

Drones y movilidad segura y conectada

Drones and Safe, Connected Mobility

Álvaro Ruiz de la Torre Molina^{1*}

Resumen

El uso de drones es una tecnología de reciente implantación en el uso civil que va a servir para mejorar sustancialmente multitud de procesos de inspección y toma de datos. En este artículo se estudia la tecnología, procedimientos y operativa que afecta a los drones y se expone sus aplicaciones en el ámbito de la movilidad segura y conectada.

Palabras clave: drones, Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT/UAV), Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (SANT/RPAS), fotogrametría, Detección y Medición Mediante Láser (DYMML/LiDAR), inspecciones.

Abstract

The use of drones is a recently implemented technology in civil use that will substantially improve a lot of inspection and data collection processes. This article studies the technology, procedures and operations that affect drones and explains their applications in the field of safe and connected mobility.

Keywords: *drones, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Remote Pilote Aircraft System (RPAS), photogrammetry, Laser Imaging Detection and Ranging (LiDAR), inspections.*

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados, UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), RPAS (*Remote Pilote Aircraft System*), SANT (Sistemas de Aeronaves No tripuladas), o comúnmente conocidos como drones, son aeronaves cuyos pilotos ejercen su función de manera remota. Este tipo de aeronave, creada inicialmente para el mundo militar, ha dado el salto en los últimos años al ámbito civil debido al abaratamiento de la tecnología. Su razón de ser inicial fue principalmente evitar que los pilotos de aviones o helicópteros arriesgasen sus vidas en situaciones peligrosas, pero actualmente ha ampliado su uso a todo tipo de operaciones aéreas de reconocimiento e inspección que anteriormente eran inviables con aeronaves convencionales fundamentalmente por su coste económico.

Según el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), existen actualmente en España más de 5.000 operadores de drones, con más de 6.500 aeronaves y más de 6.000 pilotos registrados. En 2035 se espera que haya más de 50.000 drones y que el sector de los drones tenga un volumen de negocio de 1.200 M€.

En este artículo nos vamos a limitar a la descripción de los drones y su uso en el ámbito civil, especialmente en sus aplicaciones más relacionadas con la movilidad.

2. TECNOLOGÍA DE DRONES

Una aeronave pilotada por control remoto técnicamente se considera un dron ya tenga un uso comercial, profesional o recreativo (incluyendo los aeromodelos). Hay que subrayar que los drones **son aeronaves**, y como tales, están sujetas a la legislación aeronáutica general vigente en España, así como al resto de la normativa aeronáutica.

Los drones actualmente deben estar controlados remotamente, aunque la mayoría pueden realizar algunas tareas de manera autónoma pero supervisada o monitorizada por el piloto al mando mediante radio control.

2.1. Tipos de drones y capacidades

Existe una gran variedad de drones que pueden provenir de la autoconstrucción o comercializados por distintas empresas. Para poder clasificarlos fundamentalmente se usan dos criterios:

- Según la masa máxima al despegue (MTOM en inglés): la clasificación se basa en el máximo peso total con el que la aeronave puede despegar según su diseño.

Hay varios límites de peso que clasifican según la normativa aplicada que va de los 250 gr hasta 25 kg con varios tramos intermedios. Más allá de 25 kg hasta 150 kg de peso tienen una consideración especial. Cada una de las clasificaciones tiene sus limitaciones de uso y normativas.

- Según el tipo de ala: esta clasificación se basa en los tipos de alas que puede incorporar un dron y se dividen en ala fija, ala rotatoria y multirrotores.

* Mail: alvaro.ruizdelatorre@cedex.es

¹ Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (LCEYM), del CEDEX.

Los drones de ala fija tienen un diseño similar a un avión convencional pilotado remotamente, y dado que pueden volar a grandes velocidades y distancias, se suelen utilizar para abarcar grandes superficies gracias a su gran autonomía debida a su eficiencia de vuelo. El tipo de carga de pago que admiten suele limitarse a cámaras y a sensores LiDAR.

Los drones de alas rotativa o helicópteros. Este tipo de drones similares en funcionamiento a los helicópteros reales fueron los primeros en utilizarse para explorar las posibilidades de realizar trabajos aéreos. Dada la complejidad de manejo y mantenimiento en la actualidad han sido desplazados por los multirrotores, que aunque con una menor capacidad de carga, maniobrabilidad y autonomía, son mucho más fáciles de pilotar, automatizar y mantener.

Los multirrotores son los drones más utilizados a nivel profesional ya que ofrecen una gran versatilidad y facilidad de uso debido a que pueden despegar y aterrizar de forma vertical, tienen una gran maniobrabilidad, y pueden mantenerse de forma estática en el aire. Esto les hace especialmente indicados para inspecciones aéreas y trabajos en áreas pequeñas. Además, por su configuración, la carga de pago puede ser muy variada. Su gran inconveniente es su escasa autonomía de vuelo que obliga a cambiar de baterías cada poco tiempo. Estos drones se dividen a su vez en función del número de hélices por lo que tenemos los tricópteros (3 rotores), los cuadricópteros (4 rotores), hexacópteros (6 rotores) y octacópteros (8 rotores).

2.2. Sistemas en multirrotores

Los drones multirrotores, como sistema de vuelo completo, comprenden varios componentes:

- Chasis o estructura (*frame*): el chasis o marco es el cuerpo, el esqueleto del dron que va a servir de soporte del resto de piezas. Le transmiten rigidez a la aeronave pero deben ser muy ligeros para no afectar a su rendimiento.
- Motores: los motores se encargan de hacer girar las hélices para generar la sustentación que permita el vuelo. Los más comunes son los eléctricos trifásicos sin escobillas (*brushless*) ya que son más eficientes, tienen más rango de velocidades de giro y son más ligeros.
- Hélices: las hélices tienen 2 o 3 palas o aspas con un perfil aerodinámico que transmite un empuje vertical en el eje de giro.
- Suministro de energía: aunque hay drones que funcionan con motores de combustible o con pilas de combustible, lo más normal es que los drones obtengan su energía de baterías. Hay distintos tipos de baterías pero las más modernas y utilizadas son las de polímero de litio (Li-Po). Estas baterías no tienen efecto memoria, permiten una alta tasa de descarga pero son inflamables y requieren de un cuidado especial.
- IMU (*Inertial Measurement Unit*) o unidad de medición inercial: la IMU es la serie de sensores que dan información acerca de la aceleración y velocidad que tiene el dron en cada momento. Suelen ser redundantes e integran giróscopos y acelerómetros en los tres ejes así como una brújula. Es parte del sistema de estabilización del dron.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global): el GPS es el sistema de navegación por satélite que permite conocer la posición del dron en el espacio en todo momento (longitud, latitud y elevación). Esta información nos permite conocer la velocidad y altitud de vuelo, realizar vuelos programados y permitir la vuelta a casa del dron (RTH *Return to Home*) en caso de emergencia o agotamiento de batería. El GPS necesita para su correcto funcionamiento una línea de visión sin obstáculos de los satélites lo que en diversas situaciones dificulta su uso. Así, en zonas de interior, con grandes obstáculos o fondos de valles se podrá perder la señal de GPS y se deberán tomar las debidas precauciones ya que la seguridad de vuelo disminuye especialmente.
 - La señal de GPS también puede perderse debido a otros factores como tormentas solares o interferencias electromagnéticas.
 - Los drones más avanzados empiezan a incorporar receptores GPS con tecnología RTK (*Real Time Kinematic*), que permite precisiones absolutas centimétricas, mientras que sin RTK se consiguen precisiones métricas. El receptor RTK corrige en tiempo real los errores en la recepción de la señal GPS de los satélites conectándose a una base de control en tierra de coordenadas conocidas. Al depender de un enlace directo entre la base fija y el dron hay veces que las interferencias no permiten una buena corrección y es por lo que también se usa el PPK (*Post Processed Kinematic*), en el que las correcciones se realizan tras haber acabado el vuelo. El posicionamiento PPK no necesita de ningún enlace de datos con la estación de tierra lo que le hace ser una técnica de corrección GPS más robusta. Tanto la técnica RTK como PPK permite realizar trabajos de fotogrametría con mayores precisiones, menor toma de puntos de control y menor tiempo de procesado.
- Placa controladora de vuelo: la placa controladora del dron es el circuito electrónico donde se integra la información de todos sistemas de vuelo y se determina la velocidad de giro de cada motor. Está conectada a todos los sensores de estabilización y ayuda al vuelo (GPS, IMU, ultrasonidos, RGB, infrarrojos, etc.), recibe órdenes desde la emisora de control remoto y envía información de vuelo para su monitorización. La mayoría de controladoras tienen función de autopiloto, es decir, pueden realizar un vuelo autónomo con unas indicaciones previas.
- Reguladores de velocidad, variadores o ESC (*Electronic Speed Control*): los variadores de velocidad son los encargados de regular la velocidad y sentido de giro de los motores mediante un circuito electrónico. Son los que transforman la energía de la batería de CC en trifásica CA, para impulsar a los motores sin escobillas. La correcta integración de los variadores de cada motor es la que permite realizar los diferentes movimientos en el aire.

- Otros sensores: altímetro o barómetro y sensores de altura y distancia.
- Emisora de radio control: la emisora es el elemento que permite la comunicación uni o bidireccional con el dron, y que permite recibir la telemetría y ordenar los movimientos y acciones a realizar por el mismo. También puede controlar el funcionamiento de la carga de pago (a veces a través de una emisora secundaria). Las emisoras pueden estar conectadas a una pantalla en una *tablet*, ordenador o gafas de vídeo en la que se muestren datos de telemetría, imágenes en tiempo real de la cámara y desde las que se pueden controlar algunas de las funciones del dron.
- Cámara FPV (*First Person View*): la cámara FPV es la cámara que acompaña el movimiento en el plano horizontal del dron. Permite ver hacia adelante lo que vería un piloto situado en la parte delantera del dron de manera que facilita la conciencia situacional a la hora de realizar los vuelos. Esta cámara puede ir acompañada de otras cámaras que serían las encargadas de realizar los trabajos de filmación.
- Transmisor de vídeo: el transmisor de vídeo es el encargado de mandar las imágenes de la cámara o cámaras del dron para ser visualizadas en la pantalla.

La figura 1 muestra los componentes de un dron, apreciándose el cuerpo de la aeronave, la emisora y su pantalla.

2.3. Cargas de pago

La carga de pago es el elemento que transporta el dron, el equipo que realiza el trabajo y que no es necesario para realizar el vuelo propiamente dicho. Son el elemento que tiene más recorrido de innovación y están en permanente desarrollo mientras que los drones ya están muy avanzados. Los drones pueden embarcar una gran variedad de

cargas de pago y determinarán el uso que puede hacerse de ellos. Los sistemas embarcados más comunes son:

- Cámara: la cámara es la carga de pago más habitual. Según el tipo de dron puede ir integrada o puede instalarse de forma externa. Gracias a ella se puede realizar filmaciones y ver en tiempo real lo que se ve desde el propio dron. Las cámaras embarcadas son mayormente de tipo RGB de espectro visible pero se pueden acompañar de otro tipo de cámaras como las hiperespectrales, multiespectrales, térmicas o de infrarrojos. Cada una de ellas recogerá información en distintas bandas de longitud de onda del espectro electromagnético. Las cámaras multiespectrales diseñadas especialmente para los drones poseen cinco lentes, cada uno para una banda de espectro de luz específico (rojo, verde; azul, infrarrojo cercano NIR y la lente central captura imágenes RGB compuestas). Las cámaras térmicas trabajan en un rango conocido como infrarrojo térmico.
- Gimbal o cardán: el gimbal es el estabilizador que aísla de vibraciones de vuelo y permite el movimiento de las cámaras o cargas de pago. Sirve de anclaje al chasis por medio de elementos aislantes en tres ejes que mantiene estabilizada la posición de la cámara. También permiten el giro de la misma sobre 1 eje o 2 ejes independizando estos movimientos de cámara de los que realiza el dron.
- LiDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*): el LiDAR es un sensor que permite realizar nubes de puntos del entorno mediante la emisión y recepción de un haz de luz láser pulsante en la banda del infrarrojo con gran velocidad y precisión. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. El sistema LiDAR puede captar 2 o más ecos y la intensidad

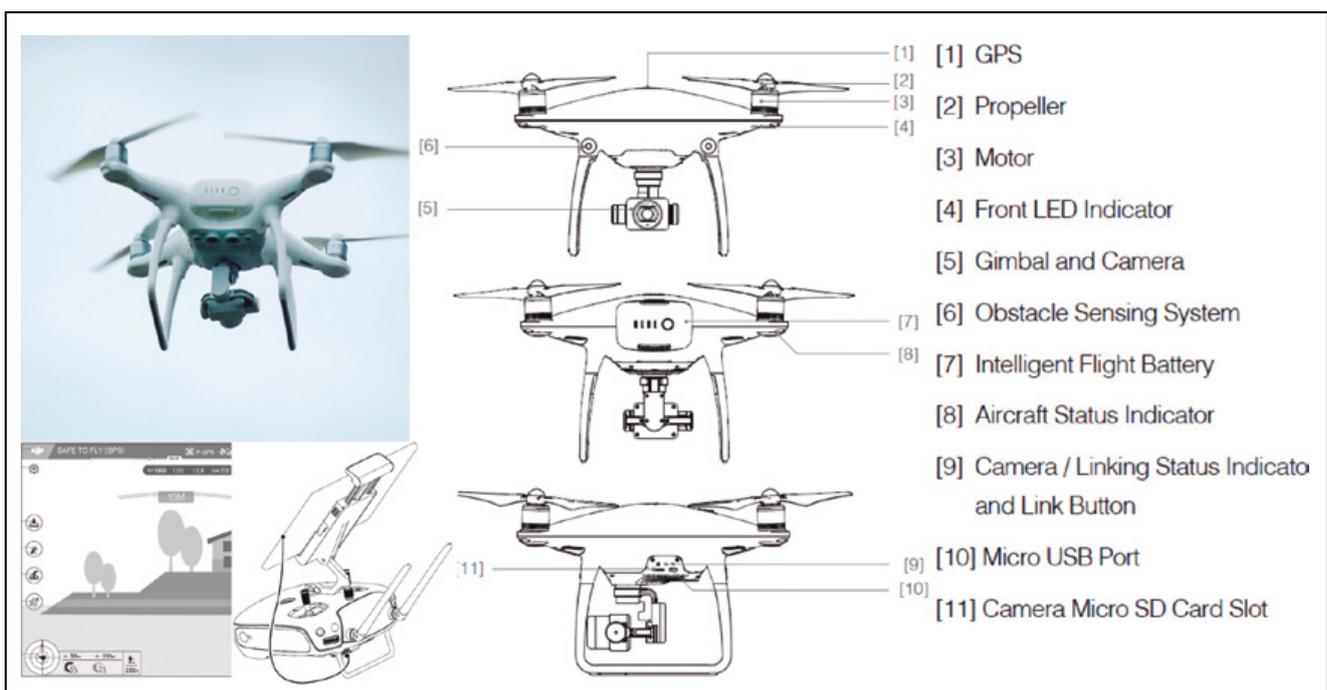


Figura 1. Dron cuadricóptero DJI Phantom 4. Componentes.

reflejada por cada punto emitido. Esto permite realizar levantamientos topográficos u objetos de gran precisión, discriminando en buena medida la vegetación del terreno. Los LiDAR embarcados en drones (ALS Aerial Laser System) se componen de un equipo LiDAR, una IMU de alta precisión y un GPS diferencial. A través de la integración de estos componentes se conoce la posición en el aire del sensor y la distancia de cada punto del entorno al mismo. También se le puede dotar de cámara termográfica y cámara RGB.

- Otros: existen desarrollos de cargas de pago de diferentes usos como pueden ser brazos robóticos extensibles con sensores, dispositivos de carga y liberación de salvavidas o kits de supervivencia y muchos otros.

3. OPERATIVA Y ESPACIO AÉREO. ACTUAL Y FUTURO. NORMATIVA APLICABLE

3.1. Normativa actual

El uso de drones está regulado por la normativa aeronáutica, como toda aeronave. Debido al auge en los últimos años del uso de drones, la Agencia Española de Seguridad Aérea (AESA) vio la necesidad de una regulación específica del sector y promovió el Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y se modifican el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.

Este reglamento contempla los distintos escenarios y requisitos en los que se podrán realizar una serie de operaciones aéreas (especializadas, actividades deportivas, recreativas, de competición o exhibición). También, las condiciones aprobadas se completaban con el régimen general de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, donde se establecieron las condiciones de operación con este tipo de aeronaves.

Además, cuando en los trabajos aéreos se incluya el uso de imágenes, se observarán las limitaciones establecidas por la Ley 1/1982 de protección del honor e intimidad personal y la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.

El RD 1036/2017 impone una serie de limitaciones y requisitos que todo vuelo de dron debe cumplir. Se establecen diferentes criterios para el uso recreativo y el uso profesional (que es cualquiera que genere un valor), ya sean levantamientos aéreos, fotografía, vigilancia, observación o cualquier otro.

Los requisitos para los vuelos de operaciones profesionales o especializadas son los siguientes:

- Estar habilitado como operador aéreo de RPAS en AESA. El operador es responsable del dron, de la operación y de cumplir la normativa. Para habilitarse en AESA es necesario presentar una serie de documentaciones como son el manual de operaciones,

programa de mantenimiento, estudio aeronáutico de seguridad, caracterización de la aeronave y justificación de vuelos de prueba.

- Tener un seguro de responsabilidad civil.
- Tener el dron identificado con su placa y verificar su uso de forma lícita.
- Registrar cada vuelo en un libro de piloto y en un libro de aeronave.
- Ser piloto de RPAS y tener el certificado médico en vigor. Todo piloto de RPAS debe superar un examen que acredite sus conocimientos sobre reglamentación, conocimiento de aeronaves y sus sistemas, planificación de vuelos, limitaciones operativas, meteorología, navegación e interpretación de cartas aeronáuticas, comunicaciones y conocimiento del espacio aéreo. Y un examen práctico de maniobras de vuelo específico de cada tipo de dron a pilotar.

3.2. Operativa con drones

El Ministerio de Transportes, Movilidad Urbana y Agenda Urbana, a través de AESA está realizando un gran esfuerzo comunicativo para que todas las operaciones con drones se ajusten a la legalidad. Cabe destacar su página web con toda la información relativa a la aviación con drones (<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones>) con apartados dedicados a aclarar dudas y con información para visitantes legos. Además, ENAIRE, como gestor fundamental de la navegación en España, ha elaborado un mapa para planificación de operaciones con drones actualizado con los NOTAM (*Notice to Airmen*, avisos de operaciones aéreas especiales o incidencias cuyo conocimiento es esencial para los usuarios del espacio aéreo) activos y todas las zonas de exclusión o con necesidad de coordinación. Este mapa se encuentra en <https://drones.enaire.es/>. En la figura 2 se puede ver un ejemplo de consulta para localizar zonas de vuelo.

Señalar lo importante de conocer las limitaciones a los vuelos con drones ya que hay zonas prohibidas o restringidas al cumplimiento previo de diversos requisitos para realizar un vuelo. De esta manera, y por poner un ejemplo, los operadores que se han habilitado mediante el procedimiento de comunicación previa (la mayoría) tienen limitados sus escenarios operacionales con las siguientes condiciones:

- Operaciones aéreas especializadas VLOS (*Visual Line of Sight*) y EVLOS (*Extended Visual Line of Sight*) a una distancia horizontal del piloto, u observadores, no mayor de 500 m, y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 120 m.
- Operaciones aéreas especializadas BVLOS (*Beyond Visual Line of Sight*) por aeronaves con MTOM menor de 2 kg y a una altura máxima sobre el terreno no mayor de 120 m. Sujetas a la publicación de un NOTAM para informar de la operación al resto de usuarios del espacio aéreo de la zona en que ésta vaya a tener lugar.
- Que las operaciones se realicen en las siguientes condiciones: de día y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC) y en zonas fuera de aglomeraciones de edificios en ciudades, pueblos o lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre. En

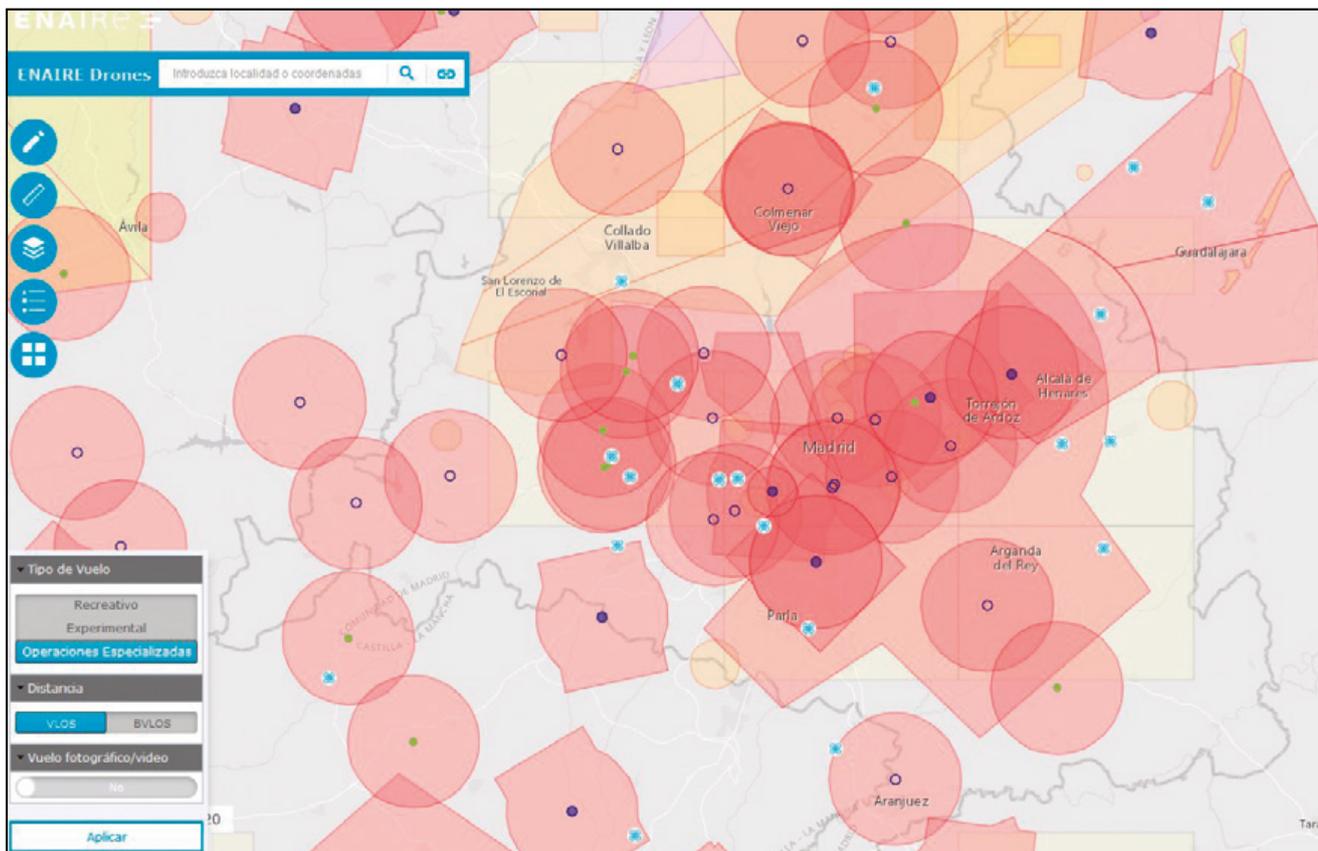


Figura 2. Captura de mapa con zonas de restricciones de vuelo de la Comunidad de Madrid.

espacio aéreo no controlado o a menor distancia de lo que marca la ley en las proximidades de aeródromos y helipuertos (8 o 15 km en la mayoría de casos), y fuera de una zona de información de vuelo (FIZ).

Para realizar operaciones no contempladas en el caso anterior es necesario pedir una autorización expresa de AESA, la aprobación de un estudio de seguridad aeronáutica específico e implementar las medidas correctoras en cada caso.

3.3. Nueva normativa

A partir del 1 de enero de 2021 el uso de los drones en España se empezará a regir por una nueva normativa europea basada en el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 consolidado que incluye los cambios del Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639. Además, el Reglamento Delegado (UE) 2019/945, modificado (UE) 2020/1058, desarrolla las normas relativas para el diseño, fabricación y comercialización de los sistemas SANT que deben seguirse para que estos puedan utilizarse en las categorías especificadas en los anteriores reglamentos. Por último, el Reglamento de Ejecución (UE) 2020/746 modifica las fechas de ejecución del R.E. (UE) 2019/947 debido al COVID-19.

El nuevo Reglamento Europeo pretende armonizar las diferentes normativas de los Estados miembros y regular el uso civil de los drones. El objetivo es englobar la totalidad de los escenarios operacionales posibles y que se ajuste a la realidad tecnológica actual. De esta manera, se abrirá la puerta a operaciones hasta ahora prohibidas como son los vuelos en enjambre, de transporte de mercancías o personas o vuelos autónomos.

Es importante señalar que este nuevo escenario normativo cambiará radicalmente en los requisitos para la instrucción de pilotos de drones, el proceso de registro de nuevos operadores y las características técnicas que deben tener las aeronaves para obtener la certificación CE.

De manera resumida, la nueva ordenación promulgada clasificará los drones en 7 clases (C0, C1, C2, C3, C4) en categoría abierta y 2 clases (C5 y C6) en categoría específica. Esta clasificación se realiza en función de las características técnicas y del sistema que equipa cada aeronave. También se establecen nuevas reglas y procedimientos en el uso de los drones, basándose principalmente en el riesgo de las operaciones y se establecen tres categorías operacionales: categoría abierta, específica y certificada.

Además, cada estado miembro deberá definir zonas geográficas para el vuelo de drones, las cuales corresponden a porciones de espacio aéreo en las que se pueden permitir, restringir o excluir operaciones. Se establece un nuevo esquema formativo de pilotos de drones para las categorías operacionales basados en la proporcionalidad entre el riesgo de la operación y el desempeño de la aeronave.

Se han incluido en esta normativa los requisitos para la identificación a distancia de la mayoría de los drones, que obligatoriamente deberán llevar un sistema de identificación a distancia electrónico instalado en la aeronave, en función de la categoría y el tipo de escenario.

Hasta su total implantación habrá un proceso de transición con los siguientes hitos (ver figura 3): el 31 de diciembre de 2020 comienza la aplicación parcial del Reglamento UE 2019/947 y se crea el registro europeo de operadores (registro ante AESA y repositorio europeo EASA (*European Union Aviation Safety Agency*)); el 1 de enero de 2022 la normativa española deja de estar vigente en aquellas

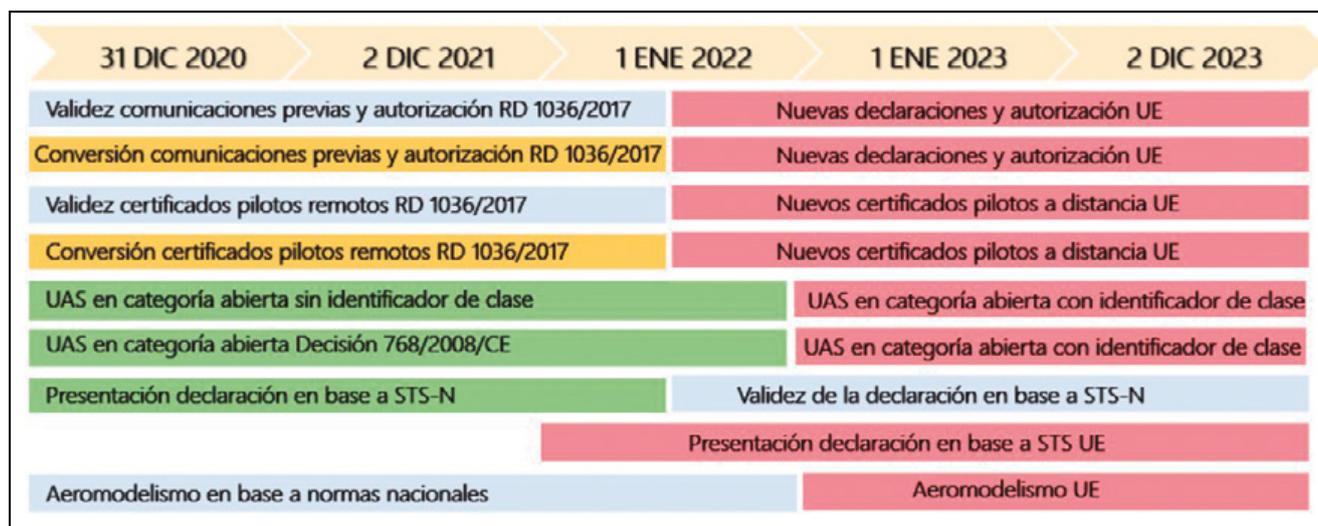


Figura 3. Transición normativa (Fuente: <https://www.seguridadaerea.gob.es>).

disposiciones contrarias a los reglamentos europeos (seguirá siendo de aplicación únicamente durante los períodos transitorios contemplados en la normativa europea y en aquellos aspectos no cubiertos por ésta) y es la fecha límite para la conversión del registro de operadores y certificación de pilotos al estándar que establece el nuevo reglamento europeo. El 1 de enero de 2023 solo se podrán vender drones con marcado CE.

4. USO DE DRONES EN INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) quiere dar un impulso al uso de drones al incluirlo en su quinto eje de la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030¹.

Uno de los puntos más importantes del plan es el nuevo sistema de provisión de servicios de navegación aérea para drones (*U-Space*), amparado por la nueva normativa europea, que consiste en un conjunto de servicios y procedimientos específicos para permitir, en condiciones de seguridad, eficiencia y respeto al medio ambiente, la gestión automatizada en un entorno digital de un gran número de operaciones simultáneas y autónomas de drones en un mismo volumen de espacio aéreo.

Este desarrollo tiene especial relevancia en entornos urbanos, donde se prevé la operación de un gran número de drones de manera simultánea en el medio plazo como serán los servicios de entrega de mercancía de última milla o los aerotaxis. Proyectos como LABYRINTH² estudian la creación y validación de enjambres en 4D mediante algoritmos de planificación de vuelo y autoguiado para contribuir a un transporte más seguro y sostenible, o como el ICARUS³ (*Integrated Common Altitude Reference System for U-Space*) que estudia cómo implementar un datum común para coordenadas verticales de muy baja altitud.

También se estudia, en el proyecto 5G-DIVE⁴, el control de la trayectoria de los drones, de forma que se pueda modificar de manera dinámica, mediante conexiones 5G de muy baja latencia, que permitirá ejecutar algoritmos de inteligencia artificial en la red, demasiado costosos para ejecutarlos en los drones.

Se impulsará también el uso de drones en el ámbito del MITMA, ejerciendo de tractor de actividad, se probarán nuevos proyectos de innovación, la creación de centros de excelencia de UAS y se promoverá la protección de infraestructuras críticas como aeropuertos frente al uso malintencionado de drones.

La futura Ley de Movilidad Sostenible dará rango de Ley a los retos en materia económica, social y medioambiental que enfrentan el transporte y la movilidad, entendidos como política transversal.

4.1. Inspecciones de construcciones

Las infraestructuras de transporte constituyen la columna vertebral sobre la que se asienta la movilidad de personas y mercancías. Uno de sus puntos críticos son los puentes, estructuras singulares cuya disponibilidad resulta esencial debido a su muy difícil reemplazo, constituyendo cuellos de botella cuando tienen incidencias.

El envejecimiento, el aumento de la demanda estructural por el aumento de tráfico y la agresividad ambiental (como el aumento en el uso de sales fundentes en las campañas de vialidad invernal) deterioran poco a poco la capacidad estructural y funcional de los puentes. Esto hace necesario tener modelos de evaluación, inspección, seguimiento y reparaciones. Con este propósito, el Sistema de Gestión de Puentes (SGP) del MITMA tiene unos 23.000 inventariados de los que 66 tienen un daño superior a 81 sobre 100, es decir con graves problemas de seguridad.

La inspección detallada de las infraestructuras permite hacer un seguimiento de su vida útil y mantener su seguridad y operatividad. Un déficit en la misma puede dar pie a roturas sin previo aviso como ocurrió en la rotura de un puente en Minneapolis en 2007 con 13 muertos o la del

¹ <https://esmovilidad.mitma.es/ejes-estrategicos/movilidad-inteligente>

² <http://labyrinth2020.eu/the-project/>

³ <https://www.u-spaceicarus.eu/altitude-reference-systems-the-icarus-concept-explained-in-a-short-video/>

⁴ <https://5g-dive.eu/?p=844>



Figura 4. Medios de acceso tradicionales para inspección de puentes.

puente de Morandi en Génova en 2018 con 39 muertos. Estas catástrofes, así como la rotura de un tirante en el puente de Alcoy en 2016, han acelerado el uso de sensorización remota en grandes puentes como el de la bahía de Cádiz o el puente del Centenario en Sevilla. El MITMA también ha incluido el uso de drones en las inspecciones en los puentes de más de 300 m.

Los puentes son infraestructuras con difícil acceso de inspección en varios de sus elementos como es la zona inferior del tablero, apoyos en estribos o pilas de gran altura, las propias pilas, arcos de grandes luces o tirantes. Para ello, habitualmente en los grandes puentes se ha hecho uso de camiones pasarela, grandes plataformas telescópicas, cámaras con teleobjetivos o se ha recurrido a profesionales de trabajos en altura. En la figura 4 se muestran medios de acceso usados en inspecciones por el CEDEX.

Estas técnicas tienen sus limitaciones económicas, de tiempo, o por la dificultad de acceder física o visualmente en muchos casos a todas las zonas a inspeccionar. Se puede mencionar, por ejemplo, la dificultad de desplegar un camión pasarela en puentes atirantados o en las zonas de arranque de grandes arcos. Gran parte de estos inconvenientes se están solventando mediante la inspección con drones que vienen a complementar y en muchos casos a sustituir las técnicas tradicionales de inspección. Siempre que se respete la legislación vigente, y se tomen las medidas de seguridad necesarias, desplegar un dron y realizar una inspección puede aportar mucha más información sobre el estado del puente a una fracción del coste y del tiempo empleado haciendo que las inspecciones resulten más seguras, rápidas y eficaces.

No obstante, el uso de drones no está exento de problemas como son la dificultad de acceso a todas las zonas, la influencia de los vientos por volar a gran altura, las turbulencias generadas por los obstáculos del puente, la pérdida de señal GPS bajo el tablero, anomalías magnéticas que interfieren en la brújula por estructuras metálicas o la necesidad de aproximación a la estructura para conseguir los ángulos de visión necesarios para la inspección.

Para acceder a zonas complicadas, los drones pueden protegerse mediante protectores de hélices o jaulas



Figura 5. Detalle de apoyo en puente ferroviario. Fotografía realizada con dron.



Figura 6. Jaula protectora de DJI Mavic Pro 2 (Fuente: Multinnov).

protectoras (figura 6). Y como alternativa o complemento puede usarse también cámaras con pértigas o dirigibles manejados con cuerdas desde suelo.

Las inspecciones con drones pueden hacer uso de las distintas cargas de pago. Así, es posible embarcar una cámara RGB con zoom que permitirá visualizar fisuras, estado de los apoyos o cualquier desperfecto (figura 5). Esa

cámara puede ir acompañada de otra cámara térmica para detectar zonas con infiltraciones de agua o diversos daños.

Algunos de los desarrollos más interesantes en este campo serían el procesado de imágenes para la detección, medición y ubicación de fisuras haciendo uso de cámaras, sistemas de geoposicionamiento y software de reconocimiento de patrones^{5 6}.

También hay desarrollos para incorporar sensores a brazos telescópicos embarcados en los que colocar sensores de contacto como ultrasonidos⁷ o de corrientes de Foucault⁸ (figura 7). Otro proyecto se basa en la gestión estructural mediante sistemas estructurales ciber-físicos en el que se incorporan dispositivos que, mediante la integración de capacidades de computación, almacenamiento y comunicación sean capaces de detectar un daño estructural que active un plan de inspección autónoma con un dron a la zona dañada⁹.



Figura 7. Dron DJI M600 con brazo telescópico y sensor de contacto de ultrasonidos (Fuente: CATEC).

4.2. Modelos digitales

Una de las aplicaciones más comunes del uso de drones es la creación de modelos digitales del terreno, de objetos o de infraestructuras. Mediante el uso de técnicas de fotogrametría o de LiDAR se consiguen crear nubes de puntos que se procesan para hacer modelos en 3D del entorno reconocido. Este modelo en 3D tiene múltiples usos como puede ser creación de mapas topográficos actualizados, control de deformaciones en taludes, medición de volúmenes, modelado de cuencas hidrográficas y zonas de inundación o como base para proyectos BIM de infraestructuras. Una vez obtenido un modelo digital también se pueden obtener curvas de nivel, perfiles y ortofotos con texturas.

⁵ Kim, H., Lee, J., Cho, S., Myoungsu, S., y Sim, S-H. (2017). Concrete Crack Identification Using a UAV Incorporating Hybrid Image Processing. *Sensors*, 17, 2052. <https://doi.org/10.3390/s17092052> (https://www.researchgate.net/publication/319597547_Concrete_Crack_Identification_Using_a_UAV_Incorporating_Hybrid_Image_Processing/fulltext/59b49a38aca2728472d8bd95/Concrete-Crack-Identification-Using-a-UAV-Incorporating-Hybrid-Image-Processing.pdf?origin=publication_detail).

⁶ Dron IRIS desarrollado por CPI INTERGRATED SERVICES (<https://cpi-is.com/idi/>).

⁷ Proyecto AEROBI (<https://www.aerobi.eu/>).

⁸ Proyecto AEROARMS (<http://aeroarms-project.eu/>).

⁹ Manuel Chiachio. Drones aplicados a la inspección de estructuras: el proyecto ROBIN. Grupo Ingeniería e Infraestructuras. Universidad de Granada. *Jornadas sobre Aplicaciones de Drones en la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, CICCP, 17 de Junio 2019, Madrid.*

Las imágenes con las que se realiza fotogrametría suelen venir de cámaras RGB (figura 8), pero también pueden estar acompañadas de imágenes térmicas o multispectrales. De esta manera, las ortofotos conseguidas con las imágenes RGB pueden solaparse con las de los otros sensores y pueden sacarse índices como el NDVI que aporta información sobre la vegetación.

Las precisiones obtenidas en los modelados fotogramétricos dependen de la calidad de la cámara, la altura de vuelo, los puntos de control en el terreno y el solape entre fotos. Por ejemplo, con un dron medio se puede llegar a realizar un modelado con una precisión de 2 cm de un área de 100 X 300 m con un vuelo de 20 minutos a 50 m de altura contando con puntos de control de coordenadas conocidas.

Los desarrollos más novedosos en este campo son los que incorporan sensores LiDAR, que anteriormente eran demasiado pesados para transportarse en un dron, que van acompañados de sistemas RTK, IMU de alta precisión, cámaras RGB y cámaras térmicas^{10 11}. Este tipo de sensores consigue precisiones de 2 cm en cada punto a 100 m de distancia tomando más de 100.000 puntos por segundo.

Mediante el uso combinado de fotogrametría, LiDAR y procesado de imágenes es posible automatizar la obtención de parámetros geomecánicos de macizos rocosos. Se puede obtener el tamaño de bloques y la identificación, orientación, espaciado, persistencia y rugosidad de discontinuidades así como el SMR (*Slope Mass Ratio*)¹².



Figura 8. Dron propiedad del CEDEX preparado para realizar un vuelo fotogramétrico.

4.3. Control de obra

El uso de drones para control y seguimiento de obras hace uso de las tecnologías anteriormente expuestas. Así, es posible realizar vuelos para obtener las geometrías iniciales e ir haciendo nuevos modelos según avanza la obra para hacer certificaciones de movimientos de tierras u otras partidas comparando entre los distintos modelos digitales del terreno.

¹⁰ Sistema AeDrone V2 de Aerolaser (https://www.aerolaser.es/es/zona_productos/integraciones/aedrone-v2/23.html).

¹¹ Sistema AM LIDARDRONE XL de Aeromedia (<https://aeromedia.es/idi/>).

¹² Riquelme, A., Abellán, A., Tomás, R., y Jaboyedoff, M. (2014). A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds. *Computers & Geosciences*. 10.1016/j.cageo.2014.03.014. (<https://personal.ua.es/es/ariquelme/smrtool.html>).

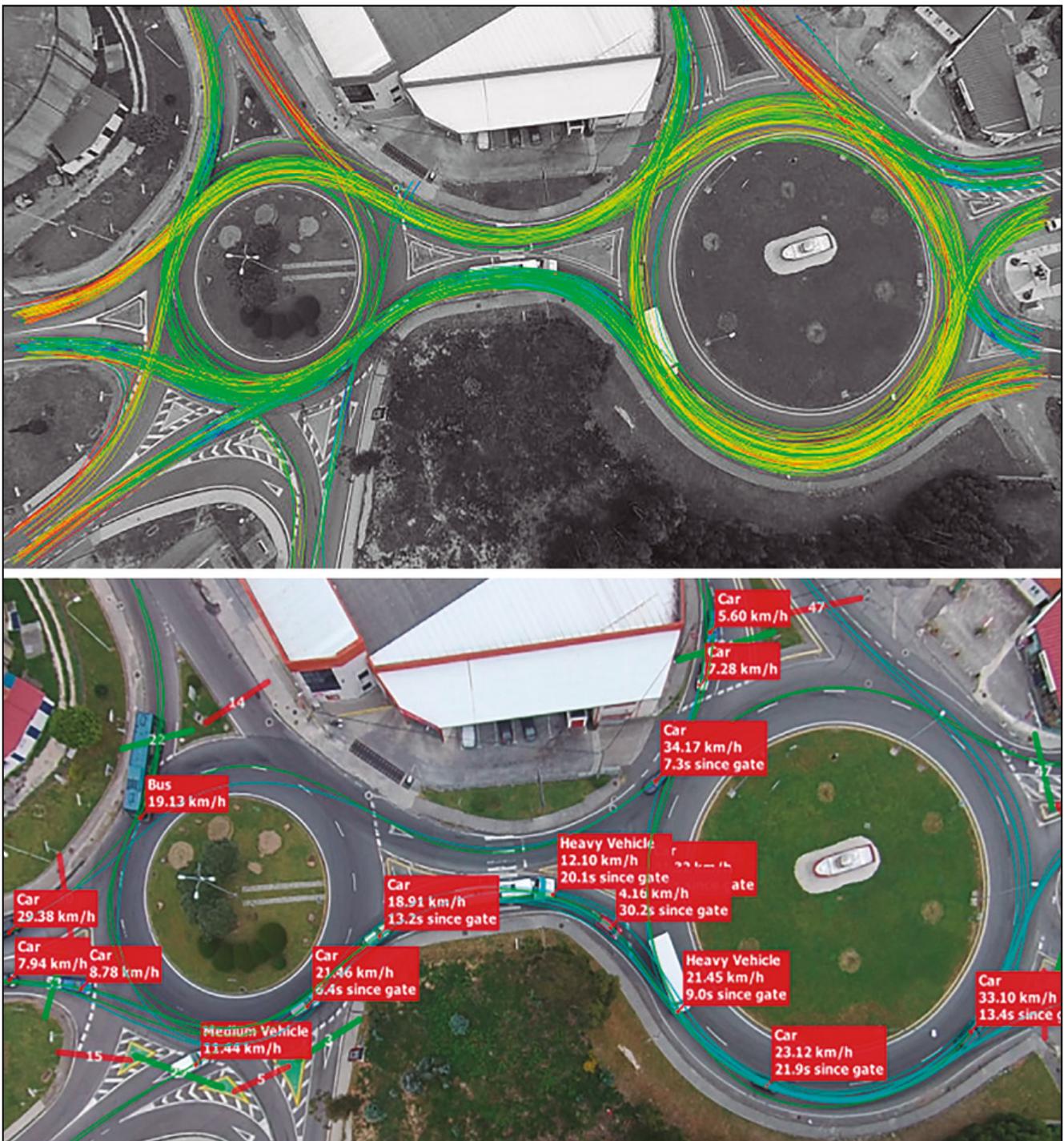


Figura 9. Diagrama de velocidades y clasificación de vehículos (Fuente: APLYGENIA, S.L.).

También se puede hacer un control geométrico de la obra terminada comparando los modelos basados en el escaneo con los modelos 3D obtenidos del proyecto en BIM. De esta manera, se obtiene un control visual a lo largo de la obra y se pueden detectar vicios ocultos mediante termografías e incluso se puede analizar el deterioro de algunos materiales mediante el uso de cámaras multispectrales.

4.4. Control de prestaciones de servicios de sistemas de transporte

La gestión de los servicios de transporte necesita conocer sus variables de estado para operarse adecuadamente. Los siguientes ejemplos son una muestra de las soluciones que pueden ofrecer los drones para la toma de datos:

- **Análisis de tráfico.** Los métodos de análisis de tráfico actuales se basan en la instalación temporal o permanente de aforadores en la calzada automáticos o manuales con personal humano. En determinadas circunstancias una alternativa a estos métodos tradicionales puede ser el despliegue de drones, con un coste más bajo y limitando en gran medida el impacto sobre los usuarios. El sistema consiste en la toma de imágenes de los puntos de control y su posterior procesamiento mediante software de reconocimiento de imágenes (figura 9). Esta operación, con su estudio de seguridad aérea prescrito, puede realizarse en multitud de puntos y zonas horarias¹³.

¹³ Estudios de tráfico empresa Aplygenia. (<http://www.aplygenia.es/estudios-de-trafico/>).

- Escaneado de túneles. Los túneles también pueden ser escaneados con sensores LiDAR embarcados en drones, sin señal de GPS, mediante el uso de vuelos autónomos procesando el entorno en tiempo real. El resultado es un modelo escaneado 3D texturizado, imágenes térmicas, creación de perfiles transversales, medición de gálibos y convergencias¹⁴.
- La identificación de puntos con necesidad de mantenimiento urgente en carreteras es otro aspecto sobre el que se está investigando mediante el uso de visión artificial en el tratamiento de imágenes con drones y detección de irregularidades superficiales o deterioro de señalización horizontal y vertical. Proyectos como *Drones4safety*¹⁵ desarrollan sistemas autónomos, colaborativos y autorrecargables que pueden inspeccionar infraestructuras de transporte de grandes áreas de manera continua.
- El uso de drones en infraestructuras ferroviarias incluye la inspección de sus superestructuras mediante fotogrametría y/o LiDAR y el de los sistemas de vía con los anteriores sensores, sumando los termográficos. Así, es posible controlar la temperatura del carril y de la catenaria, control de vegetación en la servidumbre ferroviaria, medición de gálibos y asientos de terraplenes. Sumando también cámaras que permitan visualizar la luz ultravioleta, se pueden detectar descargas eléctricas por efecto corona lo cual posibilita la inspección de líneas eléctricas¹⁶.
- Uso en aeropuertos: los aeropuertos hacen uso de drones como medidas de seguridad contra la intrusión de otros drones y en el control de aves. El primer incidente que puso de manifiesto la necesidad de proteger las instalaciones aeroportuarias frente a interferencias de drones se produjo en el aeropuerto de *Gatwick* en 2018 y provocó el cierre del mismo y la cancelación de cientos de vuelos. También se usan los drones en la inspección de los sistemas PAPI de ayuda a la navegación visual en el aterrizaje¹⁷.

4.5. Generación de gemelos digitales

Los gemelos digitales son réplicas digitales de entidades físicas, procesos, sistemas, dispositivos, etc., que se crean para controlar, simular y analizar su realidad física. Son modelos que incluyen la realidad física y también sus incidencias, desarrollo y desempeño a lo largo del tiempo y gestión. De esta manera se crea un **entorno seguro para la simulación y experimentación**, permitiendo detectar problemas antes de que ocurran, además de planificar tareas de mantenimiento y gestionar su uso.

Los drones, en este sentido, ayudarán a crear modelos digitales de las ciudades y sus entornos físicos, y sobre todo a nutrir los modelos de multitud de datos de control adquiridos con sus sensores. Aportarán información de las

aplicaciones referidas en este artículo y muchas más que se irán incorporando.

Actualmente se usan gemelos digitales para monitorización estructural, construcción y mantenimiento de edificios (modelos BIM) y como base para la gestión de la movilidad, pero en un futuro se podrán integrar ciudades enteras donde desde el modelo se podrá controlar la movilidad terrestre, subterránea y aérea de baja altitud, la contaminación y la gestión del mantenimiento entre otras muchas cosas¹⁸.

4.6. Otros usos

Las posibilidades de las cargas de pago permiten su uso en múltiples aspectos de la vida civil que contribuyen a una movilidad segura y conectada. Podemos destacar las siguientes:

- Control de contaminación. El uso de drones se puede aplicar para control y medición de contaminantes aéreos o acuáticos. La contaminación ambiental puede ser recogida con filtros embarcados en drones que posteriormente se analizarían en laboratorio¹⁹. Se puede combinar con el uso de sensores ambientales embarcados de nueva generación de medición de ozono, como el medidor en ultravioleta y la medida electroquímica en célula líquida²⁰.
La contaminación acuática de vertidos puede ser monitorizada mediante el procesado de sus imágenes aéreas. Este procesado implica la detección de puntos de rastreo como burbujas y su conversión en campos de velocidades²¹.
- Gestión de emergencias. El despliegue de drones para seguimiento y medición del alcance de la misma es ya una realidad. Mediante drones, se puede mejorar mucho la geolocalización de incendios forestales, su extensión y evolución. En cualquier emergencia permite visualizar el área, e identificar potenciales vías de escape y de acceso a los servicios de emergencia²². También se están usando drones en operaciones de salvamento en el mar o en alta montaña por su capacidad de detección, geolocalización y el eventual transporte de kits de emergencia²³ o flotadores²⁴. En un futuro se espera que puedan realizar

¹⁸ Proyecto de gemelo digital de la ciudad de Singapur. (<https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>).

¹⁹ Proyecto UrbanBees finalista de Tsinghua-Santander World Challenges of the 21st Century. (<https://www.rpas-drones.com/urbanbees-contaminacion-beneficio/>).

²⁰ Estudio en colaboración de la empresa Airestudio y la Universidad del País Vasco (<https://www.airestudio.es/Servicios/airdata/spec/Datos-atmosfericos-Meteorologia>).

²¹ Francisco Rueda. Drones aplicados a la inspección de estructuras: el proyecto ROBIN. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada *Jornadas sobre Aplicaciones de Drones en la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, CICCOP, 17 de Junio 2019, Madrid*.

²² Plan INFOCA de la Junta de Andalucía con Dronetools (<https://www.drone-tools.es/>).

²³ Dron híbrido de Aerocámaras (<https://dronehibrido.com/es/>).

²⁴ Sistema Auxdrón LFG de General Drones (<https://generaldrones.es/productos-y-servicios/>).

¹⁴ <https://www.hoveringsolutions.com/es/>

¹⁵ <https://drones4safety.eu/>

¹⁶ Sistema de inspección de líneas eléctricas de Aerocámaras (<https://aerocamaras.es/servicios-drones-profesionales/drones-inspecciones-lineas-electricas/>).

¹⁷ Servicio de inspección de instalaciones aeroportuarias de Canard Drones (<https://canarddrones.com/>).

misiones de extinción mediante el lanzamiento de agentes extintores²⁵.

- DGT. El uso de drones permitirá gestionar las incidencias tráfico como atascos, la identificación de matrículas, monitorización de vehículos, evaluación del tráfico y medidas correctoras en operaciones salida. Actualmente el uso de drones para estos usos está limitado a los cambios de baterías pero tendrán un gran crecimiento cuando se popularicen los sistemas de *tethering*^{26 27} (conexión del dron a una estación de tierra mediante un cable que le suministrará energía y comunicaciones). De esta manera, los drones podrán volar durante muchas horas en el mismo lugar y tendrán una seguridad muy alta en la transmisión de datos.

Actualmente se están probando drones en escenarios de accidentes de vehículos²⁸.

- Seguridad y defensa. El uso de drones mediante sistemas de alimentación eléctrica con cable o mediante el uso de alas fijas combinados con cámaras térmicas, de infrarrojos y RGB con detección de movimiento permiten el control de la seguridad frente a ataques o intromisiones de infraestructuras críticas o fronteras. También se ha usado durante la pandemia del COVID-19 para detección de aforos o en labores de desinfección de grandes áreas.
- Auditorías energéticas con termografía aérea. El uso de cámaras termográficas embarcadas permite el buen análisis de la envolvente de edificios, localizando puentes térmicos, humedades y otras patologías. No sólo permite acceder a las partes aéreas antes inaccesibles si no que mejora la precisión en fachadas de edificios altos al eliminar reflejos cuando se hace termografía perpendicularmente a los elementos.

5. CONCLUSIONES

Los drones son una tecnología innovadora que ha llegado para quedarse y cambiar la forma en la que se realizarán muchos trabajos, aportando rapidez, seguridad y economía. El rápido avance que se está produciendo en el desarrollo para su integración en el espacio aéreo y en el desarrollo de las cargas de pago es una curva exponencial que en poco tiempo conseguirá incorporar la utilización de drones para su uso cotidiano en la sociedad civil.

6. REFERENCIAS

Aerocámaras. Dron híbrido. <https://dronehibrido.com/es/>

Aerocámaras. Sistema de inspección de líneas eléctricas. <https://aerocamaras.es/servicios-drones-profesionales/drones-inspecciones-lineas-electricas/>

²⁵ Dron Wildhopper (<https://drone-hopper.com/1291-2/>).

²⁶ Estación Cautiva NM& TS150 de Embention <https://www.embention.com/es/producto/dron-cautivo-ts150/>

²⁷ Sistema *tethering* de Elistair (<https://elistair.com/traffic-monitoring-with-tethered-drones/>).

²⁸ La Unidad Forense de Accidentes de la policía de Queensland (Australia) está realizando un proyecto piloto para hacer vuelos de drones que permitan una rápida toma de datos de la escena de un accidente.

Aerolaser. Sistema AeDrone V2. Integración de escáner láser, cámara RGB y GPS RTK. https://www.aerolaser.es/es/zona_productos/integraciones/aedrone-v2/23.html

Aeromedia. Sistema AM LIDARDRONE XL. Hexacóptero con LiDAR embarcado. <https://aeromedia.es/idi/>

Agencia Española de Seguridad Aérea (AESA). Portal informativo uso de drones. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones>

Airestudio Geoinformation Technologies. Estudio en colaboración con la Universidad del País Vasco. <https://www.airestudio.es/Servicios/airdata/spec/Datos-atmosfericos-Meteorologia>

Aplygenia S.L. Estudios de tráfico con uso de drones. <http://www.aplygenia.es/estudios-de-trafico/>

Canard Drones. Servicio de inspección de instalaciones aeroportuarias. <https://canarddrones.com/>

Chiachio, M. (2019). Grupo Ingeniería e Infraestructuras. Universidad de Granada. Drones aplicados a la inspección de estructuras: el proyecto ROBIN. *Jornadas sobre Aplicaciones de Drones en la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, CICCOP, 17 de Junio 2019, Madrid.*

CPI Integrated Services. Dron IRIS, un dron desarrollado para la inspección de fachadas de edificios. <https://cpi-is.com/idi/>

Drones4Safety. Building a cooperative, autonomous, operating drone system to enhance transport safety. <https://drones4safety.eu/>

Elistair. Sistema tethering. <https://elistair.com/traffic-monitoring-with-tethered-drones/>

Embention. Estación Cautiva NM& TS150. <https://www.embention.com/es/producto/dron-cautivo-ts150/>

ENAIRES. Mapa informativo con zonas de vuelo para drones. <https://drones.enaire.es/>

General Drones. Sistema Auxdrone LFG para los equipos de salvamento y socorrismo en playas. <https://generaldrones.es/productos-y-servicios/>

Hovering Solutions. Drones para el escaneo de interiores. <https://www.hoveringsolutions.com/es/>

Kim, H., Lee, J., Cho, S., Myoungsu, S., y Sim, S-H. (2017). Concrete Crack Identification Using a UAV Incorporating Hybrid Image Processing. *Sensors*, 17, 2052. <https://doi.org/10.3390/s17092052>

Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea. <https://boe.es/buscar/pdf/1960/BOE-A-1960-10905-consolidado.pdf>

Ley de Movilidad Sostenible y Financiación del Transporte (en trámite). <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/participacion-publica/formulario-de-consulta-publica-previa-la-ley-de-movilidad>

Ley Orgánica 1/1982, de 5 de mayo, de protección civil del derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen. <https://www.boe.es/eli/es/lo/1982/05/05/1/con>

Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2018/12/05/3/con>

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). *Quinto eje de la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030*. <https://esmovilidad.mitma.es/ejes-estrategicos/movilidad-inteligente>

Plan INFOCA de la Junta de Andalucía con Dronetools. RPAS de monitoreo nocturno Cóndor. <https://www.dronetools.es/>

Proyecto 5G-DIVE (5G para Drones y Robots). <https://5g-dive.eu/?p=844>

Proyecto AEROARMS (Aerial Robotic system integrating multiple ARMS and advanced manipulation for inspection and maintenance). <http://aeroarms-project.eu/>

Proyecto AEROBI (AERial RObotic System for In-Depth Bridge Inspection by Contact). <https://www.aerobi.eu/>

Proyecto de gemelo digital de la ciudad de Singapur. <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>

Proyecto ICARUS (*Integrated Common Altitude Reference System for U-Space*). <https://www.u-spaceicarus.eu/altitude-reference-systems-the-icarus-concept-explained-in-a-short-video/>

Proyecto LABYRINTH (*Ensuring Drone Traffic Control and Safety*). <http://labyrinth2020.eu/the-project/>

Proyecto UrbanBees finalista de Tsinghua-Santander World Challenges of the 21st Century. <https://www.rpas-drones.com/urbanbees-contaminacion-beneficio/>

Real Decreto 1036/2017, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto. <https://www.boe.es/boe/dias/2017/12/29/pdfs/BOE-A-2017-15721.pdf>

Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifica el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/06/27/552>

Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión, de 24 de mayo de 2019, relativo a las normas y procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/oj

Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639 de la Comisión, de 12 de mayo de 2020, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 en lo que concierne a los escenarios estándar de operaciones ejecutadas dentro o más allá del alcance visual. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2020/639/oj

Reglamento de Ejecución (UE) 2020/746 de la Comisión, de 4 de junio de 2020, por el que se modifica el Reglamento de

Ejecución (UE) 2019/947 en lo que respecta al aplazamiento de las fechas de aplicación de determinadas medidas en el contexto de la pandemia de COVID-19. http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2020/746/oj

Reglamento Delegado (UE) 2019/945 de la Comisión, de 12 de marzo de 2019, sobre los sistemas de aeronaves no tripuladas y los operadores de terceros países de sistemas de aeronaves no tripuladas. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2019/945/oj

Reglamento Delegado (UE) 2020/1058 de la Comisión, de 27 de abril de 2020, por el que se modifica el Reglamento Delegado (UE) 2019/945 en lo que respecta a la introducción de dos nuevas clases de sistemas de aeronaves no tripuladas. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2020/1058/oj

Riquelme, A., Abellán, A., Tomás, R., y Jaboyedoff, M. (2014). A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds. *Computers & Geosciences*, Vol. 68, pp. 38-52. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.03.014>.

Riquelme, A., Tomás, R., y Abellán, A. (2014). SMRTTool beta. A calculator for determining Slope Mass Rating (SMR). <https://personal.ua.es/es/ariquelme/smrtool.html>.

Rueda, F. (2019). Drones aplicados a la inspección de estructuras: el proyecto ROBIN. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada. *Jornadas sobre Aplicaciones de Drones en la Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, CICCP, 17 de Junio 2019, Madrid*.

Unidad Forense de Accidentes de la Policía de Queensland (Australia). Uso de drones para grabación de escenarios de accidentes. <https://mypolice.qld.gov.au/news/2019/10/10/qps-now-using-drone-technology-at-traffic-incidents/>

Wildhopper. Dron para lucha contra incendios forestales. <https://drone-hopper.com/wildhopper-2/>