

DILEMAS Y PERSPECTIVAS DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA Y URBANISMO ¹

*DILEMMAS AND PERSPECTIVES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES
IN THE FIELD OF ARCHITECTURE AND URBANISM*

LEANDRO LUDWIG, MARCOS ANTÔNIO MATTEDI, RICARDO SILVA

RESUMO

El texto aborda el uso de los Vehículos Aéreos no Tripulados (popularmente conocidos como *drones*) en el campo de la Arquitectura y Urbanismo. Específicamente, investiga los tipos y especificaciones de Vehículos Aéreos no Tripulados utilizados en el área, así como los beneficios y limitaciones de las principales aplicaciones. El objetivo es comprender cómo los Vehículos Aéreos no Tripulados son aplicados y ofrecen subsidios a los nuevos enfoques. Se argumenta que los Vehículos Aéreos no Tripulados modifican y potencian los procesos en el campo de la Arquitectura y Urbanismo, tal como los procesos de proyecto, planeamiento, enseñanza y construcción. Para desarrollar este argumento, el texto se divide en tres partes principales: (1) Tipos y especificaciones de los Vehículos Aéreos no Tripulados; (2) Beneficios, limitaciones y aplicaciones en la arquitectura; (3) Nuevos enfoques.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitectura y Urbanismo. Dinámicas urbanas. Vehículos Aéreos no Tripulados.

ABSTRACT

The text addresses the use of Unmanned Aerial Vehicles (popularly known as drones) in the field of Architecture and Urbanism. More specifically, it investigates the types and specifications of the Unmanned Aerial Vehicles used in the area, as well as the benefits and limitations of their main applications. The goals of the article are to understand how drones are applied and to provide subsidies for new approaches. It is argued that Unmanned Aerial Vehicles modify and potentiate the processes in the field of Architecture and Urbanism, as well as the processes of design, planning, teaching, and construction. To develop this argument the text is divided into three main parts: (1) Types and specifications of Unmanned Aerial Vehicles; (2) Benefits, limitations, and applications in Architecture and Urbanism; (3) New approaches.

KEYWORDS: Architecture and Urbanism. Urban dynamics. Unmanned Aerial Vehicles.

INTRODUÇÃO

LA RECIENTE POPULARIZACIÓN de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) sugiere que esta tecnología es un fenómeno nuevo. Aunque su utilización se expandió solamente en las últimas décadas, la sociedad hace el uso de VANT desde el siglo XIX. Según Kim y Davidson (2015), los primeros registros indican aplicaciones en el área militar, cuando en 1849 los austríacos lanzaron 200 globos no tripulados para bombardear la ciudad de Venecia. Históricamente, la tecnología de los VANT fue conducida por aplicaciones militares y posteriormente convertida en aplicaciones civiles. También la utilizaron en la guerra de Vietnam, Bosnia, Afganistán e Irak (FAHLSTROM; GLEASON, 2012; KREPS, 2016). Entre los principales usos civiles de la tecnología, se destaca una gama de utilidades en la agricultura de precisión (HONKAVAARA et al., 2013), seguimiento de vegetación (AASEN et al., 2015), fotogrametría y detección remota (COLOMINA; MOLINA, 2014).

Los VANT no solamente incorporan las dinámicas urbanas, sino que también las modifican (KELLY, 2014; UNITED STATES, 2016). Por lo tanto, y tal como el desarrollo de los coches modificó la dinámica urbana de espacios públicos en el suelo, los vehículos aéreos no tripulados pueden modificar la dinámica urbana del espacio aéreo. El desarrollo acelerado de esta tecnología, aliada a la reducción del precio y su tamaño, está popularizando su uso y aplicación en diversos segmentos. Según Custers (2016, p. 371), la prohibición de VANT en las ciudades “ya no es una opción realista”. Como consecuencia de la inevitable e intensa ocupación del espacio aéreo, las dinámicas urbanas pasarán a ser tridimensionales (RAWN, 2015). Por lo tanto, la comprensión sobre la tecnología de los VANT por parte de los arquitectos es muy importante, no solamente para que podamos reflexionar sobre cómo la tecnología transformará las dinámicas urbanas en el futuro, sino que también para que podamos repensar y perfeccionar sus prácticas.

Históricamente, las tecnologías emergentes modificaron la forma de pensar la arquitectura y los espacios de las ciudades y, por consiguiente, han modificado la forma en que las ciudades están diseñadas. Al idealizar *Broadacre City*, Frank Lloyd Wright introdujo componentes como vehículos aéreos tripulados (KEATS, 2014), muy semejantes a los helicópteros y actuales VANT, para modificar la concepción de densidad y proximidad en las ciudades. El movimiento vanguardista *Archigram*, idealizó la *Walking City* en la década de 1960, presentando escenarios extremos donde la tecnología y la arquitectura se funden (SADLER, 2005). Actualmente, nuevos materiales y tecnologías tales como impresoras 3D, drones, realidad aumentada y robótica han posibilitado expandir los límites de la arquitectura en el presente, e incluso de provocar el imaginario de los arquitectos hacia nuevas visiones de ciudades para el futuro cercano.

Los VANT se han desarrollado a una velocidad que supera la capacidad de las personas de comprender sus implicaciones (CUSTERS, 2016). En este contexto, Bartsch, Coyne y Gray (2017), enfatizan la necesidad de comprender sus impactos en la sociedad. Según los registros de la *Agência Nacional de Aviação Civil* (2018), existen en Brasil aproximadamente 39 mil VANT registrados. En los Estados Unidos, donde el uso de VANT está más popularizado, registros de la *Federal Aviation Administration* (UNITED STATES, 2018) indican que hay más de un millón de VANT registrados en el territorio norteamericano. Con todo, cabe a los arquitectos investigar cautelosamente las diversas consecuencias deseadas y no deseadas de esta tecnología en sus prácticas profesionales y, de forma paralela, en la espacialidad de las ciudades. Desde un punto de vista teórico, el artículo tiene por objetivo profundizar el conocimiento disponible sobre el tema y fortalecer la búsqueda sobre VANT como herramienta para el campo de la arquitectura. Por otro lado, el punto de vista práctico ofrece una contribución para el mejoramiento de VANT orientados a la arquitectura como también posibilitar el desarrollo de nuevas aplicaciones y enfoques.

Así, el artículo tiene como objetivo ofrecer un aporte para consolidar y nortear el uso de VANT en el campo de la arquitectura y así posibilitar el desarrollo de nuevas aplicaciones y abordajes. Se argumenta que los VANT modifican el campo de la arquitectura en sus múltiples dimensiones, tales como procesos de proyecto, planeamiento, enseñanza y construcción. De esta manera, el texto se divide en cuatro cuestiones de investigación: (a) cómo los VANT operan y son clasificados; (b) cuáles son los beneficios, limitaciones y las principales aplicaciones como herramienta en la arquitectura; (c) cuál es la estructura ideal de un VANT para la arquitectura; (d) cómo los VANT pueden integrar las herramientas *Building Information Modelling* (BIM) y *City Information Modelling* (CIM) utilizadas en el campo de la arquitectura. Las cuatro cuestiones de investigación están estructuradas en el texto en tres secciones principales: (1) Tipos y especificaciones; (2) Beneficios, limitaciones y aplicaciones en el campo de la arquitectura; (3) Nuevos enfoques.

TIPOS Y ESPECIFICACIONES DE LOS VANTS

Para comprender los beneficios, limitaciones y aplicaciones de los VANT en la arquitectura, es fundamental aclarar cómo la tecnología opera y es clasificada de acuerdo con sus especificaciones. Se encuentran en la literatura muchos términos que se refieren a los vehículos aéreos no tripulados; el principal e internacionalmente conocido es *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) que puede ser considerado sinónimo del término VANT. Esta terminología se refiere a una aeronave que no transporta a un piloto y puede ser operada por sistemas de control terrestre u operar de manera autónoma. La expresión “dron” es la más utilizada por los medios de comunicación y, por lo tanto, la más conocida por el público (CUSTERS, 2016). El término fue utilizado por primera vez en 1935 por la marina de los Estados Unidos y está asociado al sonido de los abejorros,

semejante al sonido que emite el equipo. Como resultado, en la investigación sobre VANT se encuentran diferentes términos para describir una misma cosa. De hecho, el término VANT (del inglés UAV), internacionalmente consolidado, puede ser encontrado por *Unmanned Aerial System* (UAS).

La clasificación de los VANT puede variar de acuerdo con cinco aspectos (VERGOUW et al., 2016): (1) nivel de automatización: utilizando un radio control o un dispositivo móvil, el operador puede introducir una trayectoria de vuelo para que el VANT la realice de manera autónoma; (2) conductor: civil o militar; (3) tipo de vuelo: de acuerdo con el tipo de vuelo posee diferentes estructuras, tales como multimotores (Figura 1), alas fijas (*Fixed-wing*), globos o tecnología de ventiladores de ductos; (4) dimensiones: existen equipos con menos de 1 cm de longitud hasta VANT militares con más de 20 m de longitud; (5) carga: se pueden diferenciar por el equipo embarcado, como cámaras y sensores (*Light Detection And Ranging*, LIDAR – infrarrojo, multi, y hiperespectral), además de diferenciarse en la capacidad de carga. Estos aspectos pueden modificar la aplicación del VANT, pues determinan tanto el tiempo de vuelo, como la cantidad y el tipo de la información a ser recogida (Figura 1).

Entre los diversos tipos de VANT, los más utilizados en el campo de la arquitectura son los de “ala fija” y “multimotores”. Por un lado, la tipología de ala fija permite mayor autonomía de vuelo, y consecuentemente la cobertura de una porción de área mayor. Por otro lado, la tipología multimotor posibilita

FIGURA 1 — Ejemplo de VANT multimotor (A) y ala fija (B).

Fuente: Colección personal de los autores (2019).



una mayor precisión de los datos obtenidos, debido a la mayor estabilidad del equipo. Además, los multimotores se destacan por la capacidad de flotar en el aire y de necesitar poco espacio para el aterrizaje y despegue (VERGOUW et al., 2016). En este sentido, se considera que los VANT del tipo multimotor son más adecuados para las diferentes aplicaciones en las prácticas de la arquitectura (KELLY, 2014), pues posibilitan análisis de edificaciones históricas, infraestructuras dañadas, análisis morfológicos, creación de modelos 3D y levantamiento cartográfico. Sus únicas desventajas ante los modelos de ala fija son la menor autonomía de vuelo y consecuente limitación de la cobertura de área.

Sin embargo, la desventaja puede ser minimizada a través de la comprensión y modificación de componentes específicos del equipo. Los principales componentes de un VANT multimotor pueden ser clasificados en cinco grupos (Figura 2): (1) estructura: (a) equipo móvil: *frame* y tren de aterrizaje; (b) equipo fijo: estación terrestre (*ground station*); (2) energía: batería, *lipo alarm*, *power module*; (3) propulsión: hélice, motor, controlador electrónico de velocidad; (4) control: controladora de vuelo, GPS, telemetría, radio transmisor y receptor y (5) video: estabilizador de cámara (*gimbal*), cámara/sensor, transmisor y receptor de video (VERGOUW et al., 2016). Uno de los aspectos más importantes que potencializan la eficiencia del VANT en la arquitectura son, principalmente, los grupos de componentes que engloban el control y el video. Ambos son cruciales para garantizar la precisión y calidad de los datos. Los demás grupos (estructura, energía, propulsión) son variables, de acuerdo con las especificidades de los componentes de un VANT multimotor y de su aplicación (Figura 2).

Con respecto a la estructura y diseño necesarios en un VANT multimotor para arquitectos, Kelly (2014) presenta algunos requisitos principales: (1) liviano, para facilitar el transporte y tiempo máximo de vuelo; (2) capacidad de video y fotografía en alta definición; (3) amortiguadores de vibración para la cámara; (4) visualización en tiempo real de la cámara desde la estación terrestre; (5) layout flexible que permita actualización futura; (6) componentes fácilmente sustituibles, si se daña; (7) diseño de perfil bajo, que posibilita una mayor capacidad de maniobra de vuelo; (8) función de auto estabilización durante el vuelo y (9) “*fail-safes*”² en caso de problemas de señal.

Sin embargo, como tecnologías polivalentes, los VANT son pensados y desarrollados para actuar en un amplio espectro de actividades. Este aspecto, a principio positivo, resulta en componentes genéricos y de alto costo para los principales modelos disponibles en el mercado. Por lo tanto, la comprensión de los beneficios y limitaciones de los VANT en las principales aplicaciones en el campo de la arquitectura puede ayudar tanto al perfeccionamiento de los equipos más eficientes y baratos, como a reflexionar sobre nuevas formas y aplicaciones de los VANT en la arquitectura.

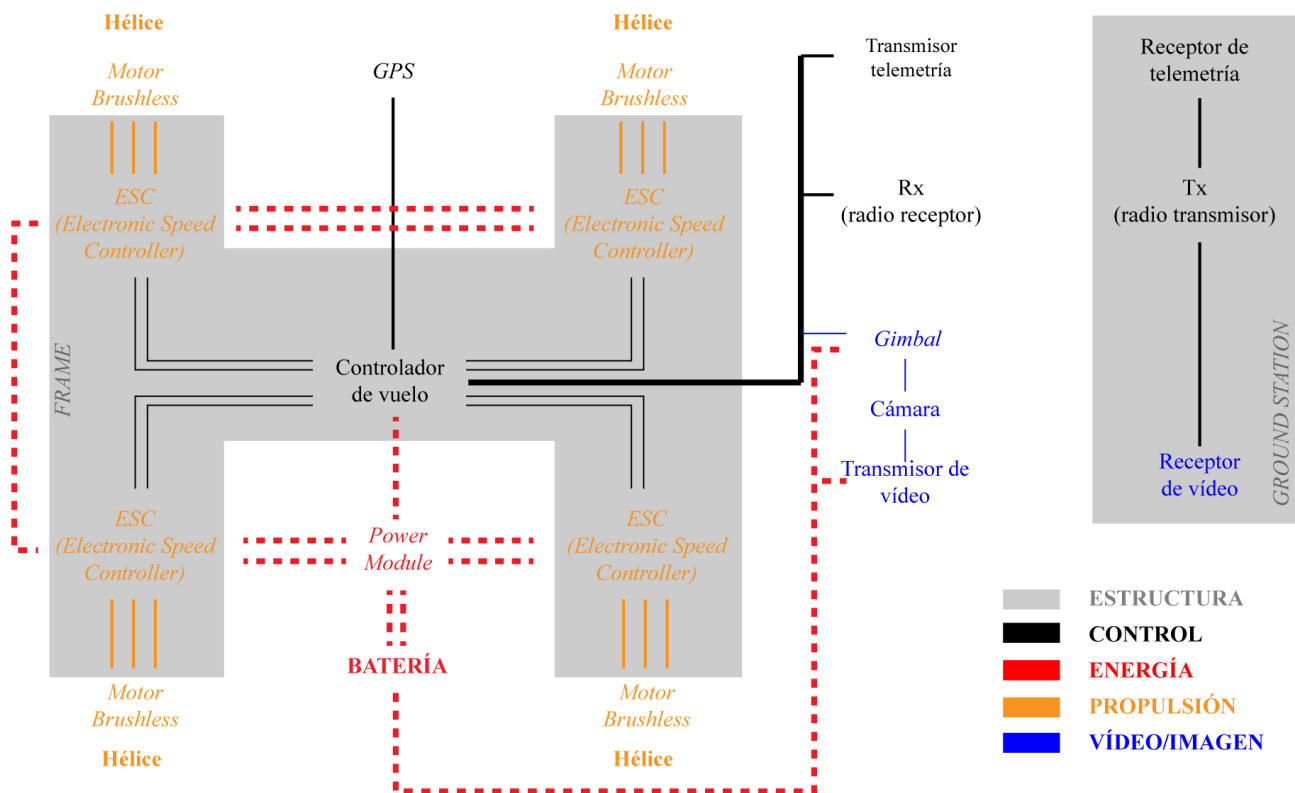


FIGURA 2 — Las conexiones entre los componentes principales de un VANT multimotor.

Fuente: Elaborada por los autores (2017).

BENEFICIOS, LIMITACIONES Y APLICACIONES DE VANTS EN LA ARQUITECTURA

A pesar de que el debate sobre las transformaciones provocadas por VANT en el campo de la arquitectura aún es incipiente, esta tecnología ya es ampliamente utilizada como herramienta en diversos campos de actuación de los arquitectos, tales como modelos 3D (NEX; REMONDINO, 2014), patrimonio histórico (BOLOGNESI *et al.*, 2015), regularización de la tierra urbana (LIMA *et al.*, 2016), revisión y evaluación de infraestructuras (GARCIA, 2015), uso del suelo y ordenamiento territorial (JENKINS, 2013). De entre las aplicaciones más comunes, se puede destacar la utilización de VANT por los estudios de arquitectura como herramienta de comunicación visual. Más preciso, el uso de VANT por arquitectos para ilustración (a través de fotografías y videos) del contexto en el que el proyecto o edificación proyectada está inserta. Esta aplicación puede considerarse la más sencilla en comparación con otras, pues no demanda una elevada calificación de los arquitectos para operar el equipo y procesar las informaciones obtenidas.

Además de estas principales aplicaciones, los VANT presentan potencial para mejorar los procesos de enseñanza de la arquitectura, ya que posibilitan el levantamiento en tiempo real de informaciones relevantes para los proyectos académicos. Los VANT permitirán analizar la morfología de las ciudades por múltiples perspectivas y procesos cada vez más rápidos. Por un lado, el *software Google Earth* modificó la enseñanza de la arquitectura en las facultades y universidades, al ofrecer recursos accesibles que posibilitan una visión ortogonal

en el plano horizontal de la ciudad. Por otra parte, los VANT posibilitan un análisis de la forma de la ciudad por medio de múltiples perspectivas. Este aspecto puede enriquecer los debates sobre la dinámica territorial de la ciudad en el entorno académico. Se destaca, por lo tanto, la importancia de esta reflexión en las universidades con el fin de aumentar los efectos positivos y minimizar los posibles aspectos negativos en la enseñanza.

El análisis de la literatura apunta cinco principales tipos de beneficios de la aplicación de los VANT como herramienta en el campo de la arquitectura: (1) adquisición de datos: (a) resolución espacial: proporcionar imágenes en alta definición; (b) resolución temporal; vuelos más frecuentes; (2) nuevas perspectivas: una de las principales contribuciones para la arquitectura es “la capacidad de posicionarse como un espectador en cualquier lugar que se quiera, permitiendo experimentar nuevas perspectivas impensables hasta ahora” (RODRÍGUEZ-NAVARRO; PIQUERAS; VERDIANI, 2016, p. 1139); (3) inspeccionar áreas de difícil acceso, tales como techos, lo que torna el proceso más seguro a los profesionales envueltos, reduce el tiempo necesario y el costo de seguimiento de obra; (4) velocidad de mapeo: VANT vuelven los procesos de mapeo más rápidos y dinámicos, proporcionando imágenes aéreas en tiempo real; (5) análisis tridimensionales: la posibilidad de crear modelos 3D partiendo de una nube de puntos que posibilita realizar diferentes análisis morfológicos; estos modelos pueden crearse por medio de “laser scanner” (tales como sensor LIDAR), a través de la fotogrametría, mezclando imágenes 2D para crear una malla mediante la triangulación de puntos (KELLY, 2014; RODRÍGUEZ-NAVARRO; PIQUERAS; VERDIANI, 2016).

Estos beneficios pueden resultar en la modificación de los procesos de proyecto y planeamiento inherente al trabajo de los arquitectos. En lo que se refiere a los procesos de planeamiento urbano, la utilización de VANT puede alterar las etapas de: (1) levantamiento de datos: es la etapa que sufre mayor transformación, pues la tecnología ofrece recursos que confieren mayor autonomía a los arquitectos en el proceso de colecta de datos, lo que resulta en datos de la morfología urbana más actualizados (resolución temporal) y con más calidad (resolución espacial); (2) diagnóstico: al ofrecer datos de forma más eficiente, los VANT modifican las herramientas actualmente utilizadas en el proceso de diagnóstico, tales como las herramientas de *Computer Aided Design* (CAD), *Geographic Information System* (GIS) y las recientes herramientas de *City Information Modeling* (CIM); (3) propuesta: los datos fornecidos por VANT pueden generar Modelos Digitales de Elevación (*Digital Elevation Model*, DEM), que posibilitan presentar en las propuestas escenarios comparativos de la morfología urbana en tres dimensiones.

En las etapas de proyecto, los VANT pueden alterar cuatro aspectos: (1) levantamiento de datos del área de proyecto; principalmente datos inherentes a topografía (GARCIA, 2015); (2) seguimiento de la construcción: VANT posibilitan crear un informe de seguimiento a través de videos



FIGURA 3 — Imágenes del proceso de edificación Expo Milan 2015, generadas por VANT.

Fuente: García (2015).

o imágenes (Figura 3), además de posibilitar crear modelos 3D de la evolución de la edificación, realizado a través de vuelos frecuentes por medio de softwares de fotogrametría como *PhotoScan* y *Pix4d*; (3) *As-build*: posibilidad de captar detalles de edificaciones ya existentes para realizar transformación o restauración, más utilizado para captar datos y detalles de fachadas y cubiertas; (4) herramientas de proyecto: si por un lado los datos tridimensionales obtenidos por medio de VANT pueden ser utilizados por herramientas de BIM (THEMISTOCLEOUS; AGAPIOU; HADJIMITSIS, 2016; VACANAS et al., 2016); por otro lado, las imágenes aéreas y datos topográficos pueden ser utilizados por herramientas CAD (Figura 3).

Después de identificar las oportunidades, aplicaciones y transformaciones provocadas por VANT en diversos campos de la arquitectura, otro factor que puede posibilitar avanzar en la discusión sobre el mejoramiento de la tecnología en el área son sus actuales limitaciones. Aunque los límites reales de los VANT sean desconocidos, es posible clasificar aspectos actuales que se presentan como fuertes obstrucciones para desarrollar y mejorar el uso de la tecnología como herramienta en el campo de la arquitectura:

a) **Legislación:** el cambio en la legislación no acompañará las innovaciones tecnológicas. En todo el mundo, el principal desafío y limitación para aplicación de VANT es la legislación. Eso ocurre debido a dos factores (CUSTERS, 2016): (1) seguridad de la información: garantizar que los VANT no acarreen invasiones de privacidad y quiebra de la integridad de información; (2) seguridad pública: garantizar que los VANT no causen accidentes en áreas con alta densidad de población. Las legislaciones desarrolladas, tanto en Brasil como en EEUU,

tienen como tema la seguridad pública. En Brasil, por ejemplo, el uso de VANT lo reglamentan tres instituciones:

- La Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC) que creó en 2017 el reglamento brasileño de aviación civil especial, estableciendo una división entre aeromodelos (VANT utilizados para el ocio en espacios específicos) y Aeronaves remotamente pilotadas (RPA), acá comprendidas como VANT. Solamente los equipos con más de 250 gramos necesitan registro en la agencia para realizar vuelos. Para los drones comerciales (250 gramos y 25kg), la agencia establece determinadas reglas de vuelos, como, por ejemplo, pilotar solamente un equipo por vez, tener póliza de seguro que cubra daños a bienes de terceras personas, operar en distancia mínima de 30 metros de personas y volar a una altura máxima de 120 metros (pueden realizarse excepciones mediante evaluaciones de la agencia).

- La Agencia Nacional de Telecomunicaciones (Anatel): responsable por homologar los equipos de radio de los VANT, garantizando que operen en una frecuencia que no ocasione interferencia en otros equipos electrónicos. Inició en 2017 la homologación de las radios (en frecuencia de 2.4 y 5.8 ghz), tanto de los aeromodelos como de VANT.

- Departamento de Control del Espacio Aéreo (DECEA): responsable por reglamentar el uso del espacio aéreo. Tiene como principal normativa ICA 100-40, que trata "Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas y el Acceso al Espacio Aéreo Brasileño".

b) Factores climáticos: La tecnología de vehículos aéreos no tripulados aún es muy vulnerable a determinados factores climáticos, tales como: (1) viento: puede no solamente limitar como impedir el uso, comprometiendo la estabilidad del vuelo y consecuentemente la calidad de los datos obtenidos; (2) lluvia/nieve: son raros los VANT impermeables y habilitados para realizar vuelos en estas condiciones.

c) Costo: Aunque el precio de mercado de los principales VANT se están reduciendo constantemente, este factor aún se presenta como aspecto limitante para la aplicación de la tecnología para determinadas regiones o individuos.

d) Calificación: Los VANT deben ser operados considerando las cuestiones de privacidad y seguridad pública; siendo así, demandan mano de obra calificada para operar el equipo y preparar los datos obtenidos. Sin embargo, la calificación todavía puede ser considerada un factor limitador para aplicación de los VANT (VALAVANIS; VACHTSEVANOS, 2015).

NUEVOS ENFOQUES A LA LUZ DEL SIGLO XXI

De entre las principales transformaciones ocurridas en la práctica de la arquitectura en el siglo XXI, se destaca el desplazamiento de un escenario con poca información, para un escenario con mucha información. De esta forma, el desafío no es tanto la generación de datos, sino que el modo como tanta información

puede utilizarse y convertirse en conocimiento (THOMPSON *et al.*, 2016). La producción de información, así como su uso y modelaje, pueden capacitar a los arquitectos a mediar y contestar las relaciones de mercado que modifican la ciudad (VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014). En este caso, el modelaje a través del sistema BIM pasó a ser implementado por la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) en el inicio de los años 2000, con la intención de apoyar a los profesionales en los proyectos de construcción. El concepto BIM puede definirse como la representación digital compartida de características físicas y funcionales de cualquier objeto construido, de forma a componer una base confiable para decisiones (VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014).

Como consecuencia de los avances en las búsquedas sobre BIM, se desarrolla el concepto con el término similar: *City Information Modeling* (CIM), presentado como término similar por una vasta literatura (AMORIM, 2015; LIMA, 2016; THOMPSON *et al.*, 2016). Sin embargo, el enfoque BIM es la edificación, mientras el enfoque CIM es el espacio urbano. No obstante, la plataforma BIM opera como un recurso de proyección, en cambio CIM opera más como recurso de análisis de las complejas relaciones urbanas (AMORIM, 2015). La relación entre estos conceptos y los VANT es objeto de intensa investigación en la literatura reciente, principalmente por medio de las técnicas de fotogrametría y archivos de “nube de puntos” (ROCA; ARMESTO, 2014; VACANAS *et al.*, 2015; THEMISTOCLEOUS; AGAPIOU; HADJIMITSIS, 2016).

El término “nube de puntos”, o *point clouds* en inglés, es uno de los principales términos utilizados para referirse al producto generado por los sistemas de escaneo (láser o fotos), en donde cada punto que constituye la “nube de puntos” se presenta y se relaciona a los demás puntos por sus coordenadas cartesianas (x, y, z) con el objetivo de generar un modelo en tres dimensiones (GROETELAARS, 2015). La utilización de VANT para generar modelos de nube de puntos puede ser realizada de acuerdo con el equipo embarcado en el VANT: (1) sensor fotográfico: la técnica que genera nube de puntos a través de fotografías es conocida como *Dense Stereo Matching* (DSM) y utiliza diferentes fotos para correlacionar los píxeles y generar un modelo tridimensional a través de puntos; (2) sensor laser scanner: es la tecnología que permite realizar barradura de las superficies de los objetos por medio de la emisión y reflexión de rayos de láser en dirección al objeto, lo que resulta en un modelo tridimensional de nube de puntos.

Considerando todo el potencial en diversas áreas, la tecnología de láser escáner terrestre aún es poco utilizada por los profesionales que trabajan e investigan el espacio construido por medio de VANT. Eso ocurre por diversos motivos: (1) el elevado costo del equipo, comparado a sensores fotográficos comunes en drones; (2) el peso de los sensores LIDAR, superiores a 1kg; (3) el peso del láser con relación a la autonomía de los VANT, cuanto más carga, menor es la autonomía; (4) la fácil obtención de una nube de puntos por medio de sensores fotográficos. Por todo eso, los drones comerciales no vienen equipados

con láser escáner. Sin embargo, es posible obtener sensores LIDAR para equipar drones, pero son raros los VANT comerciales que poseen estos sensores incorporados. En la *Tabla 1* es posible identificar los principales modelos de sensores LIDAR y el peso de cada equipo. Para componer la tabla se buscó los láser escáner más livianos y compactos disponibles en el mercado que poseen especificaciones de resolución y distancia de operación semejantes (*Tabla 1*).

El uso de los sensores fotográficos (técnica DSM) todavía es la forma más convencional de producción de archivos de nube de puntos a partir de datos obtenidos por VANT. Cuando se trata de técnica DSM, el proceso de captación de datos por medio de VANT y la conversión de estos datos en archivos de nube de puntos pueden ocurrir a lo largo de 5 principales etapas:

1) Calibración y validación del VANT: La calibración es la primera etapa antes de cualquier vuelo. Es por ella que el equipo (VANT, estación de control terrestre y sensores incorporados) estará validado y seguro para ejecución del vuelo en las distintas circunstancias de campo. En esta fase, los parámetros de *Fail Safe* deben ajustarse para la realidad de vuelo que se desea efectuar, tales

TABLA 1 – Relación de los sensores LIDAR desarrollados para embarcar en los VANT y sus respectivos pesos en Kg.

Sensores LIDAR disponibles en mercado para embarcar en VANT	
Modelo / Fabricante	Peso/kg
LIDAR USA/Revolution 60	1.5
RIEGL miniVUX-1UAV/RIEGL	1.5
Surveyor/YellowScan	1.6
Lidar USA/Revolution 120	1.7
Geodetics/Inc. Geo-MMS	1.7
SCOUT-16/Phoenix LiDAR Systems	1.9
NEXUS 800/HYPACK	10.6
Mapper II/YellowScan	2.1
LidarPod/Routescene	2.8
LS Nano Vux/LidarSwiss Solutions	2.9
NEW RIEGL VUX-240/RIEGL	3.8
Micro Vux CE/LidarSwiss Solutions	4.3
SABRE Sky-3D UAV LiDAR	5.4
Beijing Surestar Sky-Lark/Surestar	7.2

Nota: LIDAR: Light Detection And Ranging; VANT: Vehículos Aéreos No Tripulados.

Fuente: Elaborado por los autores (2019).

como altura y velocidad de retorno del VANT en caso de pérdida de señal. Esta fase es imprescindible en VANT montados y no tanto en los equipos comerciales.

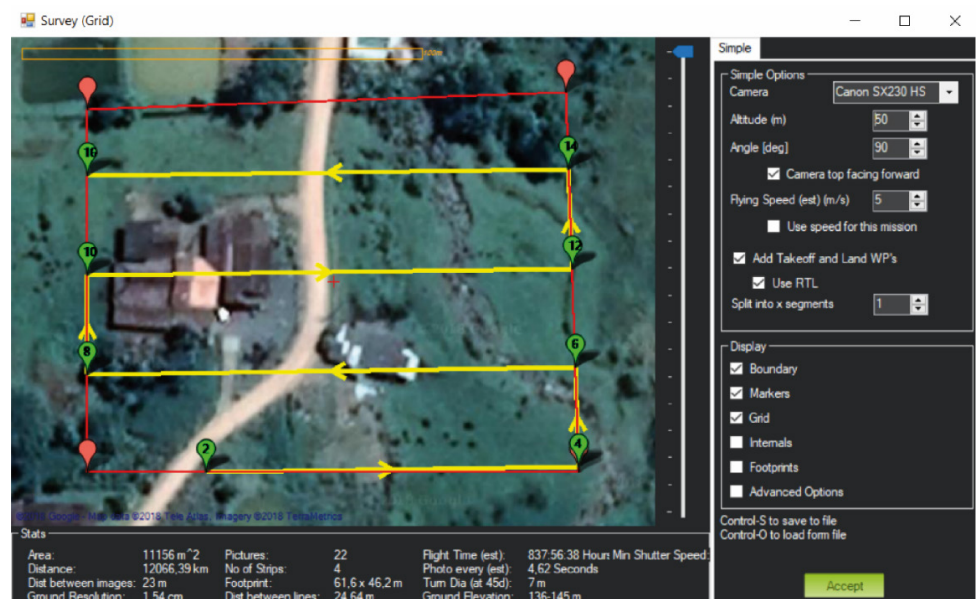
2) Programación de vuelo: Esta fase es fundamental para vuelos de mapeo, en los cuales el dron ejecuta el vuelo de forma autónoma. En ella es posible definir el área de mapeo, la altura en que se realizará el mapeo, la velocidad del VANT, el área de superposición lateral y frontal entre las imágenes captadas u otros parámetros (Figura 4). La programación de vuelo comprende también el análisis de los ambientes en donde el VANT operará, a fin de evitar obstáculos y aglomeraciones de personas.

3) Colecta de datos (salida a campo): Esta es la fase más imprevisible cuando se trata de la utilización de VANT. No se trata solamente de estar sujeto a las imprevisibilidades climáticas (lluvia y vientos fuertes), sino que también de mantener el equipo protegido y conservado durante el transporte hasta el área de operación. Es en la salida a campo que el operador sabrá si la programación de vuelo realizada anteriormente es válida o si debe ser alterada de acuerdo con las condiciones encontradas en el lugar. En esta etapa también se efectúa la colecta de puntos de control y verificación, fundamentales para garantizar la precisión en el aerolevantamiento y, consecuentemente, en los archivos de nube de puntos.

4) Procesamiento de datos: Esta fase se realiza en *softwares* de fotogrametría, tales como *Pix4D* y *PhotoScan*. Estos *softwares* son los responsables de procesar el volumen de imágenes captadas y convertirlas en productos, tales como: (a) Aerolevantamientos, ortomosaico de las imágenes georreferenciadas; (b) Modelos Digitales de Superficie (MDS) y Modelos Digitales de Terreno (MDT), por medio de los cuales es posible obtener las curvas de nivel del área mapeada; (c) Nube de puntos densa: Producto que puede importarse en *softwares* BIM, por medio del cual es posible generar modelos tridimensionales a partir de mallas triangulares generadas por correlación

FIGURA 4 — Detalle del área de planeamiento de vuelo para mapeo y parámetros ajustables.

Fuente: Elaborado por los autores (2019).



de los puntos. El modelo de nube de puntos puede exportarse en diferentes extensiones, tales como “e57” y “xyz” (Figura 5).

5) Importación en plataforma BIM o CIM: Consiste en la importación de modelo de nube de puntos (archivo “e57”) en plataforma BIM (*Archicad*, *Revit* u otros) o CIM (*Infraworks*, *City Engine* u otros).

La integración de los VANT con plataformas BIM, por medio de nube de puntos, puede resultar en nuevos enfoques en el campo de la arquitectura. Así, por un lado, la integración entre BIM y VANT ya ocurre en los procesos de levantamiento de datos de edificaciones históricas (RODRÍGUEZ-NAVARRO; PIQUERAS; VERDIANI, 2016; THEMISTOCLEOUS; AGAPIOU; HADJIMITSIS, 2016), con la posibilidad de captar detalles constructivos de la edificación para incorporar en los *softwares* BIM (por ejemplo, *Archicad* y *Revit*). Por otro lado, esta integración aún no ocurre en lo que se refiere a utilización de nube de puntos (obtenidas por medio de VANT) para el seguimiento de edificaciones. Nuevos enfoques pueden surgir en la utilización de VANT para documentar y gestionar, por nube de puntos, los procesos de construcción de determinado proyecto. Este abordaje posibilita identificar posibles fallas durante el proceso de construcción, así como evidenciar de forma tridimensional la evolución temporal de la construcción de la obra.

La integración entre VANT y plataformas CIM también puede indicar nuevos enfoques por medio de nube de puntos. Eso porque, al generar modelos urbanos en nube de puntos, los VANT permiten incrementar las plataformas de CIM con modelos tridimensionales actualizados de la ciudad, lo que permite analizar y comprender las dinámicas de producción urbana a través del tiempo. Es decir, por medio de la comparación entre diversos modelos de nubes de



FIGURA 5 — Detalle nube de puntos de aeroplano en el *software* Pix4D.

Fuente: Elaborado por los autores (2019).

puntos es posible comprender cómo la morfología urbana se transforma con el pasar del tiempo. Esta integración rellena casillas en la comprensión del espacio urbano que los actuales sistemas, tanto el CIM como el *Geographic Information System* (GIS), no rellenan si se utilizan de forma aislada. Según Thompson et al. (2016), la creación de modelos de ciudad en 3D es una tarea desafiante, pues la accesibilidad de los datos es limitada y cara. Sin embargo, nuevos enfoques de utilización de los VANT pueden permitir insertar en las plataformas CIM, de manera accesible y económicamente barata, modelos 3D que posibilitan identificar diferentes fenómenos urbanos que modifican la morfología urbana, tales como la verticalización, la dispersión, la densificación y la segregación.

Si por un lado los VANT pueden presentar herramientas de proyecto y planificación para el campo de la arquitectura, integrando plataformas BIM y CIM, por otro lado, los recientes avances tecnológicos indican nuevos enfoques de utilización de los VANT en la propia construcción de los objetos proyectados (GARCIA, 2015). O sea, la posibilidad de concebir los VANT no solamente como herramientas de proyecto y fiscalización, sino también como actores en la construcción (LINDSEY; KUMAR, 2013). Estos avances pueden observarse mediante el experimento denominado *Flight Assembled Architecture* (AUGUGLIARO et al., 2014), que comprende la construcción de una estructura cilíndrica y paramétrica de seis metros de altura, hecha con 1.500 elementos transportados enteramente por medio de VANT (Figura 6). La construcción fue realizada por cuatro VANT multimotores con vuelos programados durante 18 horas (AUGUGLIARO et al., 2014).



FIGURA 6 — VANT como actores en el proceso constructivo.

Fuente: Augugliaro et al. (2014).

CONSIDERACIONES FINALES

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) abren nuevas fronteras para las prácticas intrínsecas a la arquitectura. Por la primera vez en la historia, la visualización del espacio aéreo en tiempo real está disponible en alta resolución para que los arquitectos puedan analizar, proyectar y planear las múltiples espacialidades de la ciudad. Eso permite pensar los VANT como instrumentos capaces de ampliar los límites de la arquitectura como campo de conocimiento de dos formas distintas: (1) por medio de las modificaciones provocadas en las prácticas de los arquitectos, pues modifican los procesos de enseñanza, proyecto, planeamiento y construcción; (2) por medio de las modificaciones provocadas en la espacialidad de las ciudades, evidenciadas en la capacidad de los VANT de cambiar las dinámicas urbanas de la ciudad, comenzando por la ocupación de los espacios aéreos. Por lo tanto, la comprensión de las características, aplicaciones y limitaciones de los VANT posibilitan tanto identificar cómo esta herramienta modifica las prácticas de los arquitectos, como las espacialidades de la ciudad.

No obstante, la literatura sugiere nuevos abordajes de los VANT ante la utilización de archivos en el formato “nube de puntos” y la integración de los archivos en plataformas BIM. La diversidad de posibles nuevos enfoques es amplia y está en constante transformación. En este escenario es posible clasificar la utilización y los nuevos enfoques de los VANT como herramientas en el campo de la arquitectura en dos categorías: (a) de acuerdo con los archivos producidos. Nuevos enfoques pueden surgir de acuerdo con los nuevos datos producidos por VANT, por ejemplo, de las aplicaciones obtenidas a través de los archivos de “nube de puntos”; (b) de acuerdo con el equipo: los avances en las estructuras y componentes de los VANT pueden modificar la forma como son utilizados, de forma a ampliar la utilización de esta tecnología, no apenas como herramienta de producción de datos, sino como herramienta de construcción, fiscalización y gestión de edificaciones.

En conclusión, así como los coches moldearon la espacialidad de las ciudades y las computadoras modificaron las prácticas profesionales de los arquitectos, es posible pensar en los VANT como mecanismos de igual potencial transformador, tanto para la ciudad como para las prácticas de los arquitectos. El impacto de tecnologías aéreas en el espacio urbano ya lo establecían las visiones de Wright sobre la “Broadacre City”. Así que cabe a los arquitectos y urbanistas, como profesionales responsables por la morfología urbana, comprender el impacto de tal tecnología en sus flujos de trabajo. Sin embargo, es fundamental que los arquitectos incorporen la temática de los VANT en todos sus aspectos al tratarse de los espacios urbanos. De lo contrario, la espacialidad generada por los VANT se definirá por un conjunto de legislaciones que consideran apenas la seguridad pública y la privacidad de las personas, no comprendiendo el impacto de la tecnología en la morfología urbana.

Cabe, por lo tanto, anticipar el debate sobre cómo operar los VANT para que sea posible orientar las transformaciones provocadas por la tecnología en un futuro cercano. Finalmente, no se pretende, a través de la reflexión presentada, agotar el tema sobre las aplicaciones de los VANT en el campo de la arquitectura. En cambio, se busca demostrar la importancia y urgencia de promover e internalizar los debates en el campo de la Arquitectura y Urbanismo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a la escritora Abril Ortovski por las correcciones esclarecedoras y comentarios enriquecedores que ayudaron a componer el tema.

NOTAS

1. A *Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina* (Proceso nº88887.177896/2018-00).
2. Los VANT pueden configurarse para que, en caso de pérdida de señal, el equipo tenga autonomía para decidir volver al punto de partida determinado por GPS. Esta configuración se denomina *Fail Safe*. Más precisamente, es el regreso automático, sin la necesidad de comando por el piloto. Puede ser traducida como “contra fallas”.

REFERÊNCIAS

AASEN, H. et al. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: from camera calibration to quality assurance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 108, p. 245-259, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. *Quantidade de cadastros*. Brasília: ANAC, 2018. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/quantidade-de-cadastros>. Acesso: 21 maio 2018.

AMORIM, A. L. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, v. 10, n. 3, p. 87-99, 2015.

AUGUGLIARO, F. et al. The flight assembled architecture installation: cooperative construction with flying machines. *IEEE Control Systems*, v. 34, n. 4, p. 46-64, 2014.

BARTSCH, R.; COYNE, J.; GRAY, K. *Drones in society: exploring the strange new world of unmanned aircraft*. London: Routledge, 2017.

BOLOGNESI, M. et al. Testing the low-cost rpas potential in 3D cultural heritage reconstruction. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: ISPRS Archives*, v. 40, n. 5/4, p. 229-235, 2015.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 92, p. 79-97, 2014.

CUSTERS, B. Flying to new destinations: the future of drones. In: CUSTERS, B. *The future of drone use: opportunities and threats from ethical and legal perspectives*. Leiden: T.M.C. ASSER PRESS, 2016. p. 371-386.

FAHLSTROM, P. G.; GLEASON, T. J. *Introduction to UAV Systems*. Chichester: John Wiley and Sons, 2012.

GARCIA, M. A. C. *Recomendaciones para la aplicación de los drones en el mundo de la arquitectura*. 2015. 67 f. Dissertação (Master en Tecnología en Arquitectura) – Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2015.

GROETELAARS, N. J. *Criação de modelos BIM a partir de 'nuvens de pontos': estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica*. 2015. 372 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/20220>. Acesso: 12 fev. 2018.

HONKAVAARA, E. et al. Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture. *Remote Sensing*, v. 5, n. 10, p. 5006-5039, 2013.

JENKINS, N. A. L. *An application of aerial drones in zoning and urban land use planning in canada: a preliminary review of current policies, restrictions and planning direction for aerial drones in Canadian Cities*. 2013. 100 f. Dissertation (Master of Planning In Urban Development) – University of Guelph, Toronto, 2013.

KEATS, J. Was this mile-high skyscraper Frank Lloyd Wright's brightest idea? MoMA exhibit reveals wright as urban planner. *Forbes*, 2014. Available from: <https://www.forbes.com/sites/jonathonkeats/2014/04/03/was-this-mile-high-skyscraper-frank-lloyd-wrights-brightest-idea-moma-exhibit-reveals-wright-as-urban-planner/#5d6ff7425736>. Cited: Feb. 12, 2018.

KELLY, P. F. *1984, 2001, 2015*. 2014. 129 f. Dissertation (Master of Architecture) – Carleton University, Ottawa, 2014.

KIM, K.; DAVIDSON, J. Unmanned aircraft systems used for disaster management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2532, n. 1, p. 83-89, 2015.

KREPS, S. E. *Drones: what everyone needs to know?* New York: Oxford University Press, 2016.

LIMA, D. D. F. et al. A utilização de VANT (drone) para fins de regularização fundiária urbana de interesse social. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2016, Foz do Iguaçu. *Anais [...]*. Foz do Iguaçu: CONTECC, 2016. p. 1-5.

LIMA, M. Q. C. Limites e possibilidades do City Information Modeling (CIM) em planejamento urbano. In: ENAPARQ: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 4., 2016, Porto Alegre. *Anais [...]*. Porto Alegre: Anparq, 2016. p. 1-16.

LINDSEY, Q.; KUMAR V. Distributed construction of truss structures. In: FRAZZOLI, E. et al. *Algorithmic foundations of robotics X*. Berlin: Springer, 2013. p. 209-225.

NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2014.

RAWN, E. The three-dimensional city: how drones will impact the future urban landscape. *Archdaily*, 2015. Available from: <http://www.archdaily.com/583398/the-three-dimensional-city-how-drones-will-impact-the-future-urban-landscape>. Cited: May 6, 2018.

ROCA, D.; ARMESTO, J. Lidar-equipped uav for building information modelling. In: ISPRS TECHNICAL COMMISSION V SYMPOSIUM, 2014, Riva del Garda. *Proceedings [...]*. Riva del Garda: ISPRS, 2014. p. 523-527.

RODRÍGUEZ-NAVARRO, P.; PIQUERAS, T. G.; VERDIANI, G. Drones para el levantamiento arquitectónico: aplicación para la documentación de las torres del litoral valenciano. In: VALIENTE, E. E.; PEREA, E. C. (ed.). *El Arquitecto: de la tradición al siglo XXI: docencia e investigación en expresión gráfica arquitectónica*. Madri: Universidad de Alcalá, 2016. p. 1137-1144.

SADLER, S. *Archigram: architecture without architecture*. London: The Mit Press, 2005.

THEMISTOCLEOUS, K.; AGAPIOU, A.; HADJIMITSIS, D. 3D documentation and bim modeling of cultural heritage structures using UAVs: the case of the foinikaria church. In: 3D GEOINFO CONFERENCE, 11., 2016, Athens. *Proceedings [...]*. Athens: [S.n.], 2016. p. 45-49.

THOMPSON, E. M. et al. Planners in the future city: using city information modelling to support planners as market actors. *Urban Planning*, v. 1, n. 1, p.79-94, 2016.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. *FAA drone registry tops one million*. Washington: U.S. Department of Transportation, 2018. Available from: <https://www.transportation.gov/briefing-room/faa-drone-registry-tops-one-million>. Cited: May 21, 2018.

UNITED STATES. National League of Cities. *Cities and drones: what cities need to know about Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*. Washington: NLC, 2016. Available from: <http://www.nlc.org/resource/cities-and-drones>. Cited: Feb 12, 2018.

VACANAS, Y. et al. Building Information Modelling (BIM) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technologies in infrastructure construction project management and delay and disruption analysis. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON REMOTE SENSING AND GEOINFORMATION OF THE ENVIRONMENT (RSCy2015), 3., 2015, Paphos. *Proceedings [...]*. Paphos: RSCy, 2015.

VACANAS, Y. et al. The combined use of Building Information Modelling (BIM) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technologies for the 3D illustration of the progress of works in infrastructure construction projects. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON REMOTE SENSING AND GEOINFORMATION OF THE ENVIRONMENT (RSCy2016), 4., 2016, Paphos. *Proceedings [...]*. Paphos: SPIE, 2016.

VALAVANIS, K. P.; VACHTSEVANOS, G. J. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Dordrecht: Springer, 2015.

VERGOUW, B. et al. Drone technology: types, payloads, applications, frequency spectrum Issues and future developments. In: CUSTERS, B. (ed.). *The future of drone use: information technology and law*. The Hague: Springer, 2016. p. 21-45.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. *Automation in Construction*, v. 38, p. 109-127, 2014.

LEANDRO LUDWIG

ORCID iD: 0000-0002-6487-1521 | Fundação Universidade Regional de Blumenau | Centro de Ciências Humanas e da Comunicação | Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional | R. Antônio da Veiga, 140, Victor Konder, 89030-903, Blumenau, SC, Brasil | Correspondencia para/Correspondence to: L. LUDWIG. E-mail: leandroludwig@live.com

MARCOS ANTÔNIO MATTEDI

ORCID iD: 0000-0002-0046-7853 Fundação Universidade Regional de Blumenau | Centro de Ciências Humanas e da Comunicação | Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional | Blumenau, SC, Brasil.

RICARDO SILVA

ORCID iD: 0000-0002-8870-1682 | Fundação Universidade Regional de Blumenau | Centro de Ciências Humanas e da Comunicação | Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional | Blumenau, SC, Brasil.

COLABORADORES

L. LUDWIG colaboró en la concepción del artículo y desarrollo de las investigaciones. Actuó activamente en el desarrollo de los textos y en la estructuración de la metodología de investigación. M. A. MATTEDI colaboró en la concepción del artículo y estructura de redacción. Actuó activamente en el desarrollo de los textos. Responsable por la revisión y aprobación de la versión final del texto para envío y SILVA R. colaboró en el análisis e interpretación de los datos y actuó activamente en la investigación bibliográfica y en el desarrollo de los textos.

RECEBIDO EM

5/6/2018

REAPRESENTADO EM

5/3/2019

APROVADO EM

18/3/2019

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO /HOW TO CITE THIS ARTICLE

LUDWIG, L.; MATTEDI, M. A.; SILVA, R. Dilemas y perspectivas de Vehículos Aéreos no Tripulados en el campo de la arquitectura y urbanismo. *Oculum Ensaios*, v. 17, e204295, 2020. <https://doi.org/10.24220/2318-0919v17e2020a4295>