


El uso de los drones en la construcción: Avances, aplicaciones y desafíos

The use of drones in construction: Advances, applications, and challenges

María Eugenia Acosta ¹

Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres, Mérida, Venezuela¹
Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kléber Ramírez, Mérida, Venezuela¹
macosta@cenditel.gob.ve¹

Fecha de recepción: 04/09/2023

Fecha de aceptación: 18/09/2023

Pág: 142 – 156

Resumen

La adopción de drones en la industria de la construcción ha desencadenado una transformación significativa en la forma en que se concibe, planifica y ejecutan proyectos de construcción y mantenimiento de infraestructuras. Desde el levantamiento topográfico y la inspección de estructuras hasta el monitoreo de obras y la colaboración con sistemas de realidad aumentada, los drones han demostrado ser herramientas versátiles para abordar los desafíos complejos en la construcción. Su capacidad para acceder a lugares difíciles de alcanzar y recopilar datos precisos ha impulsado la eficiencia y la calidad en cada etapa del proceso de construcción. Contrariamente, la adopción de drones no está exenta de retos. Las consecuencias legales y de privacidad son preocupaciones centrales, ya que estos dispositivos operan en un espacio compartido y capturan datos detallados. En este contexto se encuentra el presente ensayo, cuyo objetivo es mostrar los avances, aplicaciones y desafíos de los drones en la construcción, arquitectura e ingeniería civil, con un enfoque en su evolución tecnológica, utilidad práctica e implicaciones legales, de privacidad y de capacitación inherentes a su uso.

Palabras clave: arquitectura, construcción, drone, drones en la construcción, ingeniería civil, uso de drone.



Esta obra está bajo licencia CC BY-NC-SA 4.0.

Abstract

The adoption of drones in the construction industry has triggered a significant transformation in how construction and infrastructure maintenance projects are conceived, planned, and executed. From topographic surveying and structural inspections to construction site monitoring and collaboration with augmented reality systems, drones have proven to be versatile tools for addressing the complex challenges in construction. Their ability to access hard-to-reach areas and collect precise data has boosted efficiency and quality at every stage of the construction process. However, drone adoption is not without its challenges. Legal and privacy implications are central concerns since these devices operate in shared airspace and capture detailed data. This essay aims to showcase the advancements, applications, and challenges of drones in construction, architecture, and civil engineering, with a focus on their technological evolution, practical utility, and the legal, privacy, and training implications inherent in their use. .

Key words: architecture, construction, drone, drones in construction, civil engineering, drone usage.

Introducción

La industria de la construcción ha sido fundamental en el desarrollo y evolución de la sociedad a lo largo de la historia. Desde las pirámides de Egipto hasta los modernos rascacielos, la construcción ha dejado una huella duradera en la humanidad, al punto que es considerada un indicador del crecimiento económico y la prueba de su progreso. A medida que el mundo avanza y se adentra en la era de la tecnología, se buscan innovaciones que revolucionen y optimicen aún más este sector. Entre estas innovaciones, los drones han surgido como un recurso prometedor que no solo amplía las capacidades de la industria de la construcción, sino que también redefine su funcionamiento y su impacto en la sociedad contemporánea.

Los drones, originalmente concebidos para fines militares y de reconocimiento, han experimentado una impresionante transformación en las últimas décadas. Estas aeronaves no tripuladas han evolucionado desde dispositivos de control remoto básicos hasta plataformas tecnológicas avanzadas capaces de llevar a cabo una amplia gama de tareas en diversas áreas industriales. Si bien se utilizan para la fotografía aérea, la agricultura y la entrega de paquetes, su rol en la construcción ha emergido como un punto focal de rápido crecimiento.

La construcción, como uno de los sectores económicos más grandes e influyentes, contribuye en gran medida al desarrollo de infraestructuras críticas que respaldan la vida cotidiana, desde carreteras y puentes hasta edificios comerciales y residenciales. Sin embargo, este campo también se ha enfrentado a desafíos considerables, como la eficiencia limitada, la calidad de los

materiales, los costos elevados y la seguridad laboral.

En este contexto, los drones han florecido como agentes de cambio que prometen abordar muchas de estas preocupaciones de manera efectiva, pues afrontan problemas críticos que históricamente han afectado al sector de la construcción. La inspección y supervisión de grandes estructuras, como puentes y rascacielos, ha sido una tarea compleja y costosa que requiere una inversión significativa de tiempo y recursos. Además, los trabajadores en obras de construcción enfrentan riesgos inherentes que amenazan su seguridad y bienestar. También, proporciona soluciones eficientes, rentables y seguras para diversas tareas como levantamientos topográficos, creación de modelos 3D, captura de datos precisos y detallados desde el aire para agilizar los procesos en la obra y reducción de costos.

Estos desafíos han creado una oportunidad para la integración de drones en la industria de la construcción, y es aquí donde reside el enfoque central de este ensayo, con el objetivo de mostrar los avances, la aplicación de los drones en la construcción y analizar su impacto. A través de una investigación detallada y un análisis crítico, se busca exponer cómo los drones están transformando la concepción, planificación y ejecución de proyectos de construcción. Además, se examinarán las implicaciones más amplias que estas innovaciones tecnológicas tienen en el sector y en la sociedad en general.

Antecedentes y evolución de los drones en la industria de la construcción

Aunque solemos asociar los drones con los robots militares modernos, los aviones no tripulados han sido utilizados de una forma u otra durante décadas y su historia se enlaza con la evolución de la tecnología y la necesidad del hombre de explorar y superar los límites de lo posible. Sus orígenes pueden rastrearse, según explica Gross (2023) “a principios del siglo XX con el desarrollo del primer avión sin piloto” (párr. 2). Sin embargo, el impulso para crear drones se intensificó en la Segunda Guerra Mundial con aviones teledirigidos para vigilancia y reconocimiento aéreo. Los aviones controlados a distancia, conocidos como *pigeons* y *targets*, se emplearon para entrenar artilleros y probar sistemas de defensa antiaérea. Estos rudimentarios precursores de los modernos drones sentaron las bases para futuros desarrollos.

Si bien las aplicaciones militares y de reconocimiento dominaron el uso inicial de los drones, no fue hasta finales del siglo XX que la tecnología aeroespacial, la electrónica, la computación y la informática impulsaron notablemente el progreso exponencial de los modernos Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV del inglés *unmanned aerial vehicle*) conocidos comúnmente como *drone* (Gross, 2023), desde dispositivos simples controlados por radio hasta máquinas altamente sofisticadas capaces de operaciones autónomas. La miniaturización de componentes, el desarrollo de sistemas de comunicación más eficientes y las mejoras en la estabilidad de vuelo marcaron hitos significativos en esta evolución, dando lugar a una amplia gama de

usabilidades en diversas industrias, aprovechando la notable versatilidad que ofrecen.

A principios del 2000, se hicieron populares entre el público en general, con el lanzamiento del Parrot AR.Drone, que fue diseñado para uso recreativo y ganó terreno rápidamente (Gross, 2023). A medida que han dejado atrás su asociación primaria con fines militares, la industria de los drone se ha expandido al combinar sistemas de posicionamiento global (GPS) más accesibles y una mayor duración de la batería (Gross, 2023) para incursionar en áreas tan diversas como la agricultura de precisión, la monitorización del medio ambiente y la cartografía.

En los últimos años, han tomado protagonismo en diversos campos, como el cine y la fotografía, envío de paquetes, la búsqueda y rescate de personas, la respuesta a desastres naturales, la vigilancia fronteriza, así como en actividades recreativas y de entretenimiento. Estos avances han contribuido a que los drones se hayan convertido en un producto de consumo convencional en la sociedad actual.

El advenimiento de la tecnología de drones en la industria de la construcción marcó un hito importante en su evolución. Tradicionalmente, la construcción ha sido un proceso laborioso y costoso, afectado por limitaciones de tiempo y presupuesto. Aquí es donde los drones han demostrado su valía, al ofrecer soluciones efectivas. Su capacidad para arribar a áreas de difícil acceso, agilizar la inspección de estructuras y recopilar datos precisos ha revolucionado la manera en que se abordan los proyectos.

Los drones utilizados en la construcción no son meramente aviones teledirigidos; son herramientas altamente especializadas que se adaptan a las necesidades y desafíos del sector. Según Negrín (2018), por lo general se clasifican por su configuración o tamaño. La configuración se divide en dos categorías principales: los drones de ala fija, similares en apariencia a los aviones convencionales, donde las alas se encargan de la elevación, y los drones de ala rotatoria (multirotores), con sistema similar a los helicópteros dotados con sus múltiples rotores que impulsan su elevación. Los drones también pueden clasificarse respecto al tamaño/masa, siendo muy raro los que superan los 7 kilogramos, para evitar muchas de las regulaciones para su uso. Cada categoría posee características únicas que los hacen ideales para diferentes tareas.

En relación con su aprovechamiento en la industria de la construcción, los drones de ala fija, se destacan por una mayor autonomía y capacidad de cobertura. Estos dispositivos cubren grandes áreas de terreno en un solo vuelo, lo cual es necesario para el levantamiento topográfico y la cartografía detallada. Por otro lado, los drones de ala rotatoria, son más versátiles en espacios confinados y pueden mantenerse en el aire de manera estacionaria. Estas características los convierte en herramientas ideales para realizar inspecciones detalladas de estructuras como puentes, acueductos y edificios.

Uno de los avances más notables en la evolución de los drones es el aumento significativo en la autonomía de vuelo. Este logro ha sido posible en gran medida gracias al desarrollo de baterías más eficientes y livianas. Los drones modernos pueden operar durante períodos prolongados antes de requerir recarga, lo cual es crucial en tareas que demandan una cobertura extensa, como el mapeo topográfico o la inspección de líneas eléctricas.

La estabilidad en vuelo es otro aspecto que ha experimentado mejoras drásticas. Los sistemas avanzados de control y estabilización permiten que los drones se mantengan en posición incluso en condiciones climáticas adversas, garantizando la precisión en la captura de datos y la seguridad en vuelo.

Además de los avances en autonomía y estabilidad, la capacidad de carga de los drones ha experimentado un considerable aumento. Actualmente, son capaces de transportar sensores, cámaras y otros equipos especializados, ampliando sus capacidades en la construcción. La tecnología ha permitido la integración de cámaras de alta resolución, cámaras térmicas y sistemas *LIDAR* (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*, *Detección de Luz y Rango*) (Reuter y Pedenovi, 2019). Estos sensores están diseñados para recopilar datos precisos en diferentes modalidades, desde imágenes visuales hasta mapas de calor y modelos 3D, elementos de particular importancia en la industria de la construcción, donde la precisión en la captura de datos puede influir directamente en el diseño y la ejecución de proyectos al recolectar información en tiempo real, transformando la forma en que se evalúan y mantienen las estructuras.

La integración de sensores especializados ha desempeñado un papel fundamental en la detección temprana de problemas en las infraestructuras. Un ejemplo de ello es el uso de drones equipados con cámaras térmicas, que permiten identificar puntos calientes en paneles solares o sistemas eléctricos defectuosos. La pronta caracterización de estas anomalías no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a salvaguardar la seguridad tanto de la estructura como del equipo de trabajo involucrado.

Aplicaciones de drones en arquitectura e ingeniería civil: Transformando la construcción con innovación aérea

El sector de la construcción está en medio de una motivadora transformación digital, abriendo nuevas oportunidades para reinventarse y aprovechar las ventajas de las tecnologías emergentes. En este contexto, los drones se han posicionado como una herramienta de vanguardia que está revolucionando la forma en que concebimos, diseñamos, construimos y gestionamos nuestras infraestructuras.

En el campo de la arquitectura y la ingeniería civil, los drones han superado las limitaciones humanas y llevado la construcción hacia nuevas perspectivas. Su versatilidad y capacidades

técnicas han posibilitado un enfoque más eficiente, preciso y sostenible para una variedad de tareas. Desde los estudios preliminares hasta el mantenimiento de obras, estos dispositivos han demostrado ser una herramienta invaluable para agilizar los procesos y mejorar la toma de decisiones en el sector de la construcción.

Esta innovación está creando un entorno de construcción moderno y altamente automatizado, donde los drones desempeñan un papel fundamental. Con su capacidad para capturar imágenes de alta resolución, generar modelos tridimensionales y recopilar datos en tiempo real, los drones ofrecen a arquitectos, ingenieros y profesionales del sector una visión más completa y detallada de los proyectos, lo que a su vez permite una planificación precisa, una gestión eficiente de recursos y como resultado una reducción en los costos de la obra.

Para que su uso sea efectivo en la industria de la construcción, Sisternes (2022) sostiene que deben disponer de características y tecnologías específicas, tales como:

- Programar la tecnología para obtener sólo los datos que nos interesan.
- Ir equipados con sensores de imagen de alta gama (RGB, Zoom, Infrarojo, y LIDAR).
- Ser manejados por un profesional acreditado (s.p.).

En este sentido, exploraremos las diversas aplicaciones de los drones en arquitectura e ingeniería civil, y cómo están transformando la construcción, abriendo un mundo de posibilidades en el área, a continuación se detallan:

Levantamiento topográfico y creación de modelos 2D y 3D

Uno de los avances más notables en la industria de la construcción gracias a los drones es la capacidad de realizar levantamientos topográficos precisos y crear modelos detallados de terrenos y áreas.

Típicamente, estos procesos previos requerían una inversión significativa de tiempo y recursos humanos, además de la posibilidad de inexactitudes debido a las limitaciones de acceso. Los drones han eliminado gran parte de esta complejidad al permitir la captura aérea de datos mediante sensores y cámaras de alta resolución. Knisely (2020) explica que “en función de los sensores y del software de topografía que se elija, se generan diferentes tipos de datos” (s.p.) con distintos niveles de precisión, según las necesidades del proyecto.

Luego, estos datos se emplean para producir modelos digitales que representan la topografía de una zona determinada, en diferentes formatos (como ortomosaico, nube de puntos, modelos digitales del terreno (MDT), modelos digitales de superficie (MDS), curvas de nivel, mapas térmicos y multiespectrales, entre otros). Cada píxel del mapa producido o cada punto del

modelo 2D y 3D contiene información geográfica primordial en la fase de diseño y planificación, permitiendo a los ingenieros y arquitectos tomar decisiones basadas en datos precisos y fundamentados.

Inspecciones y monitoreo de estructuras

La inspección de estructuras, es una parte fundamental de la construcción y el mantenimiento. Sin embargo, estas tareas a menudo son peligrosas y requieren tiempo y recursos considerables. Aquí es donde los drones entran en juego, brindando una alternativa segura y eficiente.

Los drones equipados con cámaras de alta resolución y sensores especializados pueden inspeccionar estructuras desde múltiples ángulos, describe Acosta (2023) que los algoritmos de aprendizaje automatizado analizan los datos aportados por los drones para descubrir defectos, daños y anomalías, y proporcionar datos al instante a los ingenieros. Estos dispositivos también tienen la capacidad de detectar irregularidades en tiempo récord y grabar imágenes en vivo para una mejor supervisión remota de las obras.

Esto no solo reduce los riesgos para los trabajadores, sino que también mejora la precisión de las inspecciones y permite un óptimo control de calidad y una toma de decisiones más informada, además de favorecer la longevidad de las obras civiles.

Inspecciones de infraestructuras (puentes, represas, túneles, etc.)

Las infraestructuras críticas, como puentes, represas y túneles, requieren inspecciones regulares para asegurar su seguridad y funcionamiento adecuado. Normalmente, esta actividad amerita equipos y procedimientos costosos, así como el cierre temporal de vías importantes.

Los drones han revolucionado este proceso al posibilitar inspecciones no invasivas y en tiempo real. Sus sensores y cámaras especializadas identifican problemas como fisuras, corrosión y otros daños estructurales sin requerir el acceso físico directo. Aspecto que no solo aumenta la seguridad de los inspectores, sino que también reduce el tiempo de inactividad de la infraestructura. Además, “permitirá al personal técnico ejecutar inspecciones más precisas y rápidas” (Acosta, 2023, p. 123).

Evaluación del impacto ambiental y de construcción

La construcción en entornos urbanos conlleva desafíos únicos relacionados con la logística, el impacto ambiental y la interacción con la comunidad circundante. Los drones han demostrado ser herramientas valiosas para evaluar los efectos de los proyectos de construcción en estas áreas.

Mediante la captura de imágenes aéreas y la recopilación de datos ambientales, los drones contribuyen a comprender cómo un proyecto influirá en su entorno. Según lo señalado por Castillo (2021), “dependiendo de la situación, se pueden conocer detalles ambientales de sitios inaccesibles, tomar imágenes termales, realizar fotomosaicos, entre otras opciones.” (párr. 5).

Esto incluye la identificación de posibles problemas de tráfico, alteraciones en la calidad del aire y la detección de cambios en el paisaje urbano, información que es crucial para la toma de decisiones y la mitigación de impactos negativos.

Colaboración con sistemas de realidad virtual y aumentada

La realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) han revolucionado la forma en que visualizamos y experimentamos el diseño arquitectónico. Los drones pueden integrarse con estas tecnologías para crear modelos tridimensionales precisos y realistas de proyectos en desarrollo. La colaboración entre drones y RV/RA al usar la experiencia inmersiva, acelera el proceso de diseño y mejora la comunicación de todas las partes involucradas.

Esto permite a los diseñadores y a los inversores explorar virtualmente los espacios previo a su construcción, identificando problemas potenciales y realizando ajustes antes de que comiencen las obras físicas. Detalla Brack (2019) que esta experiencia da a todas las partes interesadas una mayor exposición a los detalles de un proyecto durante el ciclo de vida completo.

Supervisión y control de obras

La supervisión de obras es un aspecto decisivo para garantizar que un proyecto avance de acuerdo con los planes y las especificaciones. Los drones pueden documentar y proporcionar una visión en tiempo real del progreso de la construcción, permitiendo a los gerentes de proyectos tomar decisiones informadas y ajustar los cronogramas según sea necesario.

La capacidad de capturar imágenes aéreas y datos de forma regular facilita la verificación geométrica y la detección anticipada de posibles retrasos y desviaciones, lo que resulta en ahorro de tiempo y recursos. Estas ventajas contribuyen a un proceso de supervisión más eficiente y efectivo en la industria de la construcción.

Según Brack (2019), el uso de drones en la inspección de obras proporciona una capa extra de control y monitorización del proyecto durante la ejecución, contribuyendo a asegurar el progreso real y a aumentar el rendimiento general del proceso de construcción.

Transporte de materiales y equipos en zonas de difícil acceso

En entornos de construcción remotos o de difícil acceso, el traslado de materiales y equipos puede presentar un desafío logístico. Los drones han demostrado su utilidad en esta situación al

proporcionar una solución rápida y eficiente. Pequeños dispositivos de carga pueden transportar materiales a áreas inalcanzables para maquinaria pesada o terrenos difíciles (Arias, 2021), lo cual resulta especialmente útil en la construcción de infraestructuras en lugares alejados, como torres de energía eólica, torres de comunicación o zonas montañosas sin acceso.

Asistencia en tareas de montaje y construcción

La fase de montaje y construcción es crítica para garantizar la calidad y la durabilidad de una estructura. Los drones pueden desempeñar un papel activo en esta etapa, ya sea proporcionando asistencia en la colocación de componentes o ayudando en la instalación precisa de elementos.

Los drones pueden llevar a cabo tareas que serían difíciles o peligrosas para los trabajadores humanos, como el posicionamiento de vigas o estructuras metálicas en construcciones altas o la colocación de paneles solares en techos de difícil acceso. Utilizando sistemas de navegación y cámaras de alta resolución, los drones pueden volar hasta la ubicación deseada y colocar o monitorear los componentes de manera precisa y segura (Arias, 2021).

Optimización de logística y planificación en el sitio de construcción

La gestión eficiente de la logística en el sitio de construcción es necesaria para evitar retrasos y maximizar la productividad. Los drones pueden desempeñar un papel crucial al optimizar la planificación y la distribución de recursos (Arias, 2021). Mediante el monitoreo de la circulación de vehículos, la disposición de materiales y la asignación de trabajadores, los drones proporcionan datos en tiempo real que ayudan a los gerentes de proyectos a tomar decisiones informadas para una ejecución más fluida de la construcción.

Seguimiento y medición de progreso en proyectos de construcción

El seguimiento preciso del progreso en los proyectos de construcción es vital para mantenerse en el camino correcto y cumplir con los plazos establecidos. Los drones pueden desempeñar un papel importante en esta tarea, proporcionando una vista panorámica de todo el sitio de la obra.

Con la capacidad de volar y capturar imágenes y videos desde diferentes ángulos (Arias, 2021), los drones permiten a los gerentes de proyectos evaluar visualmente el estado de cada área de construcción. Esto proporciona una visión completa y detallada del progreso y ayuda a identificar posibles desviaciones o retrasos en el cronograma.

Además, los drones pueden recopilar datos a lo largo del tiempo, facilitando un análisis detallado del avance del proyecto. Esta información puede ser utilizada para generar documentos y gráficos que muestran el progreso realizado en comparación con los hitos establecidos. El

monitoreo regular y el estudio de estos datos ayudan a los gerentes a identificar posibles dificultades o retrasos antes de que se conviertan en problemas mayores.

Monitoreo de sitios de construcción para garantizar la seguridad laboral

La seguridad laboral es una preocupación central en la industria de la construcción. Los drones pueden contribuir significativamente al monitorear las áreas de trabajo en busca de condiciones peligrosas o situaciones de riesgo. Detectar riesgos potenciales, como la presencia de materiales peligrosos o la acumulación de escombros, permite a los equipos tomar medidas preventivas antes de que ocurran incidentes.

Según Acosta (2023) los drone “pueden detectar peligros inminentes y alertar a los trabajadores para evitar lesiones. Igualmente, monitorizan el cumplimiento de normas de seguridad y protocolos en el lugar de trabajo” (p. 123).

El monitoreo de sitios de construcción con drones no solo mejora la seguridad laboral, sino que también puede aumentar la eficiencia y la productividad. Al identificar y abordar rápidamente los riesgos, se evitan retrasos y se minimizan los costos derivados de accidentes o lesiones laborales.

Apoyo en la gestión de residuos y reciclaje

La gestión adecuada de los desperdicios de construcción y la promoción de prácticas sostenibles son aspectos fundamentales en la industria moderna. Los drones pueden contribuir al monitoreo y la gestión de residuos en el sitio de construcción (Castillo, 2021). Al capturar imágenes aéreas y datos sobre el flujo de residuos, los drones identifican áreas de acumulación y evalúan la eficacia de los sistemas de reciclaje y eliminación.

También se pueden utilizar drones para la exploración de ruinas producidas por desastres naturales y calamidades, y para la predicción de la cantidad de carbono orgánico en el suelo.

Avances tecnológicos esperados en el desarrollo de drones en la construcción: Hacia una era de innovación continua

Tal como se ha mencionado antes, la adopción de drones en la construcción, arquitectura e ingeniería civil ha demostrado ser una estrategia transformadora, al aumentar la eficiencia, mejorar la seguridad y promover la innovación. Sin embargo, este campo está lejos de alcanzar su máximo potencial. A medida que la tecnología sigue avanzando a un ritmo vertiginoso, es imperativo anticipar los desarrollos futuros que redefinirán aún más el papel de los drones en estas industrias. Desde la integración de drones en los procesos de construcción hasta los desafíos legales y de capacitación, esta sección explora los avances tecnológicos esperados y cómo impactarán en la industria en las próximas décadas. Algunas de las perspectivas son:

- **Integración de los drones en los procesos de construcción:** Una de las tendencias más prometedoras en la evolución de los drones es su incorporación profunda en los procesos de construcción. A medida que la automatización y la digitalización siguen transformando las operaciones industriales, los drones están destinados a desempeñar un papel trascendental. Se aspira que estos dispositivos sean utilizados, no solo para tareas específicas, como inspecciones y levantamientos, sino también como parte integral del ciclo de vida de un proyecto (Rodríguez y Ramírez, 2023). Imaginemos un futuro donde drones autónomos participan en cada etapa del proceso de construcción, desde la planificación hasta la ejecución y el mantenimiento. Estos drones podrían ser programados para monitorear el progreso en tiempo real, ajustar la planificación en función de los datos recopilados y colaborar con otros equipos robóticos en el sitio. Esta integración completa podría reducir aún más los tiempos de construcción, aumentar la precisión y permitir un control granular sobre los recursos empleados.
- **Mejora en la autonomía y capacidad de carga:** Los drones están experimentando una rápida evolución en cuanto a sus capacidades de vuelo y carga útil. Se espera que en el futuro sean capaces de transportar cargas de mayor peso y llevar a cabo tareas complejas, convirtiéndolos en herramientas aún más versátiles en el ámbito de la construcción.
- **Avances en la tecnología de sensores y cámaras:** Los drones están equipados con una variedad de sensores y cámaras que les permiten recopilar datos precisos y detallados. Se espera que los avances en esta tecnología mejoren la calidad de las imágenes y la capacidad de detección, lo que facilitará una inspección exhaustiva de los emplazamientos de construcción y una identificación más precisa de riesgos y problemas potenciales.
- **Desarrollo de software y análisis de datos:** El análisis de los datos recopilados por los drones es una parte crucial de su utilidad en la construcción. Se anticipa que se desarrollen nuevas herramientas y software que permitan un procesamiento más rápido y eficiente de la información, así como análisis más avanzados. Esto contribuirá a extraer información valiosa y a tomar decisiones fundamentadas y basadas en datos.

Enfrentando la nueva era de la construcción: Implicaciones legales, de privacidad y la necesidad de capacitación en el uso de drones

Implicaciones legales y regulatorias

A medida que los drones se convierten en una herramienta esencial en la industria de la construcción, los marcos legales y regulatorios deben evolucionar para abordar los nuevos desafíos que plantean. Los drones operan en un espacio aéreo compartido, lo que puede llevar a colisiones con aeronaves tripuladas y plantear riesgos de seguridad significativos. Por lo tanto, es crucial convenir reglas claras acerca de dónde y cómo pueden volar los drones, así como

establecer requisitos para la capacitación y licencia de los pilotos.

Como señala Gross (2022), para operar un dron en Venezuela, es necesario recibir la debida autorización y obtener una licencia válida, además la aeronave debe estar registrada en el Registro Nacional de Aviación (RAN) y lograr un Certificado de Aeronavegabilidad de la CAA (Autoridad de Aviación Civil).

La propiedad de los datos recopilados por los drones también es un área legalmente compleja. La información capturada por estos dispositivos, como imágenes, videos y mediciones, pueden tener implicaciones significativas en términos de propiedad intelectual y derechos de privacidad.

Desafíos de privacidad

A medida que los drones se vuelven omnipresentes en los sitios de construcción y en entornos urbanos, surgen preocupaciones en torno a la privacidad y la seguridad de los datos. Estos dispositivos pueden capturar imágenes aéreas minuciosas de áreas públicas y privadas, planteando cuestionamientos acerca de la invasión de la privacidad de las personas. Los datos obtenidos por los drones tienen el potencial de revelar información personal, patrones de comportamiento y hábitos de los individuos, lo que podría ser susceptible de uso indebido.

La mitigación de estas preocupaciones requiere la implementación de salvaguardias adecuadas. Las regulaciones deben especificar dónde pueden operar los drones y cómo se pueden usar los datos recopilados.

Citando a Gross (2022), en Venezuela, es obligatorio mantener en todo momento los drones a 9 kilómetros de los aeropuertos, así como a 1,8 kilómetros de los recintos gubernamentales y de las fuerzas de defensa, como instalaciones militares, bases, campamentos, estaciones de policía, instituciones correccionales o centros de detención.

Adicionalmente, con el fin de asegurar la seguridad, todas las operaciones deben realizarse durante el día y, en función del tipo de dron, se aplican restricciones en cuanto a la altura de ascenso, siendo necesario permanecer por debajo de los 400 pies de altitud. Para llevar a cabo registros, es imperativo mantener distancia de propiedades de carácter privado y de zonas pobladas, a menos que se cuente con el permiso correspondiente.

La anonimización de datos y la limitación de la recopilación a lo que sea estrictamente necesario son pasos claves para proteger la privacidad de las personas. La transparencia en el uso de drones y la educación pública sobre sus capacidades y limitaciones también son vitales para abordar estas preocupaciones.

Necesidad de capacitación y formación

Si bien los drones pueden potenciar la eficiencia y la precisión en la construcción, su operación no está exenta de desafíos técnicos y de seguridad. La capacitación y formación adecuadas son imperativas para garantizar un uso seguro y efectivo de esta tecnología. Los pilotos de estos dispositivos deben conocer no solo los aspectos técnicos de la operación de las aeronaves, sino también las regulaciones locales y las mejores prácticas de seguridad aérea.

Los expertos en la industria de la construcción, tales como ingenieros y arquitectos, también deben someterse a una formación especializada en la interpretación y aplicación de los datos adquiridos mediante drones. Para llevar a cabo una planificación y ejecución eficaz de proyectos, se requiere una serie de competencias específicas. La capacitación en la incorporación de los datos provenientes de drones en software de modelado y planificación es crucial para optimizar su valía en todas las fases de un proyecto.

Reflexiones finales

La evolución de los drones en la industria de la construcción marca un motivador capítulo en la intersección de la tecnología y la ingeniería. Desde sus orígenes como herramientas de reconocimiento militar hasta su integración en otros campos, los drones han experimentado notables avances en términos de autonomía, estabilidad y capacidad de carga. Su adaptación para transportar sensores y cámaras especializadas ha transformado la forma en que abordamos los proyectos donde son utilizados.

En ese sentido, la adopción de drones en la arquitectura y la ingeniería civil ha desatado una serie de aplicaciones revolucionarias que enfrentan los desafíos históricos en la construcción. Desde el levantamiento topográfico y la inspección de estructuras hasta la optimización logística y la supervisión de obras, estos dispositivos han redefinido cómo concebimos y ejecutamos proyectos de construcción. Su capacidad para llegar a áreas previamente inaccesibles, recopilar datos precisos y mejorar la seguridad laboral ha revolucionado la industria, impulsando la eficiencia y la calidad en todas las fases del proceso de construcción.

La incorporación de drones en los procedimientos constructivos constituye un avance trascendental hacia un futuro tecnológico avanzado. Se anticipa una perspectiva en la que drones autónomos colaboren con dispositivos robóticos y sistemas de Inteligencia Artificial (IA) para ejecutar labores constructivas complejas, monitorear el progreso y realizar ajustes en tiempo real. Esta integración profunda tiene el potencial de acelerar aún más los procesos de construcción, reducir los costos y minimizar los riesgos.

Sin embargo, junto con estos avances tecnológicos, surgen desafíos significativos que deben abordarse con precaución. Las preocupaciones legales y de privacidad son áreas críticas que

requieren atención. Las regulaciones deben evolucionar para mantenerse al día con la rápida adopción de drones en la construcción. Es necesario establecer reglas claras sobre dónde pueden operar y cómo pueden gestionarse y protegerse los datos recopilados. La privacidad de las personas y la protección de los derechos de propiedad intelectual deben ser salvaguardados en este nuevo escenario tecnológico.

Por otro lado, la capacitación y la formación resultan elementales para aprovechar al máximo los beneficios que ofrecen. Los profesionales deben demostrar competencia tanto en la operación técnica como en la interpretación y aplicación de los datos generados por estos dispositivos. La colaboración y cooperación entre instituciones educativas, la industria tecnológica y de la construcción, los profesionales y los reguladores, es elemental para establecer estándares de capacitación y garantizar un uso responsable de los drones, asegurando que esta evolución sea provechosa tanto para la eficiencia de la construcción como para el bienestar de la sociedad en general.

A su vez, la convergencia de la tecnología de drones con la inteligencia artificial agrega una dimensión aún más profunda a esta evolución. La capacidad de estos dispositivos para recopilar datos y la habilidad de la IA para analizarlos y tomar decisiones permiten una optimización mayor en el ámbito de la construcción. No obstante, es necesario abordar los costos iniciales y en curso, así como garantizar una supervisión constante y una verificación rigurosa de los modelos de IA para prevenir errores o resultados incorrectos. La calidad de los datos y los modelos utilizados en las herramientas de IA resulta fundamental para lograr el éxito de esta combinación.

Evidentemente, nos encontramos ante un emocionante camino hacia una nueva era en la que los drones y la tecnología están destinados a convertirse en una fuerza positiva y transformadora en la industria de la construcción.

Referencias

- Acosta, M. (2023). La Inteligencia Artificial en la ingeniería civil. *Conocimiento Libre y Licenciamiento (CLIC)*, (27), 113-126. <https://convite.cenditel.gob.ve/revistacliv/index.php/revistacliv/article/view/1184>
- Arias, K. (2021). *Análisis del uso de Drones en operaciones logísticas de distribución en el sector transporte. Una revisión sistémica de literatura* (Monografía compilatoria para optar al Título Profesional de Administrador Logístico). Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10935>
- Brack, M. (2019). *Drones, realidad virtual y robots, las herramientas que ayudarán a una construcción más sostenible*. Ferrovial Blog. <https://blog.ferrovial.com/es/2019/10/drones-realidad-virtual-robots-herramientas-construccion-sostenible/>

- Castillo, F. (2021). *Drones en estudios de impacto ambiental*. INGEAC Ingeniería y Ambiente. <https://ingeac.com.ar/drones-estudios-impacto-ambiental/>
- Gross, R. (2022). *Nuevas leyes sobre drones en Venezuela (2023 Actualizado)*. Propel RC. <https://www.propelrc.com/es/drone-laws-in-venezuela/>
- Gross, R. (2023). *Evolución completa e historia de los drones: De 1800 a 2022*. Propel RC. <https://www.propelrc.com/es/historia-de-los-drones/>
- Knisely, T. (2020). *Todo lo que necesitas saber sobre topografía con drones*. DJIEnterprise. <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-topografia-con-drones>
- Negrín, A. (2018). *Control y monitorización de un prototipo de dron con NI myRIO y LabVIEW* (Trabajo Fin de Grado en Ingeniería eléctrica). Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/115401>
- Reuter, F. y Pedenovi, A. (2019). *Los Drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería*. Universidad Nacional de Santiago del Estero. <https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/SD-43-Drones-y-su-aplicacion-a-la-ingenieria-REUTER.r.pdf>
- Rodríguez, M. y Ramírez, S. (2023). *Drones en la construcción: el valor que las tecnologías de drones aportan al sector de la construcción en América Latina*. MoviliBlog. <https://blogs.iadb.org/transporte/es/drones-en-la-construccion-el-valor-que-las-tecnologias-de-drones-aportan-al-sector-de-la-construccion-en-america-latina/>
- Sisternes, A. (2022). *Arquitectura, BIM y ¿Drones?* Reto KÖMMERLING. <https://retokommerling.com/arquitectura-bim-drones/>