de navidad para un niño. Un dron es casi todo lo que esté en el aire sin un piloto; un globo con un termómetro, un

multicopter con una cámara GoPro o un avión militar portador de misiles, son ejemplos de ellos. Son 'vehículos' que pueden adoptar diferentes formas y que, dependiendo del modelo, pueden ser dirigidos por control remoto o incluso volar de forma autónoma utilizando un GPS (Pike, 2013; Boucher, 2016).

PALABRAS CLAVE / Aplicaciones / Ciencias de la Tierra / Dron / Ingeniería / VANT /

Recibido: 27/04/2017. Modificado: 03/07/2019. Aceptado: 05/07/2019.

Roger González Herrera (Autor de correspondencia). Ingeniero Civil, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY, Méxicó. Maestría en Ciencias de la Tierra, University of Waterloo, Canadá. Doctorado en Ciencias, Aguas Subterráneas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesor Investigador, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Méxicó. Dirección: Grupo de Hidráulica e Hidrología, Facultad de Ingeniería, UADY. Av. Industrias no Contaminantes x Periférico Norte. Tablaje Catastral 12685, Mérida, Yucatán, Méxicó. e-mail: roger.gonzalez@correo.uady.mx

Juan Pablo Ucán Navarrete. Ingeniero Civil, Instituto Tecnológico de Mérida, Méxicó. e-mail: jpa_ucan9@hotmail.com

Ismael Sánchez y Pinto. Ingeniero Civil y Maestría en Ingeniería de los Recursos Hídricos en Zonas Áridas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Méxicó. Profesor Investigador, UADY, Méxicó. e-mail: sypinto@correo.uady.mx

Rubén Medina Esquivel. Ingeniero en Aeronáutica y Doctor en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Méxicó. Profesor Investigador, UADY, Méxicó. e-mail: ruben.medina@correo.uady.mx

Flor Árcega Cabrera. Oceanóloga, Universidad Autónoma de Baja California, Méxicó. Maestría en Ciencias en Ecología Marina, Universidad del Mar, Méxicó. Doctorado en Ciencias en Química Analítica, UNASM, Méxicó. Profesor Investigador, UNAM, Méxicó. e-mail: farcega@unam.mx

Carlos Zetina Moguel. Biólogo, Universidad Autónoma Metropolitana, Méxicó. Maestría en Biología Marina, CINVESTAV-IPN, Méxicó. Profesor, UADY, Méxicó. e-mail: zmoguel@correo.uady.mx

Rafael Casares Salazar. Ingeniero Civil con Maestría en Hidrología y Doctorado en Ciencias Marinas, CINVESTAV-IPN, Méxicó. Profesor Investigador, UADY, Méxicó. e-mail: rafael.casares@correo.uady.mx

El término genérico que se utiliza para denominar a estos aparatos tecnológicos es el de *vehículo aéreo no tripulado* (VANT) o *unmanned aerial vehicles* (UAV) en inglés. Técnicamente, los drones y los VANT/UAV son lo mismo, aeronaves no tripuladas; sin embargo, existen diferentes denominaciones para estos aparatos dependiendo de sus características o utilidades, siendo que en el mundo de los vehículos aéreos no tripulados se utilizan infinidad de siglas y palabras, lo cual lleva a la confusión y su incorrecto uso (Burgos y Salcedo, 2014; Watts *et al.*, 2012; Boucher, 2016; Griffin, 2014).

La autonomía de estos aparatos tecnológicos puede variar según la cantidad de combustible del que dispongan, pero en los modelos más pequeños las baterías pueden llegar a durar entre los 30 y 60min. Además van equipados con GPS y giroscopios de tal manera que muchos modelos, si detectan algún problema o pierden la señal con el operador, pueden regresar automáticamente a su base. El piloto maneja la nave a través de rutas y coordenadas que definen el trayecto, aunque en los modelos más sencillos se puede llegar a realizar esta labor a través de un joystick de radiocontrol (Escamilla, 2010).

Los dos tipos principales de aviones no tripulados son el multicopter y el de ala fija. Los 'multicopters' son capaces de mantenerse y volar a muy bajas altitudes y velocidades, siendo adecuados para aplicaciones tales como la fotografía aérea, las inspecciones de líneas eléctricas, la realización de videos aéreos y la fotografía detallada de objetos (Watts *et al.*, 2012). Los 'drones de ala fija' pueden volar a más altitud y sirven para aplicaciones de mayor alcance, tales como el levantamiento topográfico y la cartografía de grandes regiones, o el control de grandes infraestructuras como diques.

Con el paso del tiempo han ido y seguirán surgiendo diferentes aplicaciones para este tipo de aparatos. En la actualidad ya es posible visualizar las imágenes a tiempo real de los drones desde un Smartphone al mismo tiempo que se controla el aparato. El uso de aviones no tripulados para capturar datos de una imagen permite que las operaciones se planifiquen de manera flexible y rápida, lo que garantiza que los productos de dicha imagen estén disponibles en un tiempo relativamente prudente. Su altitud de vuelo es factible de manejar; de tal manera que los aviones pueden volar incluso bajo las nubes pesadas (Rakha y Gorodetsky, 2018).

Aplicaciones de los VANT's

El desarrollo tecnológico acelerado en el campo de la

aeronáutica ha hecho a estos aparatos más pequeños, más silenciosos, de vuelo más ágil, complejos y con cámaras tan nítidas como potentes. Debido a estos avances los drones pueden ser utilizados para ampliar la capacidad de observación o de intervención desde, o en, espacios inaccesibles o que simplemente ponen en riesgo la vida humana. Una de las características más significativa que ofrecen los drones es la capacidad de acceder a lugares donde el ser humano no puede llegar (Entrop y Vasenev, 2017; Rodrigues *et al.*, 2017).

En la actualidad los drones son utilizados para patrullar fronteras o por equipos de policías para vigilar una ciudad. Este hecho ha ocasionado un debate social que enfrenta diferentes opiniones a nivel mundial sobre la seguridad, la humanidad, la ética y la guerra (Sánchez, 2015; Boucher, 2016).

Unas de las aplicaciones más comunes en ingeniería civil es el uso de drones para realizar mediciones topográficas en zonas de difícil acceso. Las funciones de estos dispositivos en este tipo de actividades son principalmente dos. Por un lado, pueden fotografiar con gran calidad y detalle una zona determinada y por otro lado, existen muchos drones equipados con un láser que pueden llegar a realizar una descripción del terreno, a través de una nube de puntos que luego se pasa a un plano o a un mapa (Watts *et al.*, 2012; Piatti y Lerma, 2013; Lucieer *et al.*, 2014; Turner *et al.*, 2016).

Su uso con respecto al medioambiente demuestra que estos aparatos pueden garantizar la protección del mismo, no solo desde la vigilancia y el control sino también para combatir de forma activa la contaminación (Pellicer y Serón, 2002).

Además pueden registrar la evolución de la vegetación en áreas repobladas después de un incendio, el estudio de plantas en peligro de extinción o llevar a cabo el seguimiento de la fauna. La agricultura podría ser otro de los principales impulsores de drones para usos civiles, ya que permite el control y monitoreo del estado de cultivo mediante imágenes, así como para otras actividades relacionadas con el sector (Mesa e Izquierdo, 2015; Sánchez-Sastre *et al.*, 2016).

Es por ello que se puede afirmar que con estos dispositivos el ser humano es capaz de realizar innumerables tareas, tales como la ayuda de misiones de búsqueda y rescate, la revisión de líneas de alta tensión y aerogeneradores, comprobación del estado de los edificios, monumentos y otras estructuras,

control del estado de impacto de las obras, control de tráfico y fronteras, realización de fotografías turísticas en 360 grados, detección de bancos de atunes y grabación y emisión aérea de videos en tiempo real (Eid *et al.*, 2013; De Bruin y Booyens, 2015).

Las funciones anteriormente mencionadas y muchas otras se suman a las tecnologías que en la actualidad está ganando seguidores tanto en el área civil, como comercial y de entretenimiento (Rodríguez, 2015). Los VANT han funcionado para la rama de la ingeniería civil en inspecciones de infraestructuras (Dupont *et al.*, 2017), investigación atmosférica, levantamientos topográficos, filmación de películas y fotografía, eventos deportivos, cultivos de precisión, control de caza, localización de bancos de pesca, mantenimientos de parques eólicos e infraestructuras energéticas, control medioambiental, gestión de riegos y desastres naturales, exploración geológica-minera, etc. (Ramos y Montesinos, 2015; Seo *et al.*, 2018; Rakha y Gorodetsky, 2018).

Aplicaciones en cartografía y topografía

Como se ha mencionado, los drones se usan para el control de obra, control de acopio y para visionado de imagen aérea de 360°; principalmente para obtener topografía aérea mediante técnicas de fotogrametría. De esta manera se pueden estudiar obras en su fase de licitación, realizar cálculos de volúmenes y superficies en acopios, control de certificaciones, estudio de patologías como deslizamiento de taludes y realizar seguimientos.

El sector de la construcción siempre ha estado en la búsqueda de reducir sus costos para poder ganar licitaciones de obras; esto ha dado pauta a la inclusión de nuevas tecnologías como los drones; se ha investigado como combinar su uso aplicado a la captura de información periódica para el control y seguimiento de las obras civiles como carreteras y vías férreas (Sánchez, 2015; Rakha y Gorodetsky, 2018).

El uso de drones en la cartografía contribuye a la obtención de datos espaciales en un periodo corto de tiempo con una alta resolución espacial a un costo reducido; anteriormente todo dependía de la disponibilidad de los satélites, de aviones tripulados o de la cartografía realizada a pie. Con los datos obtenidos a partir de los sensores se pueden crear mapas catastrales mediante la digitalización de las orto fotografías geo referenciadas. Esta tarea se puede realizar con AutoCAD, ArcGIS o cualquier

cliente SIG (Morales, 2016). Hoy en día las aplicaciones de los drones para la cartografía son múltiples abarcando diversos campos del conocimiento como el medio ambiente, la agricultura, las actividades industriales, el urbanismo, etc. (Hassanalian y Abdelkefi, 2017).

Con la fotogrametría se pueden obtener modelos digitales en 3D de objetos y superficies, con secuencias de imágenes 2D e información de sensores de movimiento. Las imágenes resultantes de este proceso son analizadas por algoritmos computacionales que realizan una triangulación de los puntos superpuestos de las imágenes, usando su posición geográfica relativa (James *et al.*, 2017).

Cuando se utilizan drones para un levantamiento, cambia la forma de trabajar. No es necesario definir una serie de puntos a medir, se modela de una vez toda el área de trabajo, y más tarde los puntos necesarios se miden cómodamente en el modelo. Esto elimina el riesgo de tener que volver a hacer trabajo de campo si hacen falta nuevas medidas. Los topógrafos tradicionales también pueden complementar su trabajo con un modelo topográfico generado por un dron (Gonçalves y Henriques, 2015; Agüera-Vega *et al.*, 2017).

Aplicaciones en hidrología

Las imágenes de satélite se han utilizado en la gestión del agua durante décadas para realizar una variedad de tareas, tales como los inventarios de uso de la tierra o la cartografía de daños después de inundaciones. Hoy en día, los gestores del recurso hídrico utilizan esta información espacial para prevenir o cuantificar todo tipo de parámetros relacionados con el uso del agua, las sequías, las inundaciones, etc. Para muchas de estas aplicaciones, la teledetección satelital no resulta del todo óptima, ya que a menudo se ve obstaculizada por las nubes, unas resoluciones espaciales reducidas y una escasa frecuencia de paso. Por otro lado, la adquisición de los datos de campo está igualmente restringida por limitaciones de acceso o el elevado costo de las campañas o el instrumental de campo.

La tecnología desarrollada originalmente para actividades con clara vocación bélica está ahora lista para ser utilizada en aplicaciones civiles y de apoyo a la gestión de los recursos hídricos. Después de la hidrología isotópica y el uso de satélites y plataformas aerotransportadas, los llamados drones, o vehículos aéreos no tripulados, han llegado a la fase de ser rentables en el suministro

de información útil y actualizada sobre los recursos hídricos y la infraestructura hídrica.

Un buen ejemplo de cómo los drones pueden apoyar la gestión sostenible del agua y pueden tener un gran impacto es su uso en la vigilancia de los glaciares. Muchos glaciares se están reduciendo en superficie y tamaño como resultado del calentamiento global. Hay una clara necesidad de disponer de métodos precisos que puedan aplicarse con frecuencia con el fin de mejorar la comprensión de la compleja dinámica de estos sistemas. Tradicionalmente los glaciares son monitoreados utilizando técnicas de perforación y sondeos que son altamente costosos, o imágenes de satélite de alta resolución. Los drones pueden utilizarse para cartografiar la extensión de los glaciares con alta precisión utilizando un mosaico de imágenes de alta resolución (Leary, 2017). Esta información también proporciona importantes pistas sobre los cambios que se producen en la superficie de los glaciares, como lo son el desarrollo de los estanques, los acantilados de hielo, escombros y grietas. La aplicación de técnicas de superposición de imágenes (estereoscopia) sobre las fotografías adquiridas con drones, permite obtener modelos digitales de elevaciones muy precisos. El uso regular de drones en estos ambientes permite igualmente evaluar las tasas de sublimación (deshielo) de las masas glaciares. (Hunink, 2015; Lucieir *et al.*, 2014).

Aplicaciones en ecología

El correcto inventariado y seguimiento de los estados de las comunidades vegetales presentes en los ecosistemas naturales resulta crítico para la gestión óptima de las reservas naturales (Schofield *et al.* 2017). Para registrar los cambios sucesivos, los gestores de reservas naturales suelen hacer levantamientos cartográficos de la vegetación natural a intervalos regulares de entre tres y cinco años. Sin embargo, las reservas son a menudo inaccesibles y extensas, lo que requiere invertir mucho esfuerzo y tiempo, a elevados costos, para obtener aquella información a escala de paisaje. Los drones se están utilizando en varios países para controlar la vegetación natural con base a la información en el espectro óptico e infrarrojo, con resoluciones espaciales de hasta 5cm (Zarco-Tejada *et al.*, 2014). Los drones también proporcionan mapas de elevación de alta resolución para conocer la altura estructural, la rugosidad de la vegetación y producir una clasificación de la vegetación muy detallada. También se están utilizando ya los

drones para vigilar el estado de la sequía en los bosques y áreas naturales de cara a la prevención de incendios (Ogden, 2013; Cruzan *et al.*, 2016).

Ventajas al utilizar VANT's

Los drones y sus características permiten cubrir las necesidades en el control de la obra recogiendo bondades tanto de la topografía clásica como de la fotogrametría, reduciendo considerablemente sus inconvenientes. Según Campo-Molinuevo (2015) los drones, la integración de los sensores adecuados y el diseño de la metodología de captura correspondiente permiten:

Obtener datos muy precisos o no tantos datos: El juego de alturas de vuelo y precisiones de los sensores embarcados permite equilibrar la precisión del dato adquirido y así adaptarlo a las necesidades reales del proyecto.

Realizar vuelos repetitivos: Se pueden hacer tomas de datos recurrentes puesto que sus costos no se van a incrementar. Esto a su vez permite tener datos sistemáticos de toda la obra en series temporales.

Procesar solamente lo necesario: Al realizar la toma de datos sistemáticos de toda la obra se procesan, en cada caso, los datos que se requieran teniendo la posibilidad de transformar en información los datos almacenados.

Evitar pérdidas: Para posteriores tratamientos. Trazabilidad completa de la obra.

Control visual: Aquí aparece un valor añadido; los mismos datos de toma geométrica posibilitan el análisis global de la obra de forma visual ya sea con fotografías panorámicas sin carácter métrico como con ortofotografías.

Obtener datos continuos: Al tratarse de un método de toma de datos masivos, como lo es fotogrametría, no se tienen datos discretos no interpolados. Son datos homogéneos tanto en calidad como en cantidad.

Minimizar costos: Tanto los instrumentos de medición así como las licencias de cálculo tienen costos reducidos.

Posibilidad de gestión interna: La planificación, el vuelo y el proceso de datos pueden realizarse por un solo operador.

La inclusión de los drones en obra permite hacer de forma sistemática, precisa, rápida y económica el seguimiento de las obras, ya sea con carácter métrico para realización de certificaciones y proyectos, o como para

seguimiento visual del proceso constructivo mediante la realización de vuelos regulares que permitan tener una vista global de la obra a lo largo de toda la línea temporal de la misma para su análisis. La unificación de los datos en cuanto a calidad, homogeneidad temporal y capacidad de procesamiento y análisis en series temporales, hace de los drones una herramienta muy apropiada para el control de las obras y el análisis del impacto en las mismas (ATyges, 2014).

La variedad de aplicaciones de drones en las obras se amplía considerablemente en el momento que se empieza a trabajar con otro tipo de sensores. Como ejemplos de ello se tiene: 1) Análisis de impacto ambiental en la obra: En el entorno de afectación de la obra se puede analizar el estado de la deforestación de forma recurrente para analizar si se ha visto afectada o no por la actividad constructiva. Del mismo modo se pueden detectar vertidos de contaminantes, voluntarios o no, que puedan darse a lo largo del proceso de explotación en arroyos, lagos, etc. 2) Análisis del estado de materiales: Los materiales constructivos pueden sufrir degradaciones y efectos de origen provocados por la interacción con el medio ambiente a lo largo de su vida útil. Estos cambios producen diferencias en la oposición de los materiales a una iluminación dada. Mediante el juego de filtros de distintas longitudes de onda se pueden llegar a aislar e identificar estos fenómenos, lo que a simple vista difícilmente se podría lograr.

Los drones presentan ventajas que los han convertido en firmes apuestas a sustituir o complementar la actividad del ser humano en multitud de ámbitos. En la mayoría de los casos la ventaja principal es la flexibilidad de uso del recurso que representa el vehículo y la reducción del riesgo para la vida humana; en otras aplicaciones, a estas ventajas se suma la simplicidad de uso y la reducción de costos respecto a otras soluciones posibles (Green *et al.*, 2019). Adicionalmente se obtiene (Zcopters, 2015):

Seguridad. No es necesario que el operario lleve personalmente la estación a lugares arriesgados.

Mayor cobertura. Algunos puntos son sencillamente inaccesibles para las personas. Un saliente en medio de un acantilado o un claro rodeado de árboles no son problema para un dron.

Más información. Un levantamiento tradicional consigue determinar una serie de puntos que sirven para crear un plano preciso. El levantamiento topográfico de un dron captura a la vez millones de

puntos y le añade además la información de color de las fotografías, con lo que consigue nubes de puntos de alta resolución que muestran la apariencia real del terreno.

Existe un gran potencial para la manufactura de drones y en la actualidad se tiene una capacidad muy grande en electrónica avanzada. De igual manera se está presentando un cambio generacional enorme; los drones tendrán que adaptarse a nuevas aplicaciones. Hoy en día se espera que un dron realice diversas funciones, por lo que el mercado de vehículos aéreos no tripulados crece como la espuma y se exigen cada vez más innovaciones.

Los expertos aseguran que el negocio de esta tecnología incipiente tardará pocos años en madurar; como se ha mencionado, se está utilizando para cartografiar, fotografía profesional, en medios de comunicación y en vigilancia de eventos masivos. Los drones se aplican en diferentes áreas, desde la seguridad pública que se lleva a cabo para la inspección y monitoreo en lugares en los que se realizan eventos masivos como carnavales y ferias populares, hasta la inspección de luminarias, de fuentes de energía y alta tensión (Robles, 2015). También se emplean para fotografía y video, en conciertos y en construcción; otros que la emplean son peritos y periodistas.

En las universidades y centros de investigación los drones juegan un papel importante, ya que llevan la robótica y programación un paso adelante.

Los drones participan en proyectos de agricultura, ganadería y pesca, donde las famosas cámaras IR multispectrales montadas en un equipo permiten la comparación entre las diferentes zonas del suelo examinado para ayudar a la selección de los lugares para la siembra.

Actualmente los drones y sus servicios son usados por empresas para sus actividades propias, y también para ofertar servicios a externos.

La apertura para volar los drones es amplia; solo existen restricciones para no hacerlo en aeropuertos. De hecho, en el monitor del mismo equipo los operadores pueden visualizar las zonas rojas de prohibición.

Con el uso de drones se dará un paso en materia de recaudación, pues no se descarta el uso de estos equipos para la captura y reproducción de las tomas de registro de predial y catastro. Los drones recolectarían la imagen de manera tridimensional por medio de una cámara que se encuentra en la parte superior; el equipo podría capturar varios polígonos municipales, lo que además serviría para hacer actualizaciones constantes en el

servicio. Autoridades municipales consideran que sería conveniente invertir una buena cantidad de dinero en la adquisición de un dron, en lugar de pagar la contratación de un vuelo aéreo; la idea es optimizar recursos gestionando una nueva propuesta de inversión de acuerdo con un estudio y compararla con la propuesta de un proveedor de dicha tecnología (Robles, 2015).

Conclusiones

Si bien los drones son sistemas que se están volviendo muy populares en los últimos tiempos y su inclusión en cualquier proyecto técnico puede ser muy atractiva, al menos debe cumplir alguno de los supuestos que se consideran para el uso de estos sistemas: que sea económicamente viable a los propósitos de la aplicación; que remplace métodos peligrosos para eliminar riesgos en la aplicación y que pueda colocarse un sensor en lugares inaccesibles.

Pensar que los drones son una herramienta útil y eficiente para obtener datos de áreas inaccesibles parecería lógico, por lo que limitar su uso para explorar y documentar elementos inaccesibles en el exterior y en interiores, como bóvedas o huecos, sería lo conducente. Entonces, la exploración y documentación de elementos más accesibles, en áreas abiertas, podría realizarse con el uso de otros medios y metodologías más desarrolladas; entre ellas están técnicas como la fotogrametría terrestre, los escáneres láser o incluso la topografía clásica, cuya precisión alcanzable puede ser mayor.

En algunas circunstancias, la combinación de metodologías generalmente da buenos resultados si se aplican de manera correcta tomando en consideración las precisiones alcanzables para los estudios que se lleven a cabo. El diseño de las exploraciones puede realizarse adaptando estas a diferentes propósitos según sea el caso; por ejemplo, vuelos para localizar problemas particulares utilizando diferentes sensores adaptados a los drones y para realizar fotogrametría para generar elementos bi o tri-dimensionales e inventarios visuales por medio de fotografías y videos de alta resolución.

El plan de vuelo debe elaborarse en función de la exploración que se pretenda desarrollar, las características del dron con sus accesorios adaptados a utilizar y la dificultad de acceso y los elementos en cuestión. Se requiere tener un conocimiento de la tecnología que se utilizará sin que esto implique eliminar o sustituir técnicas sacrificando operadores a un mínimo costo; se pueden combinar técnicas y métodos para obtener mejores resultados a bajo costo.

Así como es necesario tener un conocimiento a detalle del plan para la ejecución del vuelo, se requiere un amplio dominio del tema para el procesamiento e interpretación de los datos e información que se obtengan de las campañas exploratorias. Pueden presentarse múltiples aplicaciones con la obtención de resultados muy complejos; por lo tanto, es preponderante considerar las necesidades del estudio particular que se lleve a cabo.

Independientemente del tipo de dron que se trate, su aplicación se encuentra en continua expansión. Actualmente es muy común encontrar noticias sobre nuevas aplicaciones en las redes y medios de comunicación, así como modelos de negocio generados en función del uso de estos vehículos no tripulados. Como es lógico, su aplicación se ha extendido también a multitud de campos de la ingeniería civil y geociencias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de las autoridades de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán y de la Unidad Química-Sisal, Universidad Nacional Autónoma de México. Esta publicación es una contribución al proyecto de Integración de Redes Temáticas de Colaboración Académica denominado "Identificación de Descargas de Agua Subterránea en Celestún, Yucatán: Aplicación de Vehículos Aéreos no Tripulados en Estudios Hidrológicos" (Clave SISTPROY: FING-2015-003), financiado por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), Dirección General de Educación Superior Universitaria, Secretaría de Educación Pública, México. Especial agradecimiento al Programa de Apoyo al Desarrollo y Consolidación de los Cuerpos Académicos (PADECCA) de la Coordinación General del Sistema de Posgrado, Investigación y Vinculación de la Universidad Autónoma de Yucatán, México.

REFERENCIAS

- Agüera-Vega F, Carvajal-Ramírez F, Martínez-Carricondo P (2017) Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement* 98: 221-227. doi: 10.1016/j.measurement.2016.12.002
- ATyges (2014) Drones para el uso Civil Profesional, fotogrametría en minutos. *Geofumadas*. <http://www.geofumadas.com/drones-para-el-uso-civil-profesional-fotogrametría-en-minutos/> (Cons. 03/02/2016).
- Boucher P (2016) 'You wouldn't have your granny using them': Drawing boundaries between acceptable and unacceptable applications of civil drones. *Sci. Eng. Ethics* 22: 1391-1418. doi: 10.1007/s11948-015-9720-7
- Burgos VH, Salcedo AP (2014) *Modelos Digitales de Elevación: Tendencias, Correcciones Hidrológicas y Nuevas Fuentes de Información*. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino. Argentina. <https://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.10.pdf> (Cons. 03/07/2019).
- Campo-Molinuevo I (2015) Aplicaciones de drones para el control de obras y evaluación de impactos. <http://drones.uv.es/aplicaciones-de-drones-para-el-control-de-obras/> (Cons. 03/07/2019).
- Cruzan MB, Weinstein BG, Grasty MR, Kohn BF, Hendrickson EC, Arredondo TM, Thompson PG (2016) Small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones) in plant ecology. *Appl. Plant Sci.* 4(9). doi: 10.3732/apps.1600041.
- De Bruin A, Booyen T (2015) Drone-based traffic flow estimation and tracking using computer vision. *Civil Eng.: Mag. South Afr. Inst. Civil Eng.* 23(8): 48-50.
- Dupont QFM, Chua DKH, Tashrif A, Abbot ELS (2017) Potential applications of UAV along the construction's value chain. *Procedia Eng.* 182: 165-173. doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.155
- Eid BM, Chevill J, Albatsh F, Faris F (2013) Challenges of integrating unmanned aerial vehicles in civil application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 53. doi: 10.1088/1757-899X/53/1/012092.
- Entrop AG, Vasenev A (2017) Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures. *Energy Procedia* 132: 63-68. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.636
- Escamilla R (2010) *Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV)*. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. México. 74 pp.
- Gonçalves JA, Henriques R (2015) UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS J. Photogram. Rem. Sens.* 104: 101-111. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009
- Green DR, Hagon JJ, Gómez C, Gregory BJ (2019) Using low-cost UAVs for environmental monitoring, mapping, and modelling: Examples from the coastal zone. En Krishnamurthy RR, Jonathan MP, Srinivasalu S, Glaeser S (Eds) *Coastal Management. Global Challenges and Innovations*. Elsevier. pp. 465-501. doi: 10.1016/B978-0-12-810473-6.00022-4
- Griffin GF (2014) The use of unmanned aerial vehicles for disaster management. *Geomatica* 68: 265-281. doi: 10.5623/cig2014-402
- Hassanalian M y Abdelkefi A (2017) Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progr. Aerosp. Sci.* 91: 99-131. doi: 10.1016/j.paerosci.2017.04.003
- Hunink J (2015) *Aplicaciones Medio Ambientales de los Drones*. FutureWater. <http://www.futurewater.es/2015/03/drones-que-aportan-soluciones-en-el-sector-del-agua/> (Cons. 04/02/2016).
- Leary D (2017) Drones on ice: an assessment of the legal implications of the use of unmanned aerial vehicles in scientific research and by the tourist industry in Antarctica. *Polar Rec.* 53: 343-357. doi: 10.1017/S0032247417000262
- Luciear A, Turner D, King DH, Robinson SA (2014) Using an unmanned aerial vehicle (UAV) to capture micro-topography of antarctic moss beds. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.* 27A: 53-62. doi: 10.1016/j.jag.2013.05.011
- Mesa V, Izquierdo L (2015) *Los Drones. Su Aplicación en el Mundo de la Comunicación*. Tesis. Universidad de la Laguna. España. 78 pp.
- Morales A (2016) Ejemplos de uso de drones en GIS. *MappingGIS*. <http://mappinggis.com/2014/09/ejemplos-de-uso-de-drones-en-gis/> (Cons. 08/02/2016).
- Ogden LE (2013) Drone ecology. *BioScience* 63: 776. doi: 10.1525/bio.2013.63.9.18.
- Pellicer E, Serón J (2002) El proyecto de ingeniería civil y el medio ambiente. *I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Ponencias y Comunicaciones*. Vol. II. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puerto; Comisión del Medio Ambiente. Madrid, España. pp. 1379-1390.
- Piatti EJ y Lerma JL (2013) Virtual worlds for photogrammetric image-based simulation and learning. *Photogram. Rec.* 28(141): 27-42. doi: 10.1111/phor.12001
- Pike H (2013) Journalists turn their eyes to the sky. *Drone Journalism: Worth Exploring*. <https://helenirenepike.wordpress.com/tag/drone-journalism/> (Cons. 08/02/2016).
- Rakha T, Gorodetsky A (2018) Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones. *Automat. Construct.* 93: 252-264. doi: 10.1016/j.autcon.2018.05.002.
- Ramos H, Montesinos JC (2015) Aplicaciones hidrológicas. En *Los drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería Civil*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Madrid, España. pp. 95-99.
- Robles C (2015) Drones topográficos. Milenio Novedades, 3 de Mayo. <http://sipse.com/milenio/yucatan-drones-mucho-imagenes-preciosas-149823.html> (Cons. 08/02/2016).
- Rodrigues R, Bastos D, Sampaio J, Irizarry J (2017) Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. *Saf. Sci.* 98: 174-185. doi: 10.1016/j.ssci.2017.06.008
- Rodríguez M (2015) Aplicaciones de los drones para uso comercial y civil. El blog de Ingeniería Virtual Inteligente. <http://blog.ayesa.com/ayesa/blogayesa/-blogs/aplicaciones-de-los-drones-para-uso-comercial-y-civil> (Cons. 08/02/2016).
- Sánchez J (2015) La guerra de los drones por ganar un lugar en el mercado. *El Economista*, 25 de Febrero. <http://eleconomista.com.mx/tecnociencia/2015/02/25/guerra-drones-ganar-lugar-mercado> (Cons. 08/02/2016).
- Sánchez-Sastre LF, Marcos-Robles JL, Herrero-Llorente E, Hernández-Navarro S, Carrión-Prieto P (2016) Aplicación de tecnologías de teledetección al estudio de biomasa forestal. *Rev. Ibér. Sist. Tecnol. Inf.* 19: 61. doi: 10.17013/risti.19.61-76.
- Schofield G, Katselidis KA, Lilley MKS, Reina RD, Hays GC (2017) Detecting elusive aspects of wildlife ecology using drones: New

- insights on the mating dynamics and operational sex ratios of sea turtles. *Funct. Ecol.* 31: 2310-2319. doi: 10.1111/1365-2435.12930
- Seo J, Duque L, Wacker J (2018) Drone-enabled bridge inspection methodology and application. *Automat. Construct.* 94: 112-126. doi: 10.1016/j.autcon.2018.06.006
- Turner IL, Harley MD, Drummond CD (2016) UAVs for coastal surveying. *Coastal Eng.* 114: 19-24. doi: 10.1016/j.coastaleng.2016.03.011
- Watts AC, Ambrosia VG, Hinkley EA (2012) Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. *Rem. Sens.* 4: 1671-1692. doi: 10.3390/rs4061671.
- Zarco-Tejada PJ, Diaz-Varela R, Angileri V, Loudjani P (2014) Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *Eur. J. Agron.* 55: 89-99. doi: 10.1016/j.eja.2014.01.004
- Zcopters (2015) Los drones y la topografía. <https://zcopters.com/2015/04/los-drones-y-la-topografia/> (Cons. 03/07/2019).

DRONES. APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING AND GEOSCIENCES

Roger González Herrera, Juan Pablo Ucán Navarrete, Ismael Sánchez y Pinto, Rubén Medina Escalante, Flor Árcega Cabrera, Carlos Zetina Moguel and Rafael Casares Salazar

SUMMARY

Drones are unmanned radio-controlled and retrievable aerial vehicles; currently they exist with a variety of features, shapes and sizes depending on the use to which they are intended. They have great potential because they can move through areas of high risk and difficult access overcoming any obstacles, offering aerial images or collecting a variety of data without endangering the life of a crew. Equipped with a high resolu-

tion camera or any other sensors, they bridge the gap between labor-intensive field studies and satellite remote sensing. Based on a study on the state of the art of this unmanned aerial instrument, an analysis about its application in the field of engineering and geosciences is presented. The use of drones is increasingly spreading to different areas of Earth Sciences because of its economy, precision and low human risks.

DRONES. APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL E GEOCIÊNCIAS

Roger González Herrera, Juan Pablo Ucán Navarrete, Ismael Sánchez y Pinto, Rubén Medina Escalante, Flor Árcega Cabrera, Carlos Zetina Moguel e Rafael Casares Salazar

RESUMO

O drone é uma aeronave não tripulada com comando à distância e recuperável; actualmente existem uma variedade de características, formas e tamanhos, dependendo do uso a que se destinam. Eles têm um grande potencial, porque eles podem se mover através de áreas de alto risco e de difícil acesso superar quaisquer obstáculos, oferecendo ou recolher variedade imagens aéreas dos dados sem comprometer a vida de uma tripulação. Equipado com uma câmara de alta resolução ou ou-

tros sensores, eles são a ponte entre levantamentos de campo de trabalho intensivo e teledetecção satélite. Baseado em um estudo sobre o estado da arte deste instrumento aéreo não tripulado, uma análise sobre a sua aplicação no campo da engenharia e geociências é apresentado. O uso de drones está cada vez mais se espalhando para diferentes áreas de Ciências da Terra por causa de sua economia, precisão e baixo risco para os seres humanos.