

Seguimiento y monitoreo por medio de aeronaves no tripuladas a obras de infraestructura para la obtención de información

Y. A. Hernández – Melo¹ & L. M. Vasquez- Anzola²

¹Facultad de Ingeniería Ambiental/ Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C / 2023

Resumen

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) tienen variados componentes como software y hardware que, si bien son necesarios para el control en tiempo real, al igual que de la altitud, rumbo que se utilizan y el vuelo respectivamente, También permitirán la recolección de datos o información relacionada con la detección, supervisión, monitoreo ambiental y captura de imágenes satelitales en 3D que si bien serían favorables para la , cuantificación e identificación de algunas especies (Eslava Pedraza et al., 2021) . Por lo anterior en los últimos años se ha incrementado la popularidad de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs) o (Drones), aumentando su interés en lo que concierne al desarrollo de nuevos tipos de drones de diferentes tamaños para que puedan realizar variadas y diversas tareas, a lo que ha llevado a su aplicación en diferentes áreas (Jawhar et al., 2017).

Las ventajas de los drones los convierten en una fuerte apuesta para sustituir o complementar las actividades humanas en muchos ámbitos. En la mayoría de los casos, los principales beneficios son el uso flexible del recurso que representa el vehículo y la reducción del riesgo para la vida humana; en otras aplicaciones, estas ventajas aumentan la facilidad de uso y la reducción de costos en comparación con otras posibles soluciones (Green et al., 2019). De acuerdo con lo anterior, la base de búsqueda del siguiente estudio bibliográfico es la implementación de los UAV en el seguimiento y monitoreo de infraestructuras ambientales, su uso e innovaciones para años futuros. El principio de esta metodología es la búsqueda, recopilación y comparación de información de distintos repositorios donde los referentes eran los autores, años de publicación y países de investigación o implementación; así mismo fueron exploradas las bases de datos como ScienceDirect, Scielo y Scopus. Finalmente se realiza la comparación de equipos, fichas técnicas y sus usos en el mercado según la incidencia que se tienen dónde han tenido casos exitosos de uso de drones.

Palabras claves: Vehículos aéreos no tripulados, monitoreo ambiental, captura de imágenes, levantamientos topográficos, construcciones e infraestructura.

Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAV) have various components such as software and hardware that, although they are necessary for real-time control, as well as the altitude, heading used and the flight, respectively, will also allow data collection. or information related to the detection, supervision, monitoring and capture of 3D satellite environmental images that would be favorable for the quantification and identification of some species (Eslava Pedraza et al., 2021). Due to the above, in recent years the popularity of unmanned aerial vehicles (UAVs) or (Drones) has increased, increasing their interest in what concerns the development of new types of drones of different sizes so that they can carry out varied and diverse tasks, which has led to its application in different areas (Jawhar et al., 2017).

The advantages of drones predetermine them in a strong bet to replace or complement human activities in many surroundings. In most cases, the main benefits are flexible use of the vehicle resource and reduced risk to human life; in other applications, these advantages increase ease of use and cost reduction compared to other possible solutions (Green et al., 2019). In accordance with the above, the search base of the following bibliographic study is the implementation of UAVs in the follow-up and monitoring of environmental infrastructures, their use and innovations for future years. The principle of this methodology is the search, compilation and comparison of information from different repositories where the referents were the authors, years of publication and countries of research or implementation; Likewise, databases such as ScienceDirect, Scielo and Scopus were explored. Finally, the comparison of equipment, technical data sheets and their uses in the market is made according to the incidence that they have where they have had successful cases of use of drones.

Key words: Unmanned aerial vehicles, environmental monitoring, image capture, topographic surveys, constructions and infrastructure.

Introducción

Producidos 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. De acuerdo con esto, los drones han surgido como un instrumento de innovación tecnológica con un gran potencial para el seguimiento y monitoreo de las otras infraestructuras.

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. (Boucher, 2016)

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. (Boucher, 2016)

Aunque inicialmente desarrollados por la industria armamentística únicamente para su uso en topografía, con el fin de brindar mayor cubrimiento en el área, actualmente se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, como búsqueda y rescate, agricultura, exploración de recursos naturales, telecomunicaciones e inspección de líneas eléctricas, entre otros.

Actualmente, la eficiencia, seguridad, economía y disponibilidad son necesidades cruciales en un proyecto, estas herramientas son usadas para garantizar un funcionamiento sin problemas de sistemas críticos. Es por esto que la implementación estratégica de tecnologías de seguimiento y

monitoreo no solo optimiza el funcionamiento de las infraestructuras, sino que también permite prever y mitigar posibles problemas de manera proactiva, asegurando así un rendimiento constante y sostenible. (Molinuevo, 2016)

La autonomía de estos aparatos tecnológicos puede variar según la cantidad de combustible del que disponen, pero en los modelos más pequeños las baterías pueden llegar a durar entre los 30 y 60 min. 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).

Desde este punto el uso de drones ha sido infalible para muchas actividades, así mismo han evolucionado en el tiempo, desde su tamaño hasta su operatividad así dado paso a una nueva forma de recopilar información y trabajar bajo condiciones de riesgo.

Metodología

El presente artículo tiene como fin realizar un barrido bibliográfico para posteriormente sintetizar las investigaciones relacionadas con el seguimiento y monitoreo mediante drones a obras de infraestructura, con el fin de analizar la aplicación, técnica, y procedimiento de cada uno de ellos y así establecer la sinergia que tienen los autores para el desarrollo de la temática. A partir de esto, mediante los recursos multidisciplinarios se establece una ecuación de búsqueda que engloba los ejes principales que permite filtrar y seleccionar los documentos definitivos en los que se evalúa el contenido para finalmente fortalecer los conocimientos y la relevancia del uso de las aeronaves no tripuladas en otros ámbitos.

A continuación, se presenta la ecuación para realizar el barrido bibliográfico.

- ("infrastructure" OR "constructions" AND "drones" OR "unmanned aerial vehicles" AND "drones" OR "UAV")
- (“drones” OR “UAV” OR “constructions” OR “infrastructure” OR “unmanned aerial vehicles” OR “visual pavement assessment” AND “DRONES”)

Los criterios a tomar en cuenta fueron los siguientes: artículos de revistas, revisiones, conferencias, libros y capítulos de libros indexados en Scopus y ScienceDirect, sobre el Drones o Uav en seguimiento y monitoreo de infraestructuras; fecha de publicación entre el 2018 y el año 2022; idioma en inglés y español. En cuanto a los criterios de exclusión, no se incluyeron los siguientes tipos de documentos: tesis de posgrados, otros documentos no científicos, ni documentos que no cumplieran con los criterios establecidos anteriormente. Por último, se realizó el análisis de los metadatos mediante los Software VOSviewer se realiza el estudio de la co-ocurrencia de las palabras claves asociadas a los artículos seleccionados anuales y por países.

Tabla 1 Criterios para la revisión bibliográfica

Definir el alcance de la revisión bibliográfica	● Establecer el objetivo principal de la revisión ● Determinar los aspectos específicos que se abordarán, como los tipos de obras de infraestructura, los beneficios y desafíos de usar drones, las tecnologías y sensores utilizados, etc.
Definición de criterios de búsqueda	● Identificar las palabras clave y los términos relacionados con la temática de la revisión, como "drones", "seguimiento", "monitoreo", "obras de infraestructura", "tecnología" etc. ● Establecer los criterios de inclusión y exclusión de los estudios que se revisarán, como lo son los artículos publicados en los últimos 6 o 7 años en inglés y español
Búsqueda bibliográfica	● Realizar búsquedas en bases de datos académicas, como ScienceDirect, Scielo y Scopus, etc., bibliotecas digitales, revistas especializadas y otras fuentes confiables, utilizando los criterios de búsqueda definidos. ● Utilizar las palabras clave identificadas en el paso anterior para optimizar los resultados de búsqueda ● Examinar las listas de referencias de los artículos seleccionados para identificar estudios relevantes que podrían haber sido pasados por alto en las búsquedas iniciales.
Selección de artículos relevantes	● Leer los títulos y resúmenes de los artículos obtenidos en la búsqueda bibliográfica para evaluar su relevancia con respecto al objetivo de esta investigación. ● Seleccionar aquellos artículos que estén directamente relacionados con el seguimiento y monitoreo de obras de infraestructura utilizando drones. ● Descartar los estudios que claramente no cumplen con los criterios de inclusión.

	● Leer los textos completos de los artículos seleccionados y determinar si cumplen con los criterios de inclusión.
Análisis y síntesis de la literatura	● Analizar críticamente los resultados y las conclusiones de los estudios incluidos, identificando patrones, tendencias o divergencias en los hallazgos. Identificando los enfoques, metodologías, técnicas y resultados utilizados en cada estudio.
Síntesis y redacción del artículo de revisión	● Estructurar el artículo de acuerdo con las convenciones y pautas establecida con una estructura clara
Revisión y edición	● Revisar el artículo para asegurar la coherencia, claridad y precisión del contenido. ● Verificar la corrección gramatical, ortográfica y referencias bibliográficas

Fuente: Autores

Desarrollo del tema

Según las estadísticas del Dane, para el primer trimestre del año 2023, el sector de la construcción aumentó de manera notable a comparación del año anterior, este dato es proporcionado gracias al censo donde agregó a más de 90 municipios que se encuentran en grupos de 23 áreas de influencia. Dentro de estos avances podemos encontrar la construcción y/o la readecuación de puentes, carreteras, algunas plantas de energía renovable entre otras; que han sido mejoras para la conectividad y actualización estructural del país. (Dane, 2023) Además, estos cambios son significativos ya que aportan a la economía y desarrollo social en Colombia.

En el sector de obras de infraestructura y construcción se enfrentan a una gran ineficiencia , en grandes proyectos se suele tardar entre un 20% más de lo previsto en completarse y se salen más de un 80% de su presupuesto, por consiguiente empresas de infraestructura han dado el paso de de drones profesionales en adopción de la tecnología, ya que en informes sobre impacto de drones se afirma que el uso de esta herramienta a lo largo de un proyecto proporciona un registro detallado de todas las actividades, reduce los costos de planificación y peritaje y así aumentando la eficacia y precisión del estado del proyecto.

El desarrollo tecnológico acelerado en el campo de la aeronáutica ha hecho que los drones sean más silenciosos, de vuelo más ágil, completos y con cámaras más nítidas y potentes. Debido a estos

avances los drones pueden ser utilizados para ampliar la capacidad de observación o de intervención desde espacios inaccesibles que simplemente ponen en riesgo la vida humana. Una de las características más significativas que ofrecen los drones es la capacidad de acceder a lugares donde el ser humano no puede llegar.

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, control de plagas y seguimiento de cultivos y grabación. Así mismo una emisión aérea de videos en tiempo real.

Las funciones anteriormente mencionadas y muchas otras se suman a las tecnologías que en la actualidad están ganando seguidores tanto en el área ambiental, civil, comercial y de entretenimiento. Los vehículos aéreos no tripulados han funcionado para la rama de la ingeniería ambiental y civil en inspecciones de infraestructuras, 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 riesgos y desastres naturales, exploración geológica-minera, etc.

El amplio uso de drones tiene un espacio de operación fuerte y más en nuestro campo de interés son muy importantes dado a la tecnología que implementan y de lo que son capaces de realizar en el sector de obras de infraestructura las cuales su uso principal es con fines topográficos y de obtención de información, lo cual durante el reconocimiento aéreo del terreno y sus características están equipados con las herramientas necesarias para tomar fotos desde diferentes ángulos y a partir de estas imágenes el software de fotogrametría crea capas de 2D Y 3D con la información de geolocalización y así poder obtener los resultados. Este artículo sirve para dar más claridad y conocimientos respecto a los drones, sus tipos y para dar a conocer sus usos como lo pueden ser para seguimiento y monitoreo de estas construcciones, además las otras aplicaciones que pueden llegar a tener los drones dentro de las obras. (Escamilla, 2010).



Fuente: SOLUCIÓN BASADA EN DRONES para proyectos de infraestructura vial, 2019

Drones, clasificaciones y aplicaciones

Su origen se da con el fin de usos militares principalmente como armas en la primera guerra mundial (Araujo, 2017). Ahora bien, un dron se considera como un vehículo aéreo no tripulado, que posee la capacidad de mantenerse a un nivel controlado de vuelo. Este tipo de aeronaves utiliza planes de vuelo dirigido por medio de un software, sensores y un GPS; uno de sus principales objetivos es la recolección de información como lo son datos, fotos, puntos de referencia, además son muy usados para el monitoreo y seguimiento, extinción de incendios, videos, fotografías, agricultura, búsqueda y rescate, fumigación, entre otros. (Lutkevich, 2021). Los dos tipos principales de aviones no tripulados son el multicopter y 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 vídeos aéreos y la fotografía detallada de objetos. 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.

Hay distintos tipos de drones como lo son:

Tabla 2: tipos de drones

Drones profesionales	● Diseñados principalmente para aplicaciones comerciales como lo son las fotografías, videos, monitoreos industriales, agronómicos y de agricultura de precisión, etcétera
Drones de carrera	● Se especializan en competencias donde se aplica la velocidad y la agilidad, característicamente son de tamaño pequeño
Drones recreativos	● Estos son de uso más personal y entretenimiento, cuentan con funciones básicas de imagen para fotos y videos
Drones militares	● Estos son utilizados por las fuerzas armadas para la vigilancia, reconocimiento y en casos puntuales para ataques
Drones de carga	● Diseñados con el fin de transporte y entrega de cargas pequeñas

Fuente: Autores

Los drones son de dos tipos, ala rotatoria y ala fija. Los drones de ala fija son los más ágiles en el cielo y pueden durar más tiempo volando, son especiales para levantar planos topográficos de superficies grandes y su batería tiene mayor durabilidad

Los drones de ala rotatoria o multirrotores son de tipo vuelo estacionario, estos son utilizados en lugares donde se deba tener la nave en alturas determinadas. Este tipo de drones cuenta con la capacidad de poder intercambiar sus cámaras y adaptarse a ellas, siendo así que puede llevar a cabo distintas actividades. Estos pueden ser aterrizados y despegados de forma vertical. Una de sus debilidades es el alto consumo de la batería lo que conlleva que para un trabajo dependiendo la magnitud se necesiten más de dos baterías. (Insights A, 2020)

De las opciones más viables para el seguimiento y monitoreo de infraestructura son el DJI Phantom 4 Pro, el Autel Robotics EVO II y el Yuneec Typhoon H Pro, DJI Matrice 300 RTK, el Sensefly eBee X y el Parrot Anafi USA. (Kanagasabai, K., 2018)

Tabla 3: Especificación de drones

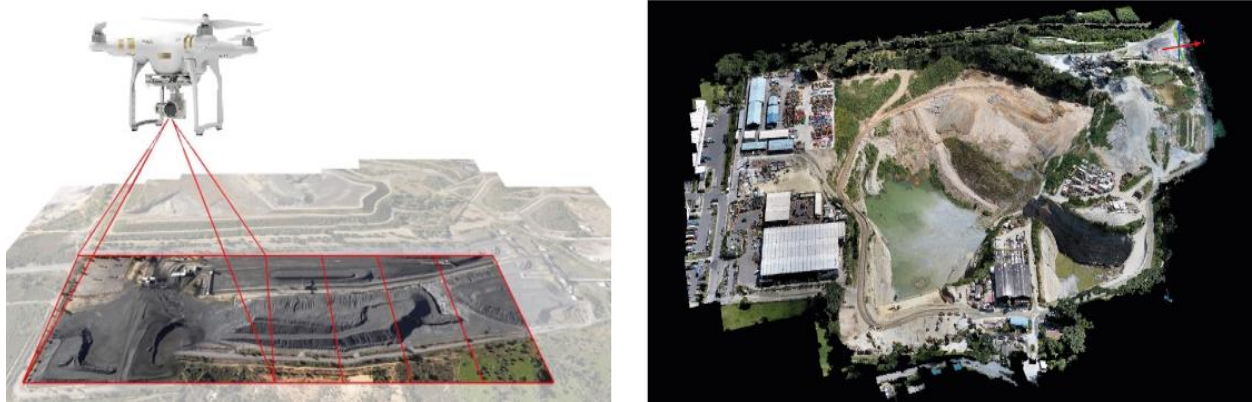
Tipo De Drones	Cámara	Alcance	Duración
<i>DJI Phantom 4 Pro</i>	<i>20 MPX y grabación en 4K</i>	<i>7 KM</i>	<i>30 min aproximadamente</i>
<i>Autel Robotics EVO II</i>	<i>48 MPX y grabación de 8K</i>	<i>9 KM</i>	<i>40 min aproximadamente</i>
<i>Yuneec Typhoon H Pro</i>	<i>20 MPX y grabación en 4K</i>	<i>1.6 KM</i>	<i>25 min aproximadamente</i>
<i>DJI Matrice 300 RTK</i>	<i>960 p y grabacion en 8 k</i>	<i>15 KM</i>	<i>55 min aproximadamente</i>
<i>Sensefly eBee X</i>	<i>36 MPX</i>	<i>3 a 8 KM</i>	<i>90 min aproximandamene</i>

Fuente: Autores

En Colombia se presenta un caso exitoso que tiene la iniciativa de la implementación de drones para el seguimiento y monitoreo de construcciones, la constructora Conconcreto lleva trabajando esta modalidad desde el año 2016, ya que ahorra el trabajo en un 50% y los costos se reducen de forma notoria en las de un 60%; este consorcio utiliza Mavic 2 pro, Phantom 4 pro y 1 Phantom 3 pro, que son la última tecnología en drones. Uno de los proyectos a destacar con esta modalidad es el parque industrial Logika vía 40, proyecto que se llevó a cabo en un terreno total de 63 hectáreas que se encuentra ubicado en la ciudad de Barranquilla. (Tomas, 2020).

En la siguientes imágenes se muestra como la empresa Conconcreto por medio del uso de drones obtiene foto restitución siendo posible realizar la mediciones y actualizaciones de los acopios de materiales en las zona de explotación , realizando estas labores en menos tiempo y así obteniendo información más detallada de la situación actual de las plantas de producción y así permite realizar estrategias en cada proceso.

Ilustración 2: Medición de áreas y volúmenes equipo dron planta Conconcreto.



Fuente:Industrial Conconcreto S.A.S

La empresa Conconcreto y su aplicación del programa de drones en el desarrollo del parque industrial lógika en barranquilla.

Ilustración 3: Parque Industrial logika , Barranquilla.



Fuente:Industrial Conconcreto S.A.S

Dentro de esta investigación está la empresa también colombiana Volartech que fue construida por jóvenes emprendedores donde se fomenta la implementación de drones para compañías constructoras y así mismo implementa tecnologías avanzadas. (Portafolio, 2021). Julián Vela uno de los socios y cofundadores de esta gran empresa, describió como el uso de esta tecnología ofrece una gran capacidad de monitoreo en las obras de infraestructura “Los drones con tecnología LIDAR emiten 300 mil puntos de luz por segundo y funcionan como un escáner láser que desde el aire hace la radiografía de un terreno, generando eficiencias y ahorros de un 50% en términos de dinero y más de un 80 % en materia de tiempo invertido y recurso humano para proyectos de topografía” (Vela, 2021).

Ilustración 4: Fundadores Volartech



Fuente: Volartech, 2022

La constructora española QuBe apoya el uso de drones para facilitar distintas áreas en la construcción, según la constructora el uso de drones trae grandes ventajas como lo son el obtener información de lugares poco accesibles, la obtención de datos a distintas alturas y velocidades, toma de fotografías en lugares riesgosos, fotografías panorámicas, etcétera.

Ilustración 5: Fotogrametría digital con drones



Fuente: Constructora QUBE

Ilustración 6: Control de seguridad y inspecciones del ciclo de vida de construcciones



Fuente: Constructora QUBE

Segun un estudio de revisión sistemática pretende “ identificar los diferentes usos de los vehículos aéreos no tripulados (drones) en un sistema ambiental, donde se enfocaron en la identificación, cuantificación y análisis de datos de diferentes variables que se relacionarán con la concentración de contaminantes que se encuentran dentro del área de estudio, para este estudio se seleccionó 25 Artículos de diferentes bases de datos entre los 2019 a 2021, donde concluyeron la falta de estudios en el monitoreo de Uav en el ámbito ambiental y de la importancia de desarrollar más investigaciones en enfocadas en la flora para su detección, identificación, cuantificación o monitoreo (Huamanchahua et al., 2022).

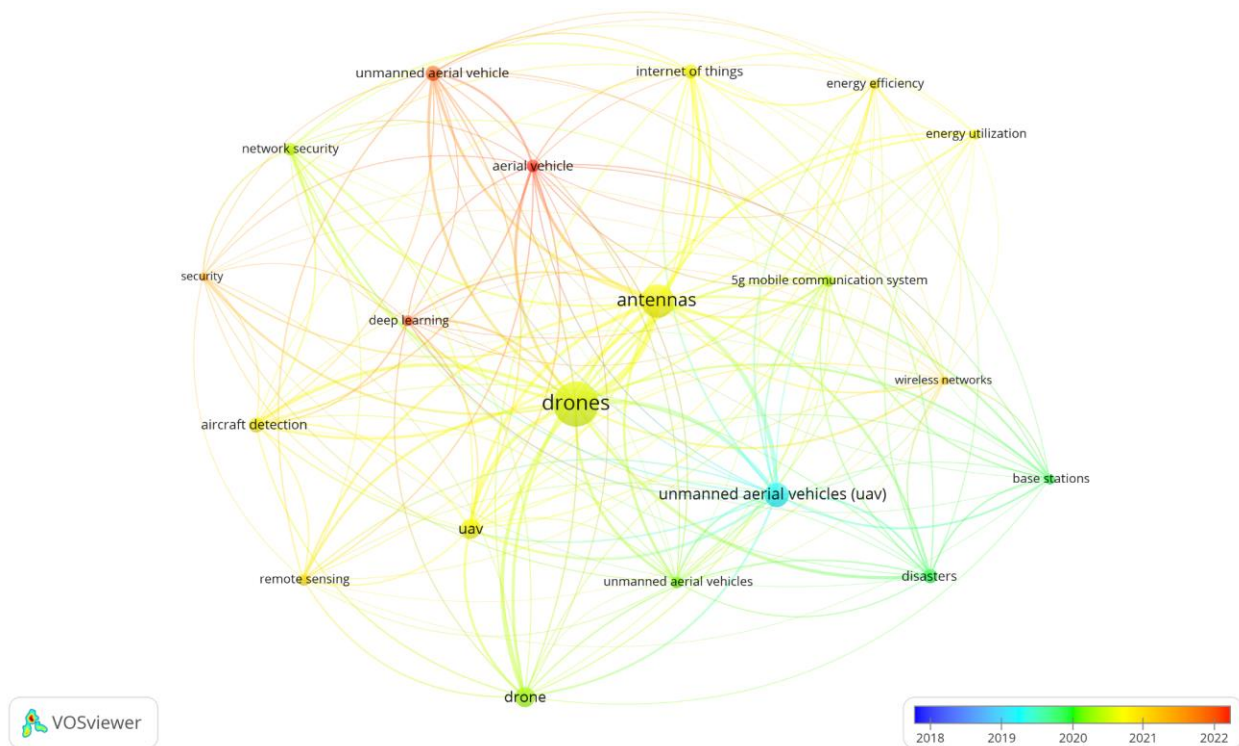
En otro estudio de revisión de literatura publicado en 2021 se mencionó el uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAV), se demostró que el entorno operativo de un UAV es muy dinámico esto por los cambios impredecibles en lo que concierne a las condiciones meteorológicas que pueden afectar al espacio aéreo, se indago la confiabilidad de los drones, donde se afirmó que el uso de controladores de vuelo deben adaptarse a estos cambios ambientales en tiempo real y que el control de vehículos aéreos no tripulados altamente maniobrables se ha estudiado ampliamente durante las últimas décadas, se concluyó que para el control en tiempo real del dron se requerirá un RTOS integrado para su implementación, ya que estos RTOS proporcionarán funciones como son los subprocesos múltiples, programación y asignación de prioridades, lo que permitirían admitir la respuesta en tiempo real del sistema de control de drones a los comentarios del GPS y la IMU (Kangunde et al., 2021).

Por otro lado, un estudio busca implementar la importancia del uso de drones y tecnología de Sensores Remotos en la revisión de pavimentos, ayudando a avanzar en el desarrollo de distintos métodos para descubrir el deterioro con precisión y confiabilidad, para esto se implementó una búsqueda de variados documentos normativos, trabajos académicos y de investigación a nivel nacional e internacional en distintas base de datos, para esto no se implementó ningún tipo restricción de literatura, donde se demostró la gran importancia del uso y beneficios al implementar drones en proyectos viales de mejora, rehabilitación y conservación, concluyendo la necesidad de implementar estas tecnologías en el desarrollo de proyectos viales y las posibles ventajas en el futuro inmediato (Pabón et al., 2021).

También, se llevó a cabo un estudio donde resaltaron la importancia de los bienes públicos, en especial las infraestructuras viales, como son las carreteras ya que su parcialidad para el desarrollo y el crecimiento económico, lo que conlleva a su necesidad de mantenimiento, reparación y la mejoro de dichas carreteras que si bien de forma indirecta se relaciona con la vitalidad de la salud y la seguridad de los usuarios de las carreteras, por eso el estudio presentó el proyecto “HERON, financiado con fondos europeos, desarrollará un sistema automatizado integrado para mantener adecuadamente la infraestructura vial” implementando el uso de drones proponiendo su eficacia en un nuevo sistema integrado maximizando sus capacidades y adaptabilidad para variadas infraestructuras de transporte al mismo tiempo que se pueda reducir los accidentes mortales, los costes de mantenimiento y las interrupciones del tráfico (Katsamenis et al., 2022).

Generalmente la aplicación de estas tecnologías ha venido presentando un enfoque más al trabajo que entretenimiento por lo cual el desarrollo de las muchas actividades mencionadas deben ser bajo responsabilidad de un experto en el tema y así obtener un máximo provecho del uso de las aeronaves no tripuladas. Sin embargo, si nos enfocamos en los estudios realizados a estos drones como apoyo al seguimiento y monitoreo en las diferentes países, vemos como se ha tenido una gran incidencia en el desarrollo, evolución y uso de estos aparatos para agilizar y economizar costos en el momento de poner en marcha las construcciones; es así como se muestra una gran correlación entre las palabras claves mostradas en (Ilustración 7), donde el color rojo muestra la intensidad y recurrencia de las palabras según en paso de los años.

Ilustración 7 Correlación de las palabras claves



Fuente: Autores

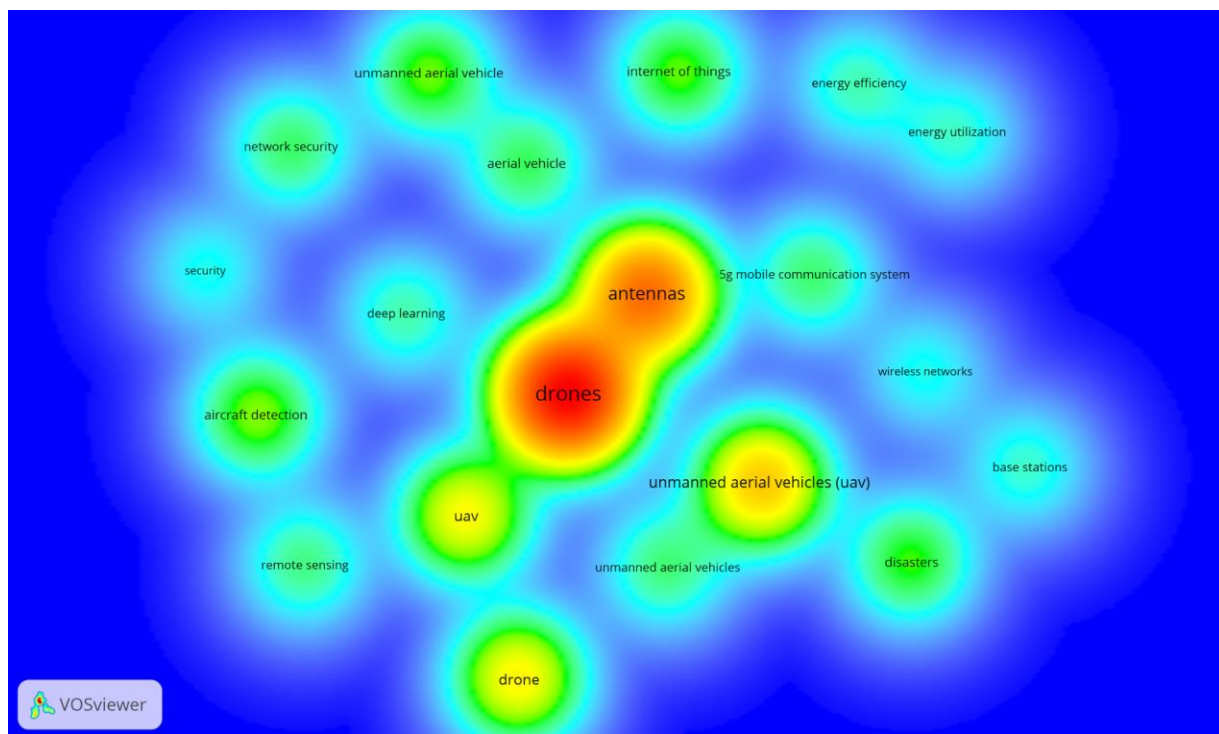
De esta manera, el mapa bibliométrico de densidad (ver Ilustración 8) muestra las palabras clave de un conjunto de documentos y la frecuencia con que aparecen en ellos. Las palabras clave son mostradas como un conjunto de "nodos" en el mapa, y las relaciones entre ellas se indican mediante "vínculos", entre mas fuerte sea esta relacion mayor intenciada de color tendra dentro de la gama de azul a rojo; donde el rojo significa la centarlidad entre su co-ocurrencia. La mayor co-ocurrencia que se presenta es entre las antenas y los drones que claramente están relacionados por su funcionamiento, así como vehículos aéreos no tripulados (UAV) y los campos de influencia para el monitoreo de infraestructura con el uso de los sensores remotos que brindan la ayuda para adquirir las imágenes de satélite. Del mismo modo, las palabras que poseen mayor frecuencia, los términos de menor impacto pero con relación al tema los encontramos en los límites del área central con color verde y amarillo. El mapa bibliométrico mostrado presenta que, la temática de uso de

UAV está relacionada con la temática de Seguimiento y monitoreo por medio de aeronaves no tripuladas de obras de infraestructura para la obtención de información.

Ahora bien, los drones pueden acceder a áreas difíciles con facilidad y de forma rápida, lo que hace que sean muy útiles para monitorear la construcción de infraestructura en lugares remotos o inaccesibles, capturando información detallada con alta calidad visual, que es útil para la gestión y el control de proyectos. Además, las imágenes y datos obtenidos por los drones pueden ser procesados y analizados con tecnología de aprendizaje de máquina para obtener datos muy útiles y precisos. Un ejemplo de una tecnología de aprendizaje de máquina que se usa para el análisis de imágenes obtenidas por drones es el "cómputo aplicado a la imagen", o "computer visión", como se le conoce comúnmente. El cómputo aplicado a la imagen es una técnica de análisis de imágenes que utiliza algoritmos de aprendizaje de máquina para detectar patrones y reconocer objetos en imágenes. (Borrella, 2022)

Si bien, los drones están equipados con cámaras y sensores que permiten la inspección de carreteras, puentes, plantas industriales, ferrocarriles, puertos etc. Esto quiere decir que los drones y la infraestructura se complementan.

Ilustración 8 Densidad de la Correlación de las palabras claves



Fuente: Autores

Finalmente un estudio se presenta un protocolo para la inspección de edificios agroindustriales formado por 5 fases, cada una constituida por diversas tareas, donde se halló a través de la cámara térmica del dron, diferencias en la temperatura en algunos elementos, donde estas diferencias fueron analizadas para corroborar de que no se debieron a un aislamiento defectuoso, instalación o

cualquier otro error de construcción, siguiendo los principios generales para el examen termográfico cualitativo en normas y manuales, concluyendo que la implementaciones de UAV ayuda en la inspección proporcionando información gráfica de gran utilidad, tanto visible como infrarroja, ayudando a detectaron dificultades, aspectos a considerar y precauciones para el uso de estas tecnologías (Gómez & Tascón, 2021).

Infraestructura y sostenibilidad

Para llevar a cabo una construcción se debe hacer de manera inteligente, de tal forma que no se vea afectado el medio ambiente y respetando la normatividad que le aplique en dado caso.

En los últimos tiempos se ve de manera progresiva los avances que se llevan a cabo con el fin de proteger el medio ambiente donde sociedad, economía y política van de la mano con lo ambiental y la sostenibilidad. Muchas personas han tomado conciencia acerca de cuidar nuestro entorno para las generaciones futuras que vienen en camino. Es bien sabido que los principales impactos ambientales se ven reflejados en la etapa de construcción y explotación del terreno a trabajar. Hoy en día se piensa en tecnologías limpias y en evitar al máximo el daño al momento de construir. (Sagarduy R, 2006) a continuación se presentan algunos condicionantes que se pueden presentar durante el desarrollo de una obra.

Tabla 4 Acciones que pueden condicionar la intensidad de los impactos ambientales generados según las fases de desarrollo de una infraestructura

Fase	Tarea
Planificación	– Definición de corredores o zonas de acogida de las infraestructuras. – Categorización de las infraestructuras. – Parámetros técnicos de funcionamiento: anchuras, velocidad de tránsito, servidumbres,...
Diseño	– Definición geométrica. – Optimización de los balances de tierras. – Diseño de soluciones constructivas. – Definición de taludes y terraplenes. – Definición de vertederos de tierras. – Diseño de medidas de restauración.
Construcción	– Implantación de obra: parque de servicios de obra y parque de maquinaria. – Acopio de materias primas. – Desbroces, eliminación de suelo y de cubierta vegetal. – Ocupación irreversible del ámbito del proyecto, con o sin impermeabilización asociada. – Excavaciones, rellenos y movimientos de tierra en general. Conformación de taludes y terraplenes. – Construcción de drenajes. – Vallado. – Obra civil, urbanización, edificación, colocación de equipos e instalaciones. – Siembras y plantaciones, con o sin carácter estético.
Explotación	– Presencia de taludes y terraplenes. – Flujo de vehículos. Emisiones de los motores de combustión. – Intervenciones sobre la dinámica fluvial o litoral. – Presencia de zonas selladas e impermeabilizadas. – Mantenimiento de servidumbres y superficies vegetales.

Seguimiento y monitoreo de infraestructuras

La amplia gama de aplicaciones en la que se desempeñan los drones en la actualidad da una visión hacia futuro para el seguimiento, inspección y control de obras de infraestructura de edificios. Los drones cumplen un papel muy importante a la hora de llevar los edificios, desde la primera fase donde se diseña ya que se usan para el levantamiento fotogramétrico del terreno donde se instalará la construcción, tomando una serie de fotografías para recrear el terreno con ayuda de un software en modelación tridimensional 3D, además ofrecen fotos panorámicas de manera precisa a zona más amplias y con dificultad de accesibilidad a gran velocidad lo que implica una reducción de costos. Estos datos recolectados son fácilmente usados para la toma de decisiones a la hora de planificar y la programación de actividades a desarrollar en la construcción. Una técnica muy utilizada es la fotogrametría terrestre para generar elementos bi o tri-dimensionales e inventarios visuales por medio de fotografías y videos de alta resolución, los escáneres láser o incluso la topografía clásica, cuya precisión alcanzable puede ser mayor (Biblus, 2019).

Para la segunda fase se procede a la construcción donde el dron será usado con el fin del monitoreo y seguimiento del todo el estado de la infraestructura durante la construcción, es así como se verifica que toda la estructura vaya quedando respecto a lo que se tenía previsto, también un servicio que brindan los drones es la constante vigilancia de los obreros, operarios y demás personal. Del mismo modo se debe actualizar la información, datos y fotografías del proceso del proyecto. (Kangunde, V., Jamisola, RS & Theophilus, 2021). Un punto importante a tener en cuenta con los drones es 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, la dificultad de acceso y los elementos en cuestión. Así mismo 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. Como es lógico, su aplicación se ha extendido también a multitud de campos de la ingeniería ambiental y geociencia. (Morales, 2016).

Ahora bien, uno de los métodos con menor grado de error es el modelo BIM (Building Information Modeling, en inglés) es una metodología que permite el diseño, la construcción y la operación de edificios digitalmente. Este modelo permite almacenar y compartir información digital detallada sobre una construcción, incluyendo sus características arquitectónicas, constructivas y estructurales. Este tiene una serie de beneficios para el diseño y la construcción de edificios. Estos beneficios incluyen la reducción de los errores y los costes asociados con los cambios en los proyectos, la posibilidad de visualizar proyectos virtualmente antes de la construcción y la posibilidad de simular la durabilidad y el desempeño de los edificios; para la fase de diseño se pueden usar modelos 3D para crear un modelo virtual del edificio. (Tejedo, 2021)

Este modelo ha sido implementado en distintos países en todo el mundo, entre estos se destacan:

- Estados Unidos: Es uno de los pioneros en adoptar y desarrollar el modelo BIM en la década de los 70 y desde 2004, el gobierno federal ha requerido el uso de BIM en proyectos de construcción financiados por el gobierno.
- Reino Unido: El Reino Unido es líder en la implementación del BIM. En 2011, el gobierno británico lanzó la estrategia BIM Level 2, que estableció un conjunto de estándares y requisitos para el uso de BIM en proyectos de construcción públicos. (Meana, Bello, García, 2018)
- Países nórdicos (Suecia, Finlandia, Noruega, Dinamarca): Estos países también han adoptado ampliamente el uso de BIM en la industria de la construcción. Muchas ciudades y municipios tienen requisitos específicos de BIM para proyectos de construcción.
- Australia y Nueva Zelanda: En estos países, el uso de BIM ha ganado popularidad tanto en el sector público como en el privado. Se han implementado regulaciones y estándares para promover su uso. (Moret, 2020)
- Singapur: El gobierno de Singapur ha promovido activamente el uso de BIM como parte de su iniciativa "Smart Nation". Han establecido protocolos y mandatos para el uso de BIM en proyectos de construcción. (Moret, 2020)
- España: Su aplicación inicia desde el 2010 tomando como referencia los casos exitosos presentados en EEUU, algunos países nórdicos y medio oriente. (Tejedo, 2021)

Estos son solo algunos ejemplos de países donde el uso de BIM está más extendido. Sin embargo, el modelo BIM está ganando cada vez más popularidad en todo el mundo y se está implementando en muchos otros países y regiones a medida que la industria de la construcción reconoce sus beneficios en términos de eficiencia y colaboración.

Algunas obras de infraestructura donde se ha sido utilizado el Modelo de Información de Construcción (BIM) en la construcción han tenido gran relevancia para el desarrollo de varias ciudades, las más representativas son:

- Estación de Metro de Crossrail, Londres: La construcción de esta estación de metro de gran escala se realizó utilizando BIM para coordinar los diseños, mejorar la eficiencia y reducir los impactos ambientales. (Tejedo, 2021)
- El Edificio One World Trade Center, Nueva York: Este emblemático rascacielos fue diseñado y construido utilizando BIM para optimizar la coordinación entre los equipos de diseño y construcción, así como para mejorar la eficiencia del proceso constructivo. (Osca, 2017)
- El Puente de la Bahía de San Francisco, California: El diseño y la construcción de este puente icónico se beneficiaron de la implementación de BIM para ayudar en la coordinación de los múltiples equipos de diseño y construcción involucrados en el proyecto.
- El Aeropuerto Internacional de Denver, Estados Unidos: BIM se utilizó para gestionar la información y el diseño de las diversas instalaciones del aeropuerto, lo que permitió una mayor eficiencia en la coordinación y la gestión de la construcción.

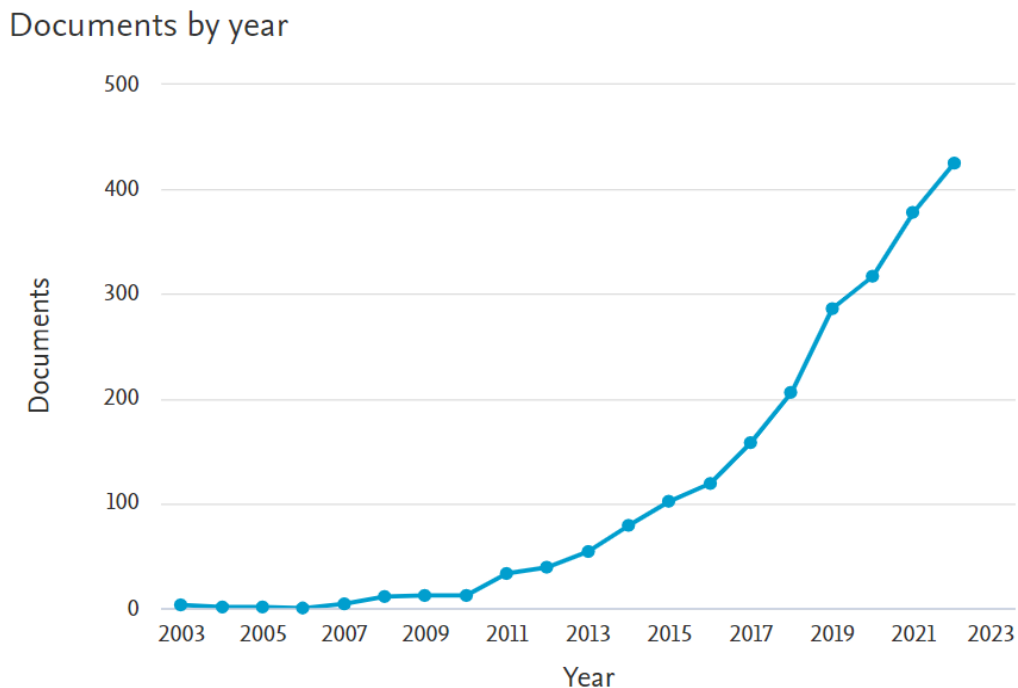
- Estos son solo algunos ejemplos de obras de infraestructura que se han beneficiado del uso del modelo BIM para optimizar el diseño, la construcción y la gestión de proyectos. El modelo BIM ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la eficiencia, reducir costos y minimizar los riesgos durante el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura.

Por último, en Colombia también se utilizado en modelado BIM en varias construcciones del sector público y privado; por ejemplo INVIAS - Instituto Nacional de Vías y el Ministerio de Transporte han impulsado el uso del modelo BIM en los proyectos y normativas de infraestructura en las vías nacionales para el procesos licitatorios y ejecución de obras públicas. Por otro lado, en el sector privado la Constructora bolivar, Arpro, Construcciones el Condor, Constricciones Sura, entre otros, ponen en práctica el modelo para la construcción de edificios, intercambio vial, hoteles y proyectos de vivienda. (Lizarazo, 2022)

Discusión

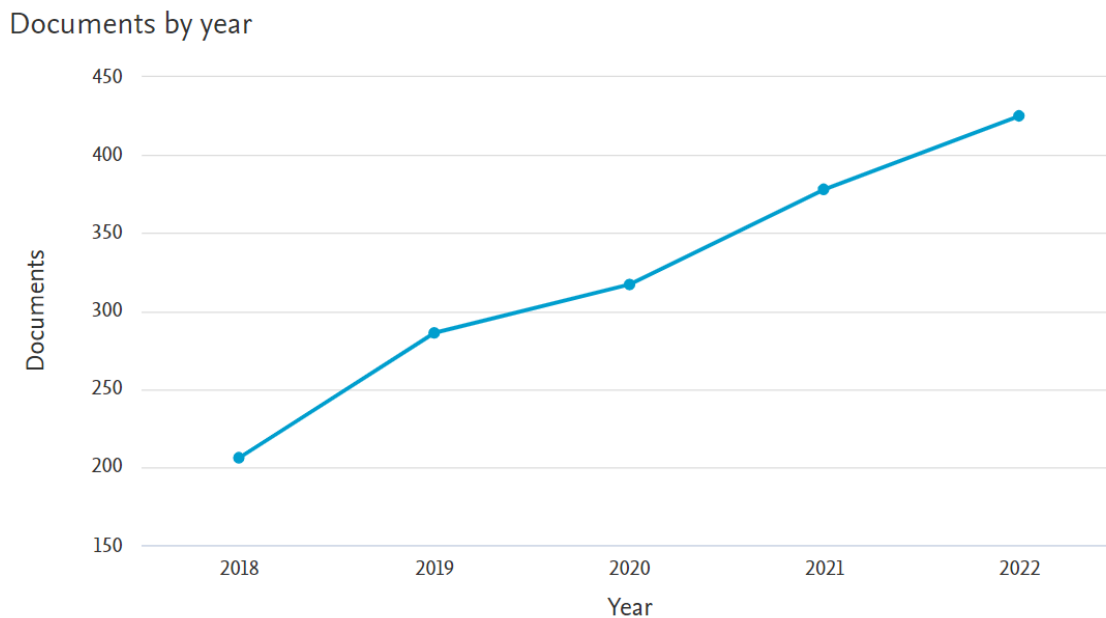
El objetivo del estudio bibliográfico es incrementar el interés de las personas acerca del tema de los drones, sus diversos usos y aplicaciones. Dentro de esta bibliografía revisada en la (*Ilustración 9*) se muestra con respecto a la búsqueda de drones e infraestructura, se encontraron un total de 2.240 artículos. En la (*Ilustración 10*) se muestra la tendencia en los últimos 4 años que resulta ascendente dado a los grandes descubrimientos de las funciones y los alcances de estas tecnologías para los proyectos, es por esto que vemos el aumento en la producción bibliográfica.

Ilustración 9: Gráfico de tendencia de los drones y monitoreo de infraestructura desde el año 2020 al año 2023



Fuente: Autores

Ilustración 10: Gráfico de tendencia de los drones y monitoreo de infraestructura desde el año 2018 al año 2022



Fuentes: Autores

De acuerdo con la información recolectada, se evidencia que el campo de información sobre el uso de drones especialmente en Colombia es muy escaso, debido a que este tipo de tecnología viene siendo explorada en tiempos recientes como complemento y ayuda en el campo laboral ya que solamente se había visto desde el punto recreativo. Es más común encontrar investigaciones e información bibliográfica de otros lugares del mundo como lo es Estados Unidos y China que son los principales pioneros en utilizar este tipo de aeronaves no tripuladas. Por consiguiente, no se ha tenido una aplicación de los drones dentro del territorio y los casos que se han realizado han sido poco documentados. Cabe destacar que Reino Unido, Alemania e India también utilizan los drones junto con la metodología BIM ayudando a evitar el margen de error humano al momento de construir estos proyectos, debido a que cuentan con cámaras y sensores de alta resolución, permitiendo así la captura de imágenes y datos en tiempo real, proporcionando así una visión más clara precisa del proceso y avances de la obra.(Hunink J, 2015)

Para una buena elección de la mejor opción del dron a utilizar es necesario la opinión de experto para garantizar la inversión y que sea rentable con el tiempo. Algunos de los drones más recomendados son DJI Matrice 300 RTK y el Autel Robotics EVO II que son resaltados por sus especificaciones anteriormente mencionadas. Así mismo, el monitoreo de infraestructura es muy relevante para los autores según la bibliografía.

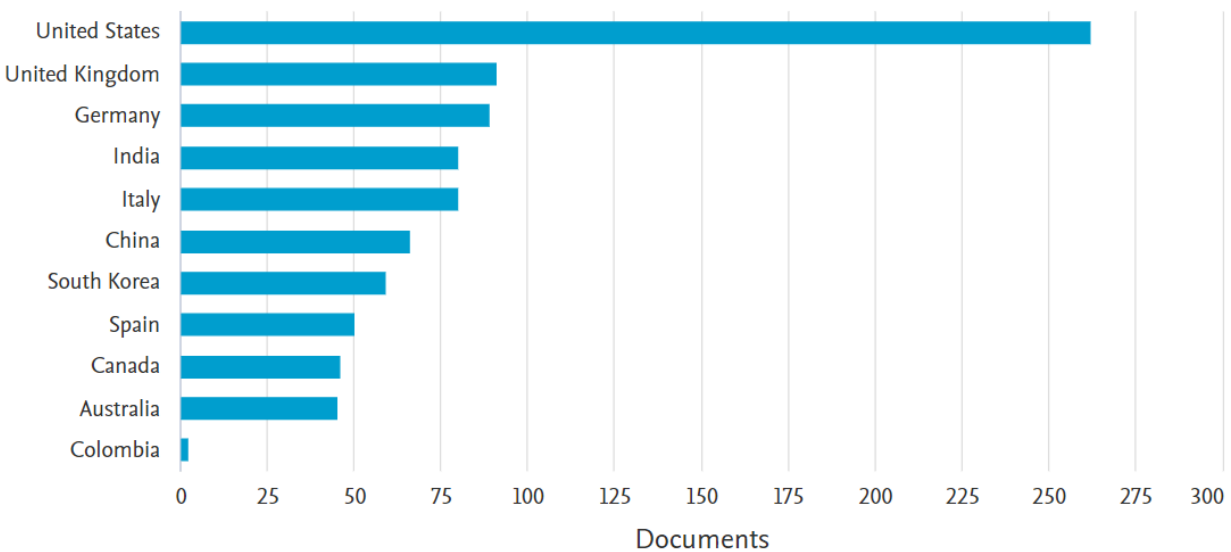
Respecto a la búsqueda de monitoreo de obras de infraestructura (*Ilustración 11*) se encontraron 1151 en la base de datos Scopus y los años con las publicaciones fueron el 2018 y 2022. Ahora bien, el país que más investiga drones para el seguimiento y monitoreo es Estados Unidos con 262

artículos, que emplea esta tecnología para carreteras, puentes, edificios, ferrocarriles, parques eólicos, entre otros; seguidamente viene Unión Europea con con 91 artículos, Alemania con 89, India con 80 e Italia 80 con sus investigaciones respecto al tema, destacándose su desarrollo en cuanto a la fotogrametría y topografía con drones. (Ilustración 12).

Ilustración 11: Gráfico de tendencia de países en investigación de drones e infraestructura

Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Fuente: Autores

Finalmente, la acogida favorable de las aeronaves no tripuladas (drones) para el seguimiento y monitoreo de obras de infraestructura ha ubicado a estos países a la vanguardia en la innovación en la gestión de proyectos, señalando un acontecimiento importante en la implementación de estos aparatos, donde se impulsa el desarrollo eficaz y sostenible en el ámbito de la infraestructura. Estas investigaciones han llevado a un mayor conocimiento en el tema, con una mejora constante.

Conclusiones

La investigación realizada muestra como la aplicación inteligente de los drones ha transformado la gestión de infraestructuras al proporcionar una visión precisa y oportuna que impulsa la toma informada de decisiones y promueve mejoras continuas. Los drones realizan seguimiento y monitoreo de una forma más rápida, eficiente y eficaz si se compara con métodos tradicionales, ya que permite cubrir una mayor superficie en cortos tiempos. Además, su capacidad de volar sin piloto reduce la necesidad de varios operarios que se ocupen de estas inspecciones en áreas de difícil acceso o que se pongan en peligro, evitando así el riesgo de accidentes o lesiones que traería más costos a las obras.

Cada día vemos como hay un incremento notable en la implementación de los drones en varios países como nuevas estrategias innovadoras, de acuerdo con lo analizado en los artículos revisados cada vez se tiene una tendencia favorable a esta implementación por sus altos beneficios. Además según la investigación realizada encontramos que Estados Unidos se posiciona como un gran líder en el uso de drones para el seguimiento y monitoreo de infraestructura, seguido por Reino Unido, Alemania e India. Otros países como España, Canadá y China muestran un gran interés por esta tecnología.

Independientemente del tipo de dron que se trate, su aplicación se encuentra en continua expansión y actualización. 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 y en particular para el desarrollo de obras de infraestructura ha sido implementada y bien recibida esta tecnología por todos los aportes que da al desarrollo de proyectos.

El modelo BIM es una herramienta muy utilizada en la construcción por su eficacia al momento de planificar, diseñar y gestionar proyectos, teniendo un gran impacto en la obra y minimizando costos reduciendo la probabilidad de errores durante las fases de diseño y construcción por su visualización tridimensional. Se espera que este modelo sea adoptado por más empresas y constructoras en sus proyectos.

Para finalizar los drones tienen un aporte muy grande con respecto a las obras de infraestructura, por su eficiencia, capacidad de análisis, recopilación de datos. Además, tiene impactos positivos en diversos sectores y favorece la calidad e innovación de la información ya que se integran con otros sistemas, como los sistemas de información geográfica (SIG), para proporcionar información más completa y precisa.

Bibliografía

Anantharam, B., Thiruvengadam, N. J., Arulmozhiarman, P., & Kanagasabai, K. (2018). Unmanned Aerial Vehicle (Drone) for Infrastructure Inspection. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.21), 290-292. <https://doi.org/10.3390/drones7060398>

Araujo Saicedo Jean Pier. (2017). Drones - Evolucion, Desarrollo y Aportes A La Ingeniería Civil | PDF | Vehículo aéreo no tripulado | Avión. <https://Drones-evolucion-Desarrollo-y-Aportes-a-La-Ingenieria-Civil>

Aplicaciones, P. Y. (s/f). INTRODUCCIÓN A LA VISIÓN ARTIFICIAL. Ucm.es. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/ddebb1a6-8474-4a20-91cb-78247481577f/content>

Bernal, M. A. (2016). Dificultades que enfrentará la infraestructura vial en Colombia de cara a la alianza pacífico . Universidad Cooperativa de Colombia.

Biblus. (2019). Drones for construction: drones as support for BIM processes. <https://biblus.accasoftware.com/es/drones-para-construccion-los-drones-como-soporte-de-los-procesos-bim/>

Technical Bulletin Economic Indicators Around Construction (IEAC) Cut September 07, 2022 Economic Indicators Around Construction (IEAC). (n.d.).

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

Drones para la construcción - Empresa Constructora Granada - Empresa de Construcción - QB Constructora. (n.d.). Retrieved October 10, 2022, from <https://www.qbconstructora.es/index.php/constructora-de-casas/drones-para-la-construccion.html>

El uso de drones reduce en un 75% algunos costos de las obras de construcción | ACIS. (n.d.). Retrieved October 11, 2022, from <https://acis.org.co/portal/content/noticiasdelsector/el-uso-de-drones-reduce-en-un-75-algunos-costos-de-las-obras-de-construccion>

Escamilla R (2010) Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV). Tesis. Instituto Politécnico Nacional. México. 74 pp.

Eslava Pedraza J, Martínez Sarmiento F, [...] Guevara Ibarra D, Investigación e Innovación en Ingenierías (2021) 9(1) 149-166

Eslava Pedraza, Jeison Eduardo; Martínez Sarmiento, Franyer Adrian; Soto Vergel, Angelo Joseph; Vera Roza, Edwin Jose; Guevara Ibarra, Dinael, Unmanned aerial vehicles as an alternative solution to innovation challenges in different fields of application (2021): *Research and Innovation in Engineering*, ISSN-e 2344-8652, Vol. 9, No. 1 (January-June), 2021, pp. 149-166

Gómez J, Tascón A, Informes de la Construcción (2021) 73(564)

Huamanchahua D, Huamanchahua J, Fanny-Flores F, 2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference, IEMTRONICS 2022

- 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).
- Jawhar I, Mohamed N, [...] Zhang S, Journal of Network and Computer Applications (2017) 84 93-108
- Kangunde, V., Jamisola, RS & Theophilus, EK Una revisión sobre drones controlados en tiempo real. En t. J. Dinám. Control 9 , 1832–1846 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00737-5>
- Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., & Zarzycki, H. (2016). Drones and Possibilities of Their Using Journal of Civil & Environmental Engineering Drones and Possibilities of Their Using.
<https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000233>
- Katsamenis I, Bimpas M, [...] Lopez R, ACM International Conference Proceeding Series (2022) 628-635
- Lizarazo, E. S. G. (2022). IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/44008/GalvisLizarazoEdwinSamuel2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lutkevich, B. (2021). ¿Qué es un dron? - Definición de WhatIs.com.
<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/drone>
- Meana, V., Bello, A., & García, R. (s/f). Analysis of the implementation of the BIM methodology in the spanish industrial engineering degrees under the competential perspective. Scielo.c., de
<https://www.scielo.cl/pdf/ric/v34n2/0718-5073-ric-34-02-169.pdf>
- Mesaroš, P., Mandičak, T., Behún, M., & Smetankova, J. (2018). Applications of Knowledge Technology in Construction Industry. ICETA 2018 - 16th IEEE International Conference on Emerging ELearning Technologies and Applications, Proceedings.
- Molinuevo, I. C. (2016). DRONES AND THEIR APPLICATIONS TO CIVIL ENGINEERING. MADRID SAVES WITH ENERGY. <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la-Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf>
- 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).
- Moret. Salvador. (2020, noviembre 16). BIM en el mundo hoy. Linkedin.com.
<https://www.linkedin.com/pulse/bim-en-el-mundo-hoy-salvador-moret-colomer/?originalSubdomain=es>
- Osca, C. (2017). Incidence of BIM in the architectural project-construction process: a house with REVIT. Degree in Fundamentals of Architecture.
<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102466/OSCA%20-%20EGA-F0097%20Incidencia%20del%20BIM%20en%20el%20proceso%20proyecto-construcci%C3%B3n%20de%20arquitectura%3A%20una%20vivi....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pabón S, Quintana H, Mejía C, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences (2021) 16(21) 2182-2190

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).

Portafolio. (2021). Drones, una herramienta que reduce tiempo y costo en construcciones | Más Contenido | Portafolio. <https://www.portafolio.co/mas-contenido/drones-una-herramienta-que-reduce-tiempo-y-costo-en-construcciones-554044> *PwC Soluciones Drones para Infraestructura*. (n.d.).

Rakha, T., Gorodetsky, A. Review of Unmanned Aerial System (UAS) Applications in the Built Environment: Towards Automated Building Inspection Procedures Using Drones(2018) Automation in Construction, 93, pp. 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.

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).

Tejedo Cerrato, L. (June 1, 2021). BIM methodology applied to the railway sector: audit of the PCI installation of a MADRID metro station. Final degree project to obtain a graduate degree in engineering in industrial technologies. Madrid, Spain, Spain: Polytechnic University of Madrid.

Thomas, O., Stallings, C., & Wilkinson, B. (2020). Unmanned aerial vehicles can accurately, reliably, and economically compete with terrestrial mapping methods. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8(1), 57–74. <https://doi.org/10.1139/JUVS-2018-0030>

Thomas, O., Stallings, C., & Wilkinson, B. (2020). Unmanned aerial vehicles can accurately, reliably, and economically compete with terrestrial mapping methods. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 8(1), 57–74. <https://doi.org/10.1139/JUVS-2018-0030>

VALAVANIS, K. P. y VACHTSEVANOS, G. J. Editores (2015): «Handbook of Unmanned Aerial Vehicles». Springer Science+business Media. Dordrecht (Holanda). Ø Jiang, Y., & Bai, Y. (Agosto de 2020). Estimation of construction site elevations using dronebased orthoimagery and deep learning. *Journal of Construction Engineering and Management*.

Vallejo-Borda, J. A., Gutierrez-Bucheli, L. A., Pellicer, E., & Ponz-Tienda, J. L. (2015). Behavior in Terms of Delays and Cost Overrun of the Construction of Public Infrastructure in. *Sibragec Elagec 2015*, 66–73.