



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

**Drones equipados con tecnología LIDAR
para la conservación del medio ambiente.
Utilidades, viabilidad y beneficiarios.**

Memoria del Trabajo Fin de Grado en Gestión Aeronáutica

realizado por

Ramón Hernández del Carmen

y dirigido por

Romualdo Moreno Ortiz

Escuela de Ingeniería

Sabadell, junio de 2024

El abajo firmante, **Romualdo Moreno Ortiz**,
director del Trabajo de Fin de Grado, profesor de la Escuela de Ingeniería
de la UAB,

CERTIFICA:

Que el trabajo al que corresponde la presente memoria ha sido
realizado bajo su dirección por

Ramón Hernández del Carmen

Y para que conste firma la presente en Sabadell, junio de 2024

Firmado: Romualdo Moreno Ortiz

HOJA RESUMEN – TRABAJO FIN DE GRADO, ESCUELA DE INGENIERIA

Título del Trabajo de Fin de Grado: Drones equipados con tecnología LIDAR para la conservación del medio ambiente. Utilidades, viabilidad y beneficiarios.	
Autor: Ramón Hernández del Carmen	Fecha: junio 2024
Tutor: Romualdo Moreno Ortiz	
Titulación: Gestión Aeronáutica	
Palabras clave: Castellano: RPAS, gestión forestal, normativa de drones, tecnología LIDAR. Catalán: RPAS, gestió forestal, normativa de drones, tecnologia LIDAR. Inglés: RPAS, forest management, drone regulations, LIDAR technology.	
Resumen del Trabajo de Fin de Grado: <ul style="list-style-type: none">• <u>Castellano</u>: El propósito de este trabajo fin de grado es investigar el uso de drones para la conservación del medio ambiente, con especial enfoque en la monitorización de la biodiversidad y la detección de posibles amenazas ambientales. Se analiza cómo la tecnología de drones puede ayudar a proteger y preservar los ecosistemas naturales, así como proporcionar una detección temprana de problemas ambientales como la deforestación, la pérdida de hábitat o incluso de incendios forestales. La finalidad es utilizar los drones y las tecnologías posibles para ofrecer una gran cantidad de información útil, rápida y de bajo cost para los departamentos de conservación del medio ambiente.• <u>Catalán</u>: El propòsit d'aquest treball de final de grau és investigar l'ús de drons per a la conservació del medi ambient, amb especial enfocament en la monitoratge de la biodiversitat i la detecció de possibles amenaces ambientals. S'analitza com la tecnologia de drons pot ajudar a protegir i preservar els ecosistemes naturals, així com a proporcionar una detecció precoç de problemes ambientals com la desforestació, la pèrdua d'hàbitat o fins i tot d'incendis forestals. La finalitat és utilitzar els drons i les tecnologies possibles per facilitar una gran quantitat d'informació útil, ràpida i de cost reduït per als departaments de conservació del medi ambient.• <u>Inglés</u>: The purpose of this final degree project is to investigate the use of drones for environmental conservation, with a special focus on monitoring biodiversity and detecting potential environmental threats. It is analyzed how drone technology can help, protect and preserve natural ecosystems, as well as provide early detection of environmental issues such as deforestation, habitat loss, or even forest fires. The purpose is to use drones and available technologies to offer a large amount of useful, quick and low cost information for environmental conservation departments.	

Indice

1.	<i>Introducción</i>	1
1.1.	Presentación general	1
1.2.	Objetivos	1
1.3.	Organización de la memoria	1
2.	<i>Introducción a los RPAS</i>	3
2.1.	Definición	3
2.2.	Diferencias entre RPAS, RPAs, UAV, UAS:	3
2.3.	Origen del término:.....	4
2.4.	Historia:.....	4
3.	<i>Normativa</i>	6
3.1.	Marcados de Clase	6
3.2.	Categorías y subcategorías	11
3.2.1.	Categoría Abierta.....	11
3.2.1.1.	Subcategoría A1	12
3.2.1.2.	Subcategoría A2	13
3.2.1.3.	Subcategoría A3	13
3.2.2.	Categoría específica	15
3.2.2.1.	Escenarios Nacionales.....	15
3.2.2.2.	Escenarios Europeos	16
3.2.2.3.	Autorización operacional.....	16
3.2.2.4.	LUC	17
3.2.2.5.	Aeromodelismo.....	17
3.2.3.	Categoría certificada.....	17
3.3.	Requisitos mínimos para volar un dron.....	18
3.4.	Actividades no EASA	19
3.5.	Legislación Medioambiental	19
4.	<i>Tecnología LIDAR</i>	22
5.	<i>Sistemas seleccionados para desempeñar la actividad</i>	25
6.	<i>Presupuesto del proyecto</i>	31
7.	<i>Utilidades del sistema en entornos forestales</i>	34
7.1.	Función Práctica del uso del sistema. Procesionaria del pino.	39
8.	<i>Beneficiarios de la práctica</i>	42
9.	<i>Conclusiones</i>	45
10.	<i>Bibliografía</i>	48

Acrónimos:

- AESA: Agencia Estatal de Seguridad Aérea
- EASA: Agencia Europea de Seguridad Aérea
- UE: Unión Europea
- VLOS: Visual Line of Sight
- BVLOS: Beyond Visual Line of Sight
- NOTAM: Notice To Airmen
- GPS: Global Positioning System
- NASA: National Aeronautics and Space Administration
- IMU: Inertial Measurement Unit, (unidad inercial de medida).
- AMC: Acceptable Means of Compliance, (medios aceptables de cumplimiento).
- LUC: certificado de operador de UAS ligero.
- DEG: Derechos Especiales de Giro.
- DRI: sistema de identificación a distancia.
- RPAS: Remotely Piloted Aircraft System.
- RPA: Remotely Piloted Aircraft.
- UAV: Unmanned Aerial Vehicle.
- UAS: Unmanned Aerial System.
- UA: Unmanned Aircraft.
- MTOM: Maximum Take Off Mass.
- MMD: Masa máxima al despegue.
- RTK: Real Time Kinematic.
- UE: Unión Europea.
- V CC: Voltios en Corriente Continua.
- CIDEFO / CIDETMA: Comisión interministerial entre defensa y transportes, movilidad y agenda urbana.
- CEE: Comunidad Económica Europea.
- MTB: Mountain Bike.

Índice de Figuras:

- [Figura 1] Asedio y caída de Venecia entre abril y agosto de 1849. [7] Página 4.
- [Figura 2] Hewitt-Sperry Automatic Airplane 1917. [7] Página 5.
- [Figura 3] Esquema representativo de las categorías de drones. [18] Página 11.
- [Figura 4] Esquema categoría abierta AESA. [19] Página 14.
- [Figura 5] Mapa protección de zonas. [33] Página 20.
- [Figura 6] Representación gráfica de LIDAR batimétrico aerotransportado. [41] Página 23.
- [Figura 7] Láser TOPCON GLS-2000S. [43] Página 24.
- [Figura 8] Representación DJI Zenmuse L2 [46] Página 25.
- [Figura 9] Representación de DJI Matrice 250 RTK montando el Zenmuse L2. [51] Página 28.
- [Figura 10] Presupuesto para puesta en marcha ACRE. [55] Página 31.
- [Figura 11] Maletín protector DJI Matrice 350 RTK. *Fuente propia*. Página 32.
- [Figura 12] Estación de carga de baterías DJI. *Fuente propia*. Página 33.
- [Figura 13] Análisis sobre la densidad de un terreno. [54] Página 34.
- [Figura 14] Sección transversal de una montaña. [54] Página 36.
- [Figura 15] Estudio del bosque basado en parámetros predefinidos. [58] Página 36.
- [Figura 16] Noticia sobre plantación ilegal identificada en la comarca del Matarraña. [60] Página 38.

1. Introducción

1.1. Presentación general

Hoy en día, la protección del medio ambiente se ha convertido en una preocupación mundial a medida que las actividades humanas como la urbanización, la agricultura intensiva y el desarrollo de recursos naturales ejercen una presión cada vez mayor sobre los ecosistemas naturales. El seguimiento y la protección de la biodiversidad es esencial para garantizar la salud y el equilibrio de los ecosistemas. En este contexto, los vehículos aéreos no tripulados se han convertido en una herramienta prometedora para la protección del medio ambiente debido a su capacidad para recopilar datos aéreos de alta resolución de manera eficiente y rentable. Además de ello, también sirven para detectar ciertos problemas a los que se hace frente como la deforestación y por la que se busca el uso de drones para combatirla.

1.2. Objetivos

Los objetivos para la realización de este trabajo pasan por:

- Investigar aplicaciones previas de uso de drones en el medio ambiente.
- Conocer y explicar los aspectos legales, burocráticos y licencias pertinentes sobre drones en este ámbito.
- Buscar un sistema necesario para el desarrollo de las diferentes funciones propuestas.
- Mostrar especificaciones técnicas sobre drones.
- Analizar las ventajas y limitaciones del uso de drones en comparación con métodos tradicionales de monitorización ambiental.
- Estudiar las posibles formas de vigilancia ambiental y evaluar su eficacia en la detección de cambios en la biodiversidad y amenazas ambientales.
- Proposición de recomendaciones y/o planes de acción para la implementación efectiva de drones en programas de conservación del medio ambiente.
- Identificar los agentes beneficiarios si la práctica se pone en marcha.

Todos estos aspectos se desempeñarán aplicando las competencias adquiridas durante los estudios, desarrollando un proyecto coherente y con resultados de interés.

1.3. Organización de la memoria

El estudio se llevará a cabo en varias fases:

Capítulo 1: Este constará de una introducción y mostrará los objetivos y la estructura.

Capítulo 2: Aquí encontraremos una introducción a los RPAS, explicando qué son, los tipos, el origen del término dron, y su historia.

Capítulo 3: Destaca la normativa actual, profundiza en las categorías, subcategorías y escenarios y otras autorizaciones operacionales específicas. También se tratan los requisitos mínimos para volar un dron en España y la legislación medioambiental, que regula los drones en parajes boscosos.

Capítulo 4: Dentro de este capítulo se detalla el funcionamiento de la tecnología LIDAR y los tipos de esta.

Capítulo 5: Aquí se nombran y explican los sistemas elegidos para realizar la práctica propuesta, mostrando las necesidades y haciendo referencia a los permisos oportunos para esa elección.

Capítulo 6: Destaca el presupuesto sobre los elementos necesarios para desarrollar la actividad.

Capítulo 7: Se enumeran y describen las utilidades del proyecto en entornos forestales para mejorar su gestión, incluyendo ejemplos visuales.

Capítulo 8: Aquí se nombran y desarrollan los posibles clientes de dicha actividad con el objetivo de conocer si es un proyecto útil.

Capítulo 9: Se describen las conclusiones del trabajo y se enumeran aspectos desarrollados durante el escrito como los objetivos o los aspectos positivos de la actividad.

Cabe destacar que en ningún momento se procederá a realizar un sistema informático para el desarrollo de la práctica, ni se desarrollará una programación para los drones.

2. Introducción a los RPAS

2.1. Definición

Según establece la RAE "Real Academia de la lengua Española", un dron es una aeronave no tripulada, pero si profundizamos un poco más en explicación podemos decir que es todo vehículo aéreo no tripulado capaz de desplazarse por el aire sin que haya un piloto a bordo. Se pueden controlar de forma remota o también pueden funcionar de forma autónoma mediante programación específica ajustada al software vinculado y con ayuda de GPS para garantizar una mayor precisión de geolocalización. [1] [2]

2.2. Diferencias entre RPAS, RPAs, UAV, UAS:

El término RPA tiene su origen en la locución inglesa "Remotely Piloted Aircraft", que se traduce como aeronave pilotada de forma remota. Esta característica constituye el rasgo distintivo primordial de estos dispositivos aéreos, dado que implica el control de una aeronave desprovista de tripulación desde una estación remota, en contraposición a otros drones que pueden ser programados para ejecutar acciones de manera autónoma. En esencia, un RPA se refiere a cualquier tipo de aeronave no tripulada que es dirigida de forma remota por un piloto ubicado a distancia.

El concepto RPAS puede vincularse con una variante del término RPA. No obstante, es esencial resaltar que se trata de un sistema, en lugar de un dron en sí mismo. La expresión RPAS significa "Remotely Piloted Aircraft System", que se traduce como Sistema de Aeronaves Pilotadas de forma Remota.

Por consiguiente, la noción de RPAS engloba tanto a la aeronave como al enlace de comunicaciones y a la estación en tierra desde la cual se controla el dron. Por ende, es crucial diferenciar entre los términos RPAS y RPAs en el ámbito de los drones, ya que, aunque puedan parecer similares, no se refieren exactamente a lo mismo. Como se ha mencionado anteriormente, RPAS (con la 'S' en mayúscula) alude al sistema compuesto por los diversos elementos que intervienen en el vuelo de un RPA, mientras que el término RPAs (con la 'S' en minúscula) se emplea para referirse al dron o RPA en plural.

Las abreviaturas UAV denotan "Unmanned Aerial Vehicle", lo que implica cualquier tipo de vehículo aéreo sin tripulación que se controla por un piloto o mediante un software informático. Sin duda, esta designación es una de las más usuales al hacer referencia a los sistemas aéreos no tripulados.

Es un término de alcance más global y versátil que puede emplearse para describir las diversas categorías de drones, ya que engloba tanto a los dispositivos aéreos no tripulados programables como a los RPA. En otras palabras, tanto las aeronaves pilotadas de forma remota como las que operan de manera autónoma pueden considerarse UAV. Por consiguiente, se podría argumentar que los RPA se encuentran dentro del espectro de los UAV, aunque no todos los UAV necesariamente son RPA.

Así como los RPAS se refieren al sistema de vuelo de los RPA, los UAS hacen referencia al sistema utilizado para el vuelo de un vehículo aéreo no tripulado, es decir, al sistema de vuelo de un UAV. A pesar de que existe una relación entre los términos UAV y UAS, no se pueden considerar sinónimos.

Para comprender qué es un UAS, es suficiente con desglosar el significado de cada una de las letras que componen su acrónimo. Las siglas UAS se derivan de la expresión "Unmanned Aerial System", que se traduce literalmente como Sistema Aéreo No Tripulado. Entonces, si nos preguntamos "¿Qué es UAS en aviación?", podemos afirmar que estas siglas se refieren a una aeronave no tripulada y a todos los componentes asociados que operan sin la presencia de un piloto a bordo. [3]

2.3. Origen del término:

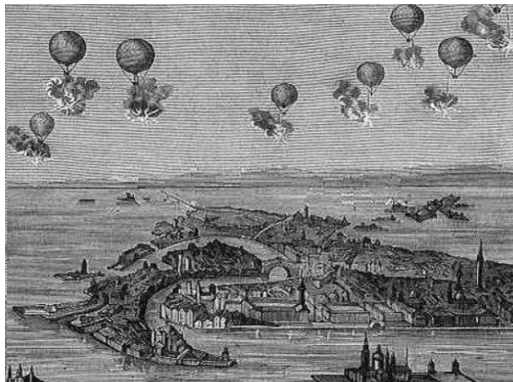
El término "dron" se incorporó al Diccionario de la lengua española en octubre de 2014, proveniente del vocablo inglés "drone" (derivado del protogermánico *dran-, que en inglés antiguo se transformó en "dran" y "dræn", significando 'zángano'). [4]

En inglés moderno, "drone" posee varios significados como sustantivo, incluyendo 'discurso monótono', 'instrumento (o parte de un instrumento) que produce un sonido de tono bajo' (como una gaita), 'zángano' y 'persona que no realiza un trabajo útil' (análogo a los zánganos, que no producen miel). También se utiliza para referirse a 'aeronave no tripulada', aunque esta connotación es más reciente, datando de 1946, mencionada en un artículo de la revista *Popular Science*. Es por ello por lo que el origen de esta palabra también viene tergiversado por la cultura popular y la información mediática, quienes manifestaban que la palabra "drone" venía de la palabra Zángano en inglés debido a que el ruido/zumbido que realizaba la aeronave era el mismo que el de dicho animal.

En castellano, se adaptó la grafía inglesa "drone" al término "dron". Aunque en inglés tiene múltiples significados, en español únicamente se refiere a 'aeronave no tripulada'. [5]

2.4. Historia:

La idea de los drones es antigua, aunque hoy en día solemos asociar los drones con robots militares, los drones, de una forma u otra, se han utilizado durante décadas con el objetivo principal de su uso en los campos de batalla para poder ser determinantes sin arriesgar la vida de las personas que manipulaban las armas ofensivas. Una de las primeras aplicaciones registradas fue la realizada por los austriacos en julio de 1849, después de lanzar unos doscientos globos bomba no tripulados sobre la ciudad de Venecia [Figura 1].



[Figura 1] Asedio y caída de Venecia entre abril y agosto de 1849. [7]

Menos de dos décadas después de la Guerra Civil estadounidense, las fuerzas confederadas y de la Unión lanzaron globos en misiones de reconocimiento. En 1896, Samuel P. Langley desarrolló una serie de drones propulsados por vapor que volaron con éxito a lo largo del río Potomac, cerca de Washington, DC. La práctica de la vigilancia aérea surgió más tarde durante la Guerra Hispanoamericana de 1898, cuando el ejército de los Estados Unidos montó una cámara en una cometa, lo que dio como resultado una de las primeras fotografías de reconocimiento aéreo. Esta función se utilizó en la Primera Guerra Mundial, donde los militares empleaban cometas para obtener fotografías aéreas del enemigo y de esta forma poder seguir los movimientos que hacían y formar cartografías del terreno.

Durante la Primera Guerra Mundial se crearon plataformas que servían como dispositivos para lanzar aeronaves no tripuladas cargadas con explosivos que eran guiadas con gran precisión [Figura 2]. Según el New York Times en 1926, volaban hasta su objetivo y allí caían en picado hasta derribarlo. También se destaca que, al ser una estrategia novedosa, los fallos técnicos eran habituales y con aparatosos accidentes. [6]



[Figura 2] Hewitt-Sperry Automatic Airplane 1917. [7]

Durante la Segunda Guerra Mundial, la marina estadounidense desarrolló un programa con estos vehículos mediante el cual sobrevolaban el territorio alemán y francés que estuviera controlado por Hitler para identificar bunkers alemanes. Estos vehículos eran bombarderos readaptados para llevar una mayor cantidad de explosivos que mediante control remoto se dirigían hacia dichos bunkers. [7]

Tras esta batalla, prácticamente todas las siguientes han sido testigos del uso de drones, como la Guerra de Vietnam o la Guerra Fría, en diferentes tareas comentadas anteriormente como para reconocimiento, investigación, ataque al adversario o incluso transporte de mercancías. El desarrollo de nuevas tecnologías a lo largo del tiempo ha hecho que se creen drones de diferentes tipos y usos, no tan solo para el campo de batalla. En la actualidad se utilizan como herramientas para facilitar las funciones del ser humano en muchos ámbitos debido a su polivalencia. En este documento se verá reflejado, siendo los drones una ayuda primordial en el ámbito rural, facilitando los trabajos a pie de campo y obteniendo resultados cada vez más rápido.

3. Normativa

En la actualidad, la normativa que rige a los drones está en continuo cambio debido a que surgen nuevas tecnologías que deben ser ubicadas para diferenciar la utilidad del dron y así gestionar su uso. Los aspectos legales en nuestro país se basan en la normativa europea, pero como esta es bastante genérica, la ley nacional junto con la autoridad competente en España que es AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) restringe en mayor medida e impone sus limitaciones para ciertos usos. [8]

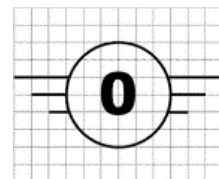
Para entender el funcionamiento de la legislación se cree conveniente explicar previamente las diferentes clases de drones en las que podemos clasificarlos, también llamado Marcado de Clase, según el Reglamento delegado UE 2019/945 [13]. Este marcado es un Certificado Europeo que hace referencia a la etiqueta impuesta por EASA para las aeronaves no tripuladas que se encuentren entre los requisitos impuestos para cada una de ellas, y así poder diferenciar su uso en diferentes categorías. Cabe recalcar que dicha clasificación entra en vigor el 1 de enero de 2024 y los drones que no cumplan con los requisitos serán incapacitados durante los posteriores años para cualquier operación aérea que se quiera desarrollar, por lo que el precio de compra de nuevos drones aumentará a partir de este año al verse supuesto este gasto adicional de adecuar las aeronaves a la legislación vigente. [9]

Destacan 7 nomenclaturas diferentes donde cada una tiene sus propias características, y la finalidad es relacionarlas con los escenarios donde operen y con las diferentes categorías de vuelo. Los niveles de clasificación desde C0 hasta C4 se aplican a operaciones de bajo riesgo, las cuales no necesitan una notificación previa por parte del piloto ni una autorización específica por parte de ninguna entidad reguladora. En contraste, las categorías C5 y C6 están diseñadas para operaciones en escenarios específicos (STS), donde el nivel de riesgo es mayor. En estos casos, el operador debe contar con declaraciones operativas y evaluaciones de seguridad aeronáutica para poder llevar a cabo vuelos de manera legal en los diversos escenarios estándar europeos establecidos (STS-01 y STS-02). [10]

3.1. Marcados de Clase

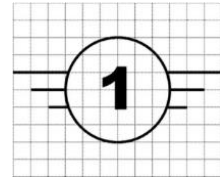
Clase 0:

- 1) Peso máximo con carga: 250 g.
- 2) Velocidad máxima horizontal: 19 m/s.
- 3) Altura máxima sobre punto de despegue: 120 m.
- 4) Control seguro por el piloto remoto, siguiendo instrucciones del fabricante, incluso tras averías.
- 5) Diseño para minimizar lesiones, evitando bordes cortantes y limitando daños por hélices.
- 6) Alimentación eléctrica hasta 24 V, sin riesgos de choque eléctrico.
- 7) Modo sígueme con alcance máximo de 50 m del piloto remoto.
- 8) Comercialización con manual de usuario detallado, incluyendo características (clase, masa, características generales de las cargas útiles permitidas, equipo y software), instrucciones de funcionamiento, limitaciones y riesgos.
- 9) Inclusión de nota informativa de la Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (AESA) sobre limitaciones y obligaciones – Reglamento de Ejecución 2019/947.
- 10) Excepción de puntos 4, 5 y 6 para drones considerados juguetes según la Directiva 2009/48/CE sobre seguridad de juguetes.



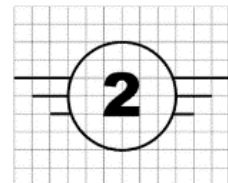
Clase 1:

- 1) Fabricación con materiales y características para asegurar que, en caso de impacto con una cabeza humana a velocidad terminal, la energía transmitida sea inferior a 80 J o tener un peso máximo de 900 g, incluida la carga.
- 2) Velocidad máxima horizontal de 19 m/s.
- 3) Altura máxima de vuelo limitada a 120 m o equipamiento con sistema de limitación ajustable por el piloto a distancia, con información clara sobre la altura durante el vuelo.
- 4) Control seguro por el piloto remoto en todas las condiciones, incluso tras averías.
- 5) Resistencia mecánica adecuada para soportar tensiones sin roturas o deformaciones que puedan afectar al vuelo seguro.
- 6) Diseño para minimizar lesiones, evitando bordes cortantes y limitando daños por hélices.
- 7) Método fiable para recuperar el enlace de datos o terminar el vuelo en caso de pérdida de conexión.
- 8) Indicación clara del nivel de ruido en la aeronave y embalaje.
- 9) Alimentación eléctrica hasta 24 V CC, sin riesgos de choque eléctrico.
- 10) Número de serie único conforme a la norma ANSI/CTA-2063 (Small Unmanned Aerial Systems Serial Numbers).
- 11) Identificación remota para cargar el registro del operador y transmitir datos en tiempo real durante el vuelo.
- 12) Sistema de geoconsciencia¹ para cargar límites del espacio aéreo, alertas de violación de límites y garantizar funcionamiento adecuado del sistema de posicionamiento.
- 13) Función para limitar el acceso a zonas aéreas específicas que interactúe fluidamente con el sistema de control del vuelo.
- 14) Señal de alerta clara cuando la batería alcanza un nivel bajo.
- 15) Equipamiento con luces para controlabilidad y visibilidad nocturna.
- 16) En modo sígueme, estar a menos de 50 m del piloto y permitir la recuperación del control remoto.
- 17) Manual del usuario detallado que incluya características, instrucciones de funcionamiento, carga de límites del espacio aéreo, mantenimiento, resolución de problemas, limitaciones de operación y riesgos.
- 18) Inclusión de nota informativa de la AESA sobre limitaciones y obligaciones aplicables bajo el Derecho de la UE.



Clase 2:

- 1) Masa máxima de despegue (MMD) no superior a 4 kg, incluyendo carga.
- 2) Altura máxima de vuelo limitada a 120 m sobre el punto de despegue o equipado con sistema para limitarla. Información clara al piloto sobre la altura durante el vuelo si es ajustable.
- 3) Control seguro por piloto remoto según regulaciones y directrices del fabricante, incluso tras averías.
- 4) Resistencia mecánica adecuada para soportar tensiones sin roturas o deformaciones.
- 5) Anclaje de menos de 50 m.
- 6) Diseño para minimizar lesiones, evitando bordes cortantes y limitando daños por hélices.

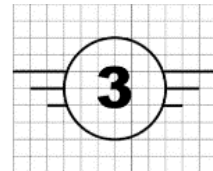


¹ Geoconsciencia: consiste en proporcionar información relativa a las limitaciones del espacio aéreo, las zonas geográficas de UAS pertinentes, o las restricciones temporales aplicables a la utilización del espacio aéreo.

- 7) Método fiable para recuperar enlace de datos o terminar el vuelo en caso de pérdida de conexión, salvo en aeronaves cautivas.
- 8) Equipado con enlace de datos protegido contra accesos no autorizados, salvo en aeronaves cautivas.
- 9) Modo de baja velocidad seleccionable por el piloto, limitando la velocidad máxima a 3 m/s, excepto en aeronaves de ala fija.
- 10) Nivel de ruido garantizado dentro de límites establecidos, excepto en aeronaves de ala fija.
- 11) Indicación clara del nivel de ruido, excepto en aeronaves de ala fija.
- 12) Alimentación eléctrica con tensión máxima de 48 V CC o equivalente, sin riesgos de choque eléctrico.
- 13) Número de serie único conforme a normas ANSI/CTA-2063 (Small Unmanned Aerial Systems Serial Numbers).
- 14) Identificación remota para cargar registro del operador y transmitir datos en tiempo real durante el vuelo.
- 15) Sistema de geoconsciencia para cargar y actualizar límites del espacio aéreo, alertar sobre violaciones y garantizar funcionamiento adecuado del sistema de posicionamiento.
- 16) Función de limitación de acceso a zonas del espacio aéreo que no afecte negativamente la seguridad del vuelo, con información clara para el piloto.
- 17) Alerta clara de batería baja para aterrizaje seguro.
- 18) Equipado con luces para controlabilidad y visibilidad nocturna.
- 19) Manual del usuario detallado con características, instrucciones de funcionamiento, carga de límites del espacio aéreo, mantenimiento, resolución de problemas, limitaciones de operación y riesgos.
- 20) Inclusión de nota informativa sobre limitaciones y obligaciones de acuerdo con el Derecho de la UE.

Clase 3:

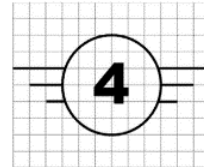
- 1) Masa máxima de despegue (MMD) inferior a 25 kg, incluida la carga útil, y dimensiones máximas menores a 3 m.
- 2) Altura máxima de vuelo limitada a 120 m sobre el punto de despegue o mediante sistema de limitación. Información clara al piloto sobre la altura durante el vuelo si es ajustable.
- 3) Control seguro por piloto con competencias adecuadas, según regulaciones y directrices del fabricante, incluso tras averías.
- 4) Para aeronaves cautivas, anclaje con longitud de tracción inferior a 50 m y resistencia mecánica adecuada.
- 5) Método confiable para recuperar enlace de datos o finalizar el vuelo en caso de pérdida de conexión, salvo en aeronaves cautivas.
- 6) Indicación del nivel de potencia sonora, excepto en aeronaves de ala fija.
- 7) Alimentación eléctrica con tensión nominal que no supere los 48 V CC o equivalente, con medidas de seguridad para evitar riesgos de choque eléctrico.
- 8) Número de serie físico único conforme a normas establecidas.
- 9) Identificación remota que permita cargar el registro del operador y transmitir datos en tiempo real durante el vuelo.
- 10) Función de geoconsciencia que proporcione información sobre límites del espacio aéreo, alertas de violación y garantice el adecuado funcionamiento del sistema de posicionamiento.
- 11) Función de limitación de acceso a zonas del espacio aéreo que no afecte negativamente la seguridad del vuelo, con información clara para el piloto.
- 12) Enlace de datos protegido contra acceso no autorizado a funciones de mando y control, salvo en aeronaves cautivas.



- 13) Alerta clara de batería baja para aterrizaje seguro.
- 14) Equipado con luces para controlabilidad y visibilidad nocturna, diferenciando la aeronave de una tripulada.
- 15) Manual del usuario detallado con características, instrucciones de funcionamiento, carga de límites del espacio aéreo, mantenimiento, resolución de problemas, limitaciones de operación y riesgos.
- 16) Inclusión de nota informativa sobre limitaciones y obligaciones según el Derecho de la UE.

Clase 4:

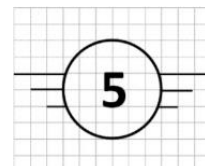
Lo destacable de este Marcado de Clase es que la diferencia directa entre el C3 y el C4 es bastante pequeña, pues ambos son parecidos, simplemente el C4 está destinado hacia el sector del aeromodelismo. [11] Sin embargo, siguen cumpliendo con los requisitos de:



- 1) Masa máxima de despegue (MMD) inferior a 25 kg, incluyendo la carga útil.
- 2) Capacidad de ser controlado y maniobrado de forma segura por un piloto a distancia, incluso en condiciones adversas o tras la falla de uno o más sistemas, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- 3) Ausencia de modos de control automático, salvo para asistencia en la estabilización del vuelo o en caso de pérdida de conexión, con la condición de mantener una posición fija predeterminada de los mandos de vuelo.
- 4) Comercialización con un manual del usuario detallado que incluya: características de la aeronave (clase, MMD), cargas útiles permitidas, equipo y software de control remoto, comportamiento ante pérdida de enlace de datos, instrucciones de operación, mantenimiento, resolución de problemas, limitaciones operativas y riesgos asociados.
- 5) Inclusión de una nota informativa emitida por la AESA que describa las limitaciones y obligaciones establecidas por la legislación de la Unión Europea.

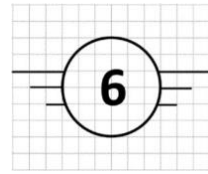
Clase 5:

- 1) La aeronave debe ser de ala no fija, a menos que esté anclada.
- 2) Si tiene una función de geoconsciencia, debe cumplir con el punto 10 de la clase 3.
- 3) Durante el vuelo, proporcionar al piloto a distancia información clara sobre la altura sobre la superficie.
- 4) Salvo si está anclada, debe tener un modo de baja velocidad seleccionable por el piloto a distancia limitando la velocidad a 5 m/s.
- 5) Proporcionar medios para que el piloto a distancia pueda terminar el vuelo de manera fiable y segura.
- 6) Proporcionar alertas al piloto a distancia sobre la calidad del enlace de mando y control.
- 7) Incluir en las instrucciones del fabricante una descripción de los medios para terminar el vuelo.
- 8) Un UAS de clase C5 puede ser un UAS de clase C3 con un kit de accesorios que:
 - no debe cambiar el software del UAS de clase C3.
 - debe garantizar una instalación correcta y completa.
 - puede introducirse en el mercado independientemente del UAS de clase C3.
 - debe ir acompañado de instrucciones claras para su instalación y uso.



Clase 6:

- 1) Velocidad máxima respecto al suelo en vuelo horizontal de 50 m/s.
- 2) Las dimensiones máximas de la aeronave no deben superar los 3 metros.
- 3) Si tiene función de geoconsciencia, cumplir con el punto 10 de la clase 3.
- 4) Durante el vuelo, proporcionar al piloto a distancia información clara sobre la posición geográfica, velocidad y altura de la UA.
- 5) Proporcionar medios para evitar que la UA exceda los límites horizontales y verticales de un volumen operacional programable.
- 6) Proporcionar medios para que el piloto a distancia pueda terminar el vuelo de manera fiable y segura.
- 7) Proporcionar medios para programar la trayectoria de la UA.
- 8) Proporcionar medios para que el piloto a distancia pueda verificar la calidad del enlace de mando y control y recibir alertas.
- 9) Incluir en las instrucciones del fabricante:
 - Descripción de los medios para terminar el vuelo.
 - Descripción de los medios para evitar que la UA exceda los límites horizontales y verticales del volumen operacional y del volumen de contingencia.
 - Distancia probable que la UA recorrerá una vez activados los medios para terminar el vuelo, considerando la definición de la zona de prevención de riesgos en tierra por parte del operador del UAS.
- 10) Sistema de terminación de vuelo y medios para reducir el impacto como un paracaídas.
- 11) Debe tener luces de control que cumplan con los estándares de aviación, pero con variaciones según el modo de vuelo.
- 12) Potencia sonora limitada.
- 13) El enlace de control C2 debe estar protegido contra el acceso no autorizado. [11] [12]



3.2. Categorías y subcategorías

Una vez aclarados los Marcados de Clase es importante entender las categorías y subcategorías que se observan y como pueden operar en ellas unos drones en concreto según los requisitos impuestos. Estos se describen en el Reglamento de Ejecución UE 2019/947 [14] y en el Reglamento delegado UE 2019/945 [13]. A continuación, se describen las 3 categorías y subcategorías posibles, igual que se representa en la Figura 3:



[Figura 3] Esquema representativo de las categorías de drones. [18]

3.2.1. Categoría Abierta

Es aquella en la que menos riesgo operacional podemos encontrar y no requiere autorización para volar ni una declaración previa al vuelo por parte del operador, aunque la persona física o jurídica que opere la aeronave debe registrarse como operador si el dron supera los 250g, si puede transferir una energía mayor a 80 julios en una colisión con un humano, o si puede capturar datos personales. Además, debe estar al mando un operador.

“Un operador de UAS es toda persona física o jurídica que utilice o tenga intención de utilizar uno o varios UAS, tanto para fines profesionales como recreativos.” [19]

Hasta que entre en vigor el nuevo Reglamento de UAS, conforme a la modificación de la Ley de Navegación Aérea por la que se quiere eximir a los drones de clase 0 y sin marcado de clase con masa máxima al despegue inferior a 250 g operados en A1, se requiere un seguro que cubra la responsabilidad civil por daños durante los vuelos (ver apartado 3.3. *Disponibilidad de seguro obligatorio de responsabilidad civil*), según la Ley de Navegación Aérea. Los UAS profesionales con peso igual o superior a 20 kg deben cumplir el Reglamento 785/2004, y los UAS profesionales con peso igual o inferior a 20 kg, así como los recreativos, deben seguir el Real Decreto 37/2001. El seguro debe cubrir una cantidad mínima de daños: 750,000 DEG según el Reglamento 785/2004 (para drones de hasta 500kg) y 220,000 DEG según el Real Decreto 37/2001. Es necesario tener un seguro para cada vuelo, sin necesidad de una póliza permanente.

También para poder volar en categoría abierta es necesaria una documentación mínima, como el certificado de registro y/o justificante de registro de operador de UAS, que se puede obtener en la web de AESA mediante los pasos establecidos[20]. Una vez se obtiene, se da un número que debe indicarse en todos los UAS que se operen de tal forma que este pueda leerse a simple vista cuando el dron se encuentre en tierra. El número de registro podrá indicarse en el compartimento de las baterías si el tamaño del UA no permite mostrarlo en el exterior o si se trata de un aeromodelo réplica de una aeronave real e indicar el número de registro de operador en el fuselaje pudiera afectar al realismo de la representación.

Los pilotos del operador deben contar con certificado de formación como piloto a distancia A1/A2/A3. Además, una póliza de seguro de responsabilidad civil según lo indicado en el párrafo anterior, y en el caso de que el operador disponga de más de un piloto a distancia, deberá contar con procedimientos para coordinar las actividades entre sus empleados y establecer y mantener una lista del personal y tareas asignadas.

Finalmente, los requisitos para operar en categoría abierta se resumen en que el UAS debe:

- Pertenecer a una de las clases establecidas en el Reglamento Delegado (UE) 2019/945 o es de construcción privada.
- Mantener una distancia horizontal segura de las personas y no sobrevolar concentraciones de personas.
- Mantener el UAS en alcance visual (VLOS) del piloto a distancia en todo momento, con excepción en caso de volar en modo sígueme o cuando haya un observador de la aeronave no tripulada.
- Fijar un límite máximo de altura de vuelo de 120m, desde el punto más próximo de la superficie terrestre.
- Durante el vuelo el UAS no dejará caer artículos ni transportará mercancías peligrosas.

Cabe destacar que todos los UAS con marcado de clase c1, c2 o c3 en categoría abierta están obligados a llevar un sistema de identificación a distancia directa (DRI)

El DRI debe permitir la carga del número de registro del operador del UAS, transmitir periódicamente el número de registro del operador, código de verificación, posición de la UA, altura, posición del piloto, trayectoria medida en el sentido de las agujas del reloj, una indicación de la situación de emergencia del UAS, y reducir la capacidad de manipular el funcionamiento del DRI. En la tabla de la Figura 4 se resumen los aspectos relacionados con el DRI y la categoría abierta. Esta medida entra en vigor al inicio de 2024.

Dentro de la categoría abierta se diferencian 3 subcategorías:

3.2.1.1. Subcategoría A1

Las operaciones en *subcategoría A1* se realizan evitando el sobrevuelo de personas no participantes y de concentraciones de personas. Los UAS aptos para volar dentro de esta subcategoría deben tener alguna de las siguientes características:

- Ser de construcción privada con una MTOM <250 g y velocidad máxima inferior a 19m/s.
- Tener una MTOM <250 g, sin marcado de clase y hayan sido introducidas en el mercado antes del 1 de enero de 2024.
- Llevar etiqueta de marcado de clase C0 y por tanto cumplan con los siguientes requisitos técnicos:
 - MTOM < 250 g;
 - velocidad máxima en vuelo horizontal de 19m/s;

- fuente de alimentación eléctrica.
- Llevar etiqueta de marcado de clase C1 y por tanto cumplan con los siguientes requisitos técnicos:
 - MTOM < 900 g o energía transmitida en caso de impacto < 80 J;
 - velocidad máxima en vuelo horizontal de 19m/s;
 - fuente de alimentación eléctrica;
 - número de serie único;
 - sistema de identificación a distancia directa y de red;
 - sistema de geoconsciencia;
 - sistema de aviso de batería baja para la aeronave no tripulada y la estación de control (CS).

3.2.1.2. Subcategoría A2

Las operaciones en *subcategoría A2* se realizan manteniendo una distancia horizontal de seguridad de al menos 30 m respecto de personas no participantes en la operación. Las operaciones en la subcategoría A2 únicamente se realizarán con UAS que lleven la etiqueta de marcado de clase C2, es decir, que cumplan con las siguientes características:

- MTOM < 4 kg.
- salvo si es una aeronave no tripulada de ala fija, estar equipado con un modo de baja velocidad seleccionable que limite la velocidad a un máximo de 3 m/s.
- fuente de alimentación eléctrica.
- número de serie único.
- sistema de identificación a distancia directa y de red.
- sistema de geoconsciencia.
- sistema de aviso de batería baja para la aeronave no tripulada y la estación de control (CS).
- estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).
- equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.

3.2.1.3. Subcategoría A3

Las operaciones en la *subcategoría A3* se realizan en zonas donde no se ponga en riesgo a ninguna persona no participante y a una distancia horizontal de seguridad mínima de 150 m de zonas residenciales, comerciales, industriales o recreativas. Las operaciones en la subcategoría A3 se realizan con aquellos UAS que cumplan con alguno de los siguientes requisitos:

- Ser de construcción privada con una MTOM < 25 kg.
- Sin marcado de clase y hayan sido introducidas en el mercado antes del 1 de enero de 2024.
- Llevar etiqueta de marcado de clase C2.
- Llevar etiqueta de marcado de clase C3 y por tanto cumplan con los siguientes requisitos técnicos:
 - MTOM < 25 kg y una dimensión máxima inferior a 3 m.
 - fuente de alimentación eléctrica.
 - número de serie único.
 - sistema de identificación a distancia directa y de red.
 - sistema de geoconsciencia.
 - sistema de aviso de batería baja para la aeronave no tripulada y la estación de control (CS).
 - estar equipado con un enlace de datos protegido contra el acceso no autorizado a las funciones de mando y control (C2).

- equipar luces para control de actitud y vuelo nocturno.
- Llevar etiqueta de marcado de clase C4 y por tanto cumplan con los siguientes requisitos técnicos:
 - MTOM < 25 kg.
 - ser controlable y maniobrable de manera segura por un piloto a distancia siguiendo las instrucciones del fabricante.
 - no disponer de modos de control automático, excepto para la asistencia a la estabilización del vuelo sin ningún efecto directo en la trayectoria y para la asistencia en caso de pérdida del enlace, siempre que se disponga de una posición fija predeterminada de los mandos de vuelo en caso de pérdida del enlace.
 - estar destinadas para la práctica del aeromodelismo.

Gracias a la web de AESA en la que se puede encontrar información sobre las mencionadas subcategorías, también se diferencia el esquema de la Figura 4 mediante el cual se facilita la identificación de cada marcado de clase acorde a las subcategorías de la categoría abierta y en la que se pueden discernir restricciones operacionales y requisitos para los pilotos al mando.

UAS			Operación		Formación
Clase	DRI**	MTOM	Subcategoría	Restricciones operacionales	Requisitos a pilotos
Construcción privada	NO✗	< 250 g	A1	<ul style="list-style-type: none">No se recomienda volar por encima de personasNo está permitido el vuelo sobre reuniones de personas	<ul style="list-style-type: none">Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS
Legacy* < 250 g	NO✗				
C0	NO✗				
C1	SI✓	< 900 g		<ul style="list-style-type: none">No volar por encima de ninguna persona no participanteNo está permitido el vuelo sobre reuniones de personas	<ul style="list-style-type: none">Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS, yPrueba de superación de formación en línea
C2	SI✓	< 4 kg	A2	<ul style="list-style-type: none">No volar por encima de ninguna persona no participante30 m de cualquier persona no participante5 m de distancia si dispone de <i>modo de baja velocidad</i>	<ul style="list-style-type: none">Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS, yPrueba de superación de formación en línea, yDeclaración de formación autopráctica, yCertificado de Competencia de Piloto a Distancia
C3	SI✓	< 25 kg	A3	<ul style="list-style-type: none">No volar cerca de personasDistancia de 150 m respecto de:<ul style="list-style-type: none">Zonas residencialesZonas comercialesZonas industrialesZonas recreativas	<ul style="list-style-type: none">Familiarización con el manual de usuario facilitado por el fabricante del UAS, yPrueba de superación de formación en línea
C4	NO✗				
Construcción privada	NO✗				
Legacy* >250 g	NO✗				

*Los UAS definidos en el artículo 20 del RE (UE) 2019/947, es decir, que hayan sido introducidos en el mercado antes del 01 de enero de 2024 y no sean de construcción privada ni dispongan de marcado de clase, serán considerados como drones "legacy".

**("DRI": Direct Remote Identification): Sistema de identificación a distancia directa.

[Figura 4] Esquema categoría abierta AESA. [19]

3.2.2. Categoría específica

Contempla las operaciones UAS con un riesgo medio que no pueden desempeñarse de forma abierta y para que se puede realizar una operación en esta categoría, el operador registrado deberá obtener una autorización operacional emitida por AESA o presentar una declaración que haga referencia y se ajuste a un escenario estándar. En el caso de los operadores de UAS ligeros, no se exigirá ni autorización ni declaración. Eso sí, para demandar una autorización o un certificado LUC en esta categoría es necesario introducir los UAS en el perfil del operador UAS dentro de la sede electrónica de AESA. (ver la explicación sobre la certificación LUC en el apartado 3.2.2.4.)

La palabra escenario hace referencia al lugar donde se va a operar el dron, son tipos de operaciones de UAS de la categoría específica definidas por la autoridad competente y se divide en tipos porque cada uno tiene unas características, por lo que se ha determinado una lista precisa de medidas de atenuación. De esta manera, un operador UAS podrá presentar una declaración operacional conforme a un escenario estándar si su operativa se acomoda a alguno de estos. [21]

Actualmente nos encontramos en un cambio legislativo que también afecta a estos escenarios, pues hasta agosto de 2024 se pueden continuar presentando estas declaraciones de conformidad respecto a los escenarios estándar nacionales, conocidos como STS-ES, y serán válidas hasta finales de 2025. Sin embargo, a partir de 2024 también los operadores UAS podrán presentar las declaraciones de conformidad con escenarios estándar europeos, ya redactados en el Reglamento de Ejecución UE 2019/947. Es por ello por lo que la legislación actual está cambiando, porque un operador puede mostrar una declaración de conformidad con un escenario nacional o europeo hasta finales de agosto del presente año.

A la hora de presentar la documentación, en una declaración operacional se incluirán la información administrativa sobre el operador, la confirmación de que se cumplen los requisitos del escenario a operar, el compromiso del operador para aplicar medidas de seguridad necesarias, y el comprobante de que el operador cuenta con un seguro adecuado para su actividad. Esta declaración se envía de forma telemática en la sede electrónica de AESA.

En esta categoría, ¿qué escenarios podemos encontrar? Diferenciamos los nacionales y los europeos.

3.2.2.1. Escenarios Nacionales

Basándose en el Reglamento anterior, AESA establece el escenario STS-ES-01 para las operaciones VLOS² sobre zonas terrestres controladas en entorno poblado. [22] La documentación necesaria para operar en este escenario:

1. Estar registrado como operador UAS.
2. Obtener una declaración responsable en este escenario.
3. Certificado de formación del piloto en este escenario.
4. Manual de operaciones según el escenario.
5. Comunicación previos 10 días al Ministerio del Interior.
6. Resto de permisos y coordinación en función del lugar concreto de vuelo.

² VLOS: engloba los vuelos que se realizan dentro de un alcance visual

El escenario STS-ES-02 hace referencia a las operaciones BVLOS³ con observadores del espacio aéreo sobre una zona terrestre controlada en un entorno poco poblado. [23] La documentación necesaria pasa por:

1. Estar registrado como operador UAS.
2. Obtener una declaración responsable en este escenario.
3. Certificado de formación del piloto en este escenario.
4. Manual de operaciones según el escenario.
5. En espacio aéreo no controlado es necesario publicar un NOTAM⁴ si se van a superar los 60 metros de altura.
6. Resto de permisos y coordinación en función del lugar concreto de vuelo.

Profundizando en el STS-ES-02 se destacan las siguientes características que engloban a la práctica de vuelo en modo BVLOS:

- Como norma general, no se debe volar a más de 100 m de altura.
- Sin observadores, no se puede volar a más de 1 km de distancia del piloto, con observadores son 2 km.
- Aterrizar y despegar siempre en VLOS.
- Garantizar que en la zona estén controlados los accesos de posibles personas.

Además, se recalca que la aeronave ha de pesar menos de 25 kg y tener dimensiones inferiores a 3 m, la velocidad máxima de la aeronave no debe superar los 50 m/s, debe disponer de sistemas de apagado de emergencia, tener la capacidad de poder programar la ruta y sobre todo disponer de un seguro para el UAS.

3.2.2.2. Escenarios Europeos

Tras los escenarios nacionales, es necesario saber las diferencias con los europeos, pues estos se detallan en el Reglamento de Ejecución 2019/947, donde los STS-01 hacen referencia a las operaciones VLOS sobre una zona terrestre controlada en entorno poblado con UAS que dispongan de marcado de clase C5, y los STS-02 a operaciones BVLOS sobre una zona terrestre controlada en un entorno escasamente poblado con UAS que dispongan de marcado de clase C6. Como se ha comentado con anterioridad, los operadores pueden acogerse a estos escenarios desde inicios de 2024.

Lo tratado hasta el momento ha sido información sobre la declaración operacional en categoría específica y sobre los escenarios, a continuación, se hablará sobre la autorización operacional en esta misma categoría.

3.2.2.3. Autorización operacional

Si la operación a desempeñar no se encuentra entre estos escenarios ni en la categoría abierta, el operador UAS deberá contar con una autorización emitida por la autoridad aeronáutica antes de operar. Para esto, el operador tendrá que presentar una solicitud de autorización

³ BVLOS: engloba los vuelos que se realizan más allá del alcance visual del piloto.

⁴ NOTAM: hace referencia a las notas temporales que se publican por las autoridades aeronáuticas sobre posibles cambios en los procedimientos o restricciones en el aeropuerto o alrededores.

operacional basada en la evaluación del riesgo para ver si se ajusta a un PDRA⁵. Si la operación cumple con una evaluación de riesgos predefinida (PDRA), se deberá mostrar la documentación que obliga dicha evaluación, si no, se deberá elaborar junto con la autorización, una evaluación del riesgo operacional de acuerdo con la operación que se vaya a desarrollar.

3.2.2.4. LUC

El certificado de operador de UAS ligero, mencionado con anterioridad, es una certificación voluntaria por la que AESA evalúa su organización para demostrar que son capaces de evaluar por sí mismos los riesgos de una operación.

Las solicitudes de LUC las demandan personas jurídicas ofreciendo información sobre los nombres de las personas responsables del operador, una descripción del sistema de gestión del operador, una declaración de que se ha verificado toda la información a la autoridad competente y un manual que describa la forma de trabajar de dicha organización. Dentro de los privilegios que estas organizaciones gozan encontramos el realizar operaciones sin presentar declaración o permitir cualquier operación sin necesidad de solicitar una autorización concreta. Cabe destacar que dicho certificado es válido en todos los estados miembros de la UE.

3.2.2.5. Aeromodelismo

Finalmente, además de las opciones mencionadas sobre la autorización operacional para poder operar, también se diferencia la práctica del aeromodelismo, pues es una actividad totalmente diferente al resto y está sujeta a autorizaciones muy particulares que se basan en la solicitud de permisos para poder volar en zonas habitadas ya que su objetivo es ofrecer un espectáculo.

3.2.3. Categoría certificada

Esta última es la menos desarrollada de todas y se centra en unas operaciones muy concretas por las que AESA deberá certificar el UAS, al operador, y en su caso verificar la obtención de una licencia por parte del piloto a distancia. Además, se establece que una operación entra en esta categoría si:

- El UAS tiene una dimensión de 3 m o más y tiene un diseño certificado para volar en concentraciones de personas.
- El diseño del UAS está certificado por EASA para el transporte de personas.
- El diseño certificado por EASA permite transportar mercancías peligrosas.
- Según la evaluación de riesgos operativos de AESA se concluye que la mitigación del riesgo de la operación no es suficiente sin la certificación del UAV por parte de EASA, la certificación del operador del UAS y, si es necesario, la obtención de una licencia para el piloto remoto. [24]

⁵ Las PDRA (Predefined Risk Assessment) son publicadas por EASA como AMC según el artículo 11 del Reglamento (UE) 2019/947 e incluyen la lista de acciones que el operador debe implementar para realizar la operación de forma segura

3.3. Requisitos mínimos para volar un dron

Hasta ahora, toda la explicación legislativa ha servido para entender las partes que la legislación europea quiere imponer en el mundo de los UAS, pero ¿Cuáles son los requisitos para volar un dron en España?

La respuesta reside en la normativa europea previamente nombrada, y es que desde el 31 de diciembre del 2020 es de aplicación la normativa europea de UAS que afecta a todo tipo de drones independientemente del uso o tamaño [25]. En ella se encuentran los siguientes requisitos:

Registrarse como operador:

Debido al Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947, todos los operadores UAS que pretendan realizar actividades tanto recreativas como profesionales deberán registrarse como operador si dicha actividad entra en la categoría abierta y la aeronave tiene una MTOM de 250g o superior y está equipada con un sensor de captura de datos personales; o si la categoría es específica.

Se considera operador de UAS a toda persona física o jurídica que utilice o tenga intención de utilizar uno o varios UAS, tanto para fines profesionales como recreativos.

Si una empresa contrata a una persona para ejercer la labor de piloto a distancia o esa persona vuela para otra persona, deberá ser la empresa operadora del dron la que deba registrarse.

Una vez generado un número de registro del operador, se deberá incluir en todos los drones de este. [20] [26]

Formarse como piloto:

Para llevar a cabo un vuelo se deben conocer aspectos mínimos en función a la categoría en la que se desarrolle. Una vez superado el examen de AESA se expedirá el certificado.

Disponibilidad de seguro obligatorio de responsabilidad civil:

Es necesario contar con un seguro que garantice la responsabilidad civil ante posibles daños a terceros durante y como resultado de cada vuelo realizado, ya sea por motivos recreativos o profesionales.

Reglas de vuelo:

La operación de drones se rige por normas generales que están condicionadas, entre otros aspectos, por el peso de la aeronave no tripulada, la presencia de personas y la proximidad a edificaciones.

Lugar de vuelo:

Adicionalmente a las normas generales de operación de drones, se establecen restricciones al vuelo de estas aeronaves en determinadas áreas debido a diversas razones, como la proximidad a aeropuertos, áreas militares, protección de infraestructuras críticas, entre otras.

Estos son los requisitos que redacta la legislación europea y que, evidentemente, también se aplican en España.

3.4. Actividades no EASA

Cabe destacar que EASA también deja lugar para otro tipo de actividades que se pueden considerar externas a todas las categorías, y es por ello por lo que se creó el apartado de “actividades o servicios no EASA”, que hace referencia a aquellas actividades excluidas del alcance del Reglamento (UE) 2018/1139 [15] del Parlamento Europeo y del Consejo, según el artículo 2.3, letra a). Esto incluye actividades o servicios militares, aduaneros, policiales, de búsqueda y rescate, lucha contra incendios, control fronterizo, vigilancia costera u otras similares, que son llevadas a cabo bajo el control y la responsabilidad de un Estado miembro. Estas actividades se realizan en interés general por parte de un organismo con autoridad, o en su nombre. La normativa europea no es aplicable a las actividades o servicios no EASA, por lo que los operadores que realicen este tipo de actividades deberán cumplir con lo dispuesto en el Real Decreto 1036/2017. [16] [27]

Esta información es relevante si consideramos que el proyecto a realizar es sobre una actividad con un uso reservado para la lucha contra incendios o de utilidad exclusivamente forestal organizada por el Gobierno. Sin embargo, se considera que el proyecto a desempeñar debe centrarse en un uso más general y no tan solo para lo mencionado.

3.5. Legislación Medioambiental

Una vez detallado el aspecto legal al que se enfrentan los drones con las legislaciones que nos afectan, se procede a profundizar en su uso relacionado con el medio ambiente, o más bien forestal.

Según establece el Real Decreto 1180/2018, de 21 de septiembre, en el capítulo XI se dictan condiciones, requisitos y reglas del aire aplicables a los RPAS, sin embargo, en los artículos 19 y 22 se menciona la relación que existe entre el uso de estos sistemas en zonas restringidas para la protección del medio ambiente. En concreto, en el primero de estos artículos se expresa que la principal medida para limitar el tráfico aéreo en estas zonas tiene como objetivo la protección y salvaguarda de las especies protegidas en espacios naturales. Además, este Real Decreto también establece que las restricciones en los parques nacionales o áreas protegidas queda delegada a cada Comunidad Autónoma, por lo que cada una puede establecer sus normas o limitaciones al vuelo, algo que complica el pedir los permisos oportunos para dichas actividades ya que no existen unos criterios unificados.

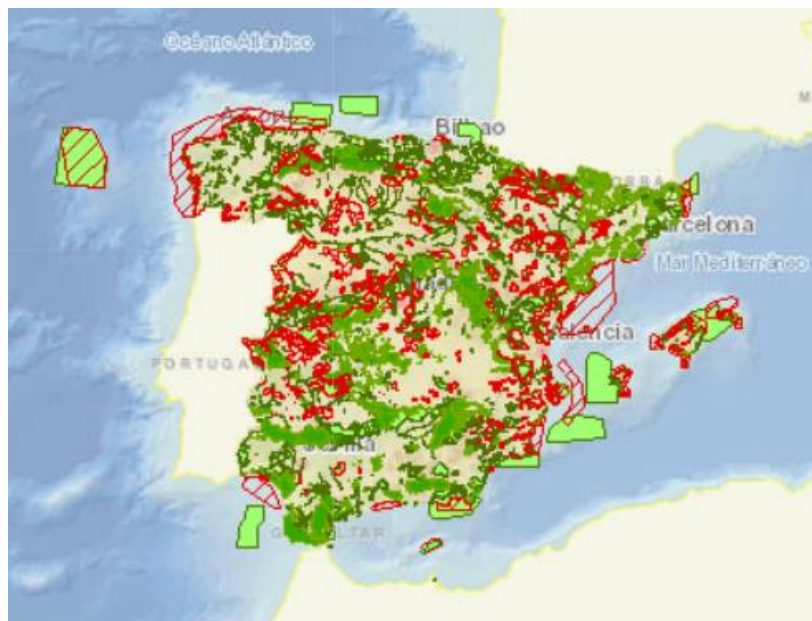
Junto a ello, en el artículo 19.2, letra b), se restringe el vuelo de cualquier aeronave en zonas de nidificación durante la temporada de reproducción, como también en la de hibernación o migración de especies para no perturbar la vida de dichas especies. A pesar de esto, el apartado 3 del mismo artículo dice *“Lo dispuesto en el apartado 2 se entiende sin perjuicio de la autorización por el gestor del espacio protegido al uso de aeronaves para su conservación”*. Teniendo en cuenta que el objetivo del uso de drones en dichas áreas tiene como propósito la conservación de los mismos se considera que si la empresa que realice la actividad se puede hacer con la licencia de operador argumentando que su actividad se basa en esa conservación del medio ambiente, podrá operar en las áreas mencionadas. [17]

Cabe destacar lo mencionado en el artículo 22.2, donde se establece que independientemente de la Comunidad Autónoma, la autoridad competente sobre los espacios protegidos facilitará a CIDEFO las coordenadas de delimitación territorial junto con información relevante sobre la zona para que el operador sepa hasta dónde puede llegar o qué áreas no debe sobrepasar. A

pesar de ser esto lo que se lea en el artículo 22, en la actualidad CIDEFO ya no existe y fue sustituida por la Comisión Interministerial entre Defensa y Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (CIDETMA), donde se realiza la coordinación de las actuaciones entre ambos departamentos. [28]

A pesar de que anteriormente se ha dicho que cada Comunidad Autónoma tiene potestad sobre su territorio, hay algunas zonas medioambientales de especial interés debido a parques nacionales u otras casuísticas, y estos se engloban en la Red Natura 2000, creada bajo la Directiva 92/43/CEE del Consejo [30], de 21 de mayo de 1992. Esta es una red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad, y consta de Zonas Especiales de Conservación (ZEC) establecidas por la Directiva Hábitat, y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) establecida por la Directiva de Aves. El objetivo de esta red es el de asegurar la supervivencia de las especies en dichos hábitats y detener la pérdida de biodiversidad. Tiene un alcance europeo y es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en este continente. [29] [31]

Para conocer la localización de estas zonas u otras, dentro de la web de AESA se puede acceder a la “Guía sobre requisitos y limitaciones al vuelo de UAS en función del lugar de operación” [32], donde se pueden ver diferentes zonas, entre las que se destacan las ZEPA, mencionadas con anterioridad y donde podemos acceder al mapa de la Red Natura 2000 [33], o al visor geográfico del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [34], en concreto el visor del Banco de Datos de la Naturaleza [35] donde se refleja el tipo de protección y datos de contacto de los responsables.



[Figura 5] Mapa protección de zonas. [33]

Estos mapas reflejan las zonas mencionadas y se pueden añadir filtros de otras zonas más como vías pecuarias. Cabe destacar que la información que obtenemos de dichos mapas también la podemos encontrar en la aplicación de ENAIRE drones mediante la utilización de capas específicas de las zonas mencionadas. [36]

En resumen, tal y como se ha expresado anteriormente, el vuelo que no sea comercial o profesional a un alto nivel de vuelo mediante aeronaves de gran tamaño sobre las zonas mencionadas estará prohibido salvo que el objetivo sea la conservación, o se presente una autorización específica ofrecida por la autoridad competente que gestione el parque sobre el que se desea desempeñar la actividad de la Comunidad Autónoma en la que nos encontremos. Por ejemplo, en el caso de Aragón se destacan ciertas zonas del territorio y se califican de diferentes maneras. En ellas hay algunas que se permite el sobrevuelo, otras están prohibidas y en otras se acepta tras una autorización del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA), autoridad competente de dichas zonas [37]. Para lograr la autorización es necesario cumplir unas características y presentar la documentación requerida, finalmente la autoridad toma una decisión sobre el permiso y también realiza un seguimiento si esta se lleva a cabo. [38]

4. Tecnología LIDAR

Las RPAS se caracterizan por poder volar en lugares impensables para otras aeronaves, debido a sus características y capacidades, pero no solo con la cámara de un propio dron podemos llevar a cabo una representación gráfica informatizada de un bosque. Para que esto se dé necesitamos de otro sistema que se acopla a la aeronave y es conocido como LIDAR. [39]

La tecnología LIDAR, acrónimo inglés de “Light Detection And Ranging” o “Laser Imaging Detection and Ranging”, lleva instaurada en nuestras vidas durante años, aunque no se le reconozca el nombre. Se basa en la emisión de rayos láser para medir las distancias y detectar movimientos precisos en tiempo real, es una tecnología basada en la teledetección. Funciona según el principio del radar y el sonar, emitiendo ondas para la detección de objetos, sin embargo, el radar usa microondas y el sonar ondas sonoras mientras que el LIDAR usa luz reflejada, lo que brinda una mayor precisión y resolución respecto a las dos anteriores.

Componentes LIDAR [40]

- Emisor: escáner láser que emite impulsos de luz láser infrarroja.
- Receptor: sensor LIDAR que recoge los impulsos luminosos del entorno.
- Unidad de posicionamiento y orientación: procesador que calcula el tiempo y la distancia para construir el conjunto de datos resultante.

Las mediciones del tiempo y el espacio tienen que ser precisas para que la teledetección será exacta. Es por esto por lo que este sistema también hace uso de una herramienta de cronometraje, una unidad inercial y un GPS.

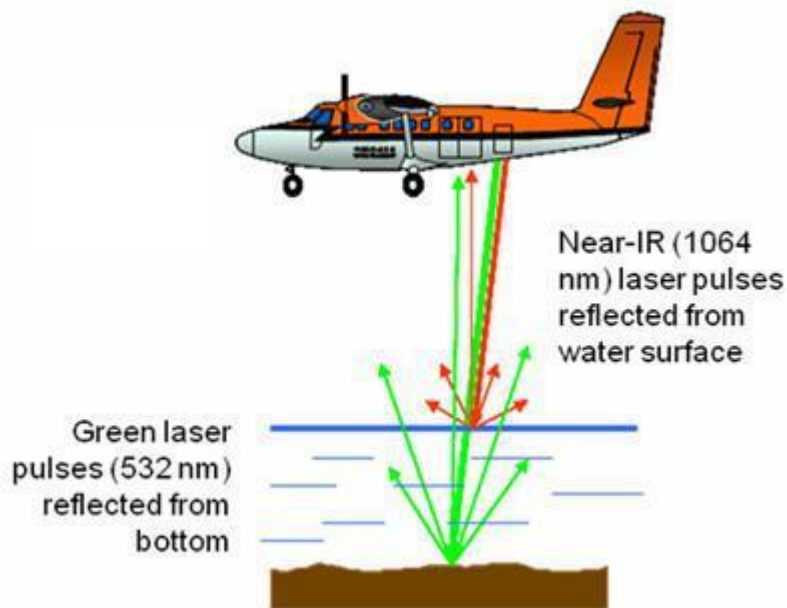
Por medio de los impulsos, que viajan a velocidad de la luz y rebotan en los objetos del entorno y vuelven hacia el sensor, un sensor LIDAR es capaz de medir el tiempo que tardó en regresar cada pulso y calcular la distancia recorrida de este, y debido a que la velocidad de la luz láser es constante, se facilita y asegura una medición con precisión máxima. Este proceso se realiza durante todo el vuelo del dron, lo que resulta en millones de puntos obtenidos con los que a posteriori se realiza una nube de puntos, que no es más que una representación gráfica informatizada de la localización de cada uno de los puntos detectados, mostrándolos en un mapa 3D que diferenciándolos por su intensidad mediante colores se puede dar forma al entorno analizado con un gran lujo de detalles.

Dicho mapa 3D se crea tras varias etapas de procesamiento, donde se comprueba la precisión de los datos, su complejidad y se elimina cualquier anomalía. Tras ello se identifican y clasifican algorítmicamente las características del entorno para cuadrar patrones, eliminar datos redundantes y crear un archivo estándar para intercambiar datos tridimensionales x, y, z.

Todo esto, que quizás suena algo enrevesado, lleva en uso mucho tiempo, aunque no seamos conscientes, como es el caso de los sensores de aparcamiento de los vehículos. También en los vehículos se utiliza esta tecnología con mayor o menor complejidad, como por ejemplo en los coches autónomos, donde no hay conductor y deben realizar cálculos constantes y continuos, o en las ayudas de conducción, como el aviso de que un coche te va a adelantar o el aviso de pisar una línea continua.

Cabe destacar los tipos de LIDAR que podemos encontrar en función de su plataforma, que son el aerotransportado y el terrestre.

Los sistemas LIDAR aerotransportados utilizan escáneres montados en aeronaves como podría ser un dron para generar mapas 3D en cuestión de minutos. La cartografía en este sistema es una valiosa herramienta para los modelos digitales de elevación de la superficie, sustituyendo al método de fotogrametría. El escaneado se utiliza ampliamente en el sector forestal con el objetivo de realizar estudios sobre el dosel forestal⁶ y el terreno de la superficie. Dentro de los aerotransportados encontramos el LIDAR batimétrico, que emite rayos láser verdes con una longitud de onda capaz de introducirse en el fondo marino y así medir la elevación digital de este, utilizado en aguas poco profundas y cercanas a la costa [Figura 6]. También encontramos el LIDAR espacial, que guía las naves espaciales en su navegación y realiza estudios de la atmósfera, la superficie terrestre, lunar, y de otros planetas vecinos. Es además una tecnología que conduce a los vehículos autónomos de la NASA durante las expediciones en la Luna o Marte.



[Figura 6] Representación gráfica de LIDAR batimétrico aerotransportado. [41]

Los sistemas LIDAR terrestres se destacan por ser utilizados para cartografiar el terreno o paisaje pudiendo recopilar datos más localizados a corta distancia, lo que ofrece mayor precisión. Dentro de estos destaca el LIDAR estático el cual se fija en una posición para realizar análisis precisos y repetidos de una misma zona. Entre sus usos destacan los proyectos de construcción, yacimientos arqueológicos o supervisión del suelo de un volcán activo o falla sísmica. Muy útil dentro de minas o canteras, es una herramienta que ofrece el conocimiento milimétrico sobre los movimientos de una montaña y ayuda a detectar desprendimientos o, incluso, derrumbamientos.

Esta herramienta fija se lleva utilizando en diferentes oficios como los mencionados, pero sobre todo destaca su utilidad en topografía, pues para cualquier proyecto de ingeniería civil se precisa de un estudio topográfico lo más concreto posible, es por ello por lo que el LIDAR se utiliza en esta rama. Además, gracias a la cantidad de datos que se extraen del terreno desde diferentes puntos de visión, y mediante la sincronización de las capas y nubes de puntos obtenidas, se pueden conseguir datos prácticamente exactos sobre unidades de medida en

- ⁶ Dosel forestal: estrato superior de un bosque formado por las copas de los árboles.

dichas zonas. Por ejemplo, conocer el volumen de tierra que hay en un montículo o incluso para realizar una obra civil saber cuánto volumen de tierra es necesario apartar para poder construir. Asimismo, esta tecnología se puede usar también en interiores por estos especialistas con el objetivo de realizar planos de construcción o reforma lo más exactos posibles. Todos estos análisis del terreno se realizan mediante dispositivos de medición láser como podría ser el siguiente [Figura 7], con un coste superior a los 30.000€. [42]



[Figura 7] Láser TOPCON GLS-2000S. [43]

El otro tipo de LIDAR terrestre es el móvil, que se utiliza en vehículos en movimiento para mejorar la asistencia al conductor o incluso ofrecer una conducción autónoma gracias a la recopilación de datos mediante detección y alcance de luz en tiempo real. Un ejemplo de este tipo serían los mencionados previamente sensores de aparcamiento en los automóviles.

En cuanto a las aplicaciones que tiene la tecnología LIDAR podemos decir que son incalculables, pues es un tipo de sistema que aún está en desarrollo y no ha llegado a todos los sectores donde se puede optimizar al máximo su uso. Actualmente hay constancia de su utilidad en la agricultura, aeroespacial, defensa, automoción, aeronáutica, batimetría⁷, construcción, entretenimiento, silvicultura⁸, minería, geología, cartografía, o incluso en la previsión meteorológica. [39]

Ahora bien, ¿Cómo podemos utilizar la tecnología LIDAR con drones?

La respuesta a esta pregunta la podemos encontrar de diferentes modos, pues una persona puede incluir un LIDAR cualquiera en un dron cualquiera siempre y cuando tenga un sistema informático en el que pueda ver el resultado de la representación del terreno y conocer su funcionamiento para explotar al máximo su utilidad. Con esto se quiere expresar que no es algo muy complejo, pero sí que se deben tener los conocimientos suficientes para que todo funcione sin problema, ya que, además, hay aparatos LIDAR que no pueden montarse en ciertos drones o necesitan de un acople específico que en la mayoría de las ocasiones debe ser de fabricación propia y artesanal.

⁷ Batimetría: estudio topográfico del relieve de superficies cubiertas por agua.

⁸ Silvicultura: referente al cultivo de bosques y montes.

5. Sistemas seleccionados para desempeñar la actividad

Para evitar los problemas del párrafo anterior se aconseja operar un dron que esté preparado para montar un sistema LIDAR en él y que sea compatible además con el sistema informático en el que a posteriori se verá la representación. Debido a esto y para evitar incompatibilidades entre sistemas se aconseja utilizar una misma marca para todo, y es aquí donde entra DJI. La empresa con sede en China se dedica a desarrollar y fabricar tecnología innovadora que sea accesible, confiable y fácil de usar para todo aquel que lo desee. Fue creada por apasionados de los helicópteros controlados a distancia y expertos en tecnologías de vuelo y estabilización de cámaras. Su uso es tanto comercial como recreativo, profesional o lúdico, y ayuda a empresas a explotar el potencial de la tecnología aérea en sus operaciones. [44]

Esta empresa ofrece diferentes tipos de drones, sistemas LIDAR y aplicaciones de software para el posterior análisis de los resultados con la particularidad de que si utilizas los productos DJI en las tres vertientes existirá una compatibilidad idónea que ayuda a obtener el mejor resultado posible.

Dentro de los sistemas LIDAR que hay en el mercado podemos encontrar diferentes tipos dependiendo de diferentes características como puede ser el tamaño, peso, utilidad, número de retornos, etc. [45] Sin embargo, para elegir uno de ellos debemos cumplir con las restricciones que hemos establecido, como es el caso de que tiene que ser un sistema de DJI y que además pueda equiparse en un dron para su uso aéreo. Pues dentro de estas características tan solo encontramos el Zenmuse L1 y el L2.

La elección pasa por el DJI Zenmuse L2, pues es una mejora del L1 que salió al mercado en el último año y tiene la tecnología punta en él. Dentro de sus características se destaca: la ligereza que tiene, menor a 1kg; el no necesitar un calentamiento previo del sistema, pues la mayoría de LIDAR necesitan calentar antes de empezar a operar; y sobre todo que dispone de 5 retornos, algo que ofrece una calidad diferente a cualquier otro sistema LIDAR ya que la nube de puntos será más detallada. [46]



[Figura 8] Representación DJI Zenmuse L2 [46]

Dentro de un apartado más técnico se puede detallar que el sistema ofrece una tasa de datos efectiva de la nube de puntos que llega hasta el 100% gracias al gimbal estabilizador de 3 ejes, que permite más posibilidades para escenarios de mapeo y registra un mayor ángulo del terreno en una misma pasada. El LIDAR permite escaneos repetitivos para ofrecer una mayor precisión y escaneos no repetitivos para obtener una mayor información estructural con un campo de visión vertical más grande. El Zenmuse L2 tiene una mayor concentración de energía haciendo que el tamaño del punto láser sea una quinta parte del L1 y por ello ofrezca un enfoque energético más concentrado, la penetración sea mayor y la nube de puntos más definida. Debido a la capacidad de cinco retornos del L2, el rango de medición aumenta en un 30% respecto a su antecesor, algo muy útil en zonas boscosas o de vegetación densa donde se ofrece al detalle la forma de los árboles y resto del bosque dando también información sobre posibles objetos que se puedan encontrar entre la vegetación, siendo esta una característica más para escoger este LIDAR respecto a otros. Tal y como se aprecia en la Figura 8, también integra una unidad de navegación inercial de alta precisión, IMU, que realiza fusión de datos y posprocesamiento con el sistema RTK de la aeronave con el objetivo de ofrecer información absoluta de posición o velocidad del dron, lo que proporciona nubes de puntos más precisas. La cámara RGB ofrece la posibilidad de colorear la nube de puntos y realizar mapeado con técnicas fotogramétricas para tener más calidad en la representación 3D, además es compatible con la cámara del dron DJI Matrice 350 RTK y brinda un mayor coloreado en la representación. Otro de los factores clave del L2 es que colorea la nube de puntos en tiempo real, lo cual quiere decir que no es necesario esperar hasta el final del vuelo para ver los resultados y se pueden ir analizando a medida que se obtienen. Asimismo, la eficiencia del sistema LIDAR de DJI respecto a otros del mercado es muy significativa, tanto que incluso el L2 supera en 5 veces la eficiencia del L1, por lo que, en un único vuelo con el mismo requisito de precisión, con el L1 se podría mapear un área de 0,5 km² y con el L2 2,5 km². Cualquiera de las especificaciones mencionadas son simplemente las más destacadas de todas las que se pueden encontrar. [47]

Todas estas características hacen al Zenmuse L2, líder en el sector, como clara elección ganadora para su utilización en el ámbito propuesto, sin embargo, ¿Dónde se puede montar este equipo? [48] [49]

La verdad es que DJI prepara todos sus productos para que sean complementarios unos con otros, pero no siempre es posible debido a características tanto físicas como técnicas, pues algunos drones no son capaces de levantar el LIDAR o su tipo de vuelo no ayuda al funcionamiento de este. Es por ello por lo que DJI establece al Zenmuse L2 compatible con los drones Matrice 350 RTK o Matrice 300 RTK. [50]

Las siglas RTK vienen del inglés “Real-Time Kinematic” y describen al sistema de posicionamiento y navegación que entrega precisión centimétrica al dron, pero, y dentro de estos drones ¿Cuál será la mejor opción?

Lo cierto es que como bien pasa con el L1 y el L2, el Matrice 350 RTK es una continuación y mejora del 300, por lo que tiene todo lo que equipa más ciertas especificaciones que le hacen mejorar:

- Dispone de una clasificación IP55, lo que nos dice que tiene una mayor protección contra objetos sólidos.
- Es impermeable y también está protegido del polvo.

- Utiliza el controlador RC Plus el cual tiene una pantalla más grande y con mayor calidad, además de durar más tiempo la batería.
- Emplea baterías inteligentes TB65, que brinda las mismas capacidades que las del Matrice 300 RTK pero les superan en que tienen el doble de ciclos, lo cual alarga la vida útil de las baterías. Dichas baterías tienen una autonomía de hasta 55 minutos, sin embargo, al llevar una carga no contemplada, se estima que las baterías con el dron equipado al completo tendrán una autonomía aproximada de 40/45 minutos. Esto depende también de las condiciones de vuelo, como vientos o incluso temperaturas extremas.
- La estación de baterías dispone de diferentes modos de carga según el uso que se haga del dron.
- Mejora la cámara FPV respecto al modelo 300, por lo que ayuda al LIDAR a representar mejor los mapas con diferentes gamas de colores.
- Desarrolla un nuevo chip RTK mejorado compatible con otras bandas para mejorar la localización. [51]

Para poder volar el dron en cuestión es necesario el RC Plus mencionado con anterioridad, pues este controlador tiene una gran calidad y ofrece un control fluido y eficiente al operador, pudiendo llegar a personalizar los botones y sus funciones. Además, para poder volar el dron se necesita configurarlo con la aplicación DJI Pilot 2, la cual se ha optimizado para presentar con claridad las misiones que se le deseen fijar al dron y el estado del vuelo. Gracias a esta aplicación y mediante parámetros existe la posibilidad de enviar al dron a una zona y que de forma autónoma la rastree o haga la actividad que se le pida sin necesidad de estar pendiente. Este ejemplo está desarrollado en prácticas como la agricultura, donde el dron sigue la línea de árboles.

Dicho esto, para llegar a volar el dron y desempeñar la actividad propuesta ya tenemos el LIDAR, el dron, la controladora o mando, y la aplicación para poder sincronizar al dron con el controlador y enviar órdenes de vuelo. Sin embargo, aún falta una parte importante en el proceso y esta es el software que se necesita para visualizar y analizar el resultado de los datos obtenidos durante el vuelo.

Como hemos nombrado con anterioridad, la mejor opción es utilizar todos los componentes de la misma marca, ya que son compatibles unos con otros, por lo que el sistema elegido es el propio de la marca, el DJI Terra. Es un software de reconstrucción de modelos 3D que tiene la fotogrametría como tecnología central y utiliza la inteligencia artificial para optimizar automáticamente las superficies rastreadas. Evita de manera eficaz la distorsión y la deformación de la imagen para obtener resultados de medición precisos en todas sus áreas de estudio. Es un programa que con un simple clic realiza un procesamiento de alta precisión de la nube de puntos obtenida por el LIDAR pudiendo realizar cálculo de rutas, extracción de puntos del suelo, resultados de misiones preestablecidas, o incluso fusionar capas para optimizar y precisar los datos de la nube de puntos y de luz visible.

Además, el software tiene una posibilidad jamás vista en otros programas del estilo que permite fusionarse con la Inteligencia Artificial para obtener datos más precisos, ayudar a sobreponer las capas y así formar un mapa más detallado, y para realizar otras funciones muy útiles como es el conteo de objetos en una superficie, pues si mediante esta inteligencia estableces un objeto concreto y pides que el programa realice un conteo de estos objetos en la

zona, él lo hará por ti sin necesidad de que debamos analizar detalladamente el mapa. Por todo esto se considera un programa que ayuda tanto en la extracción de datos como en el análisis de estos. [52]

En resumen, DJI Terra es muy superior a otras herramientas software de la misma rama que podamos encontrar en el mercado ya que:

- Su procesamiento de datos es más rápido y simple.
- No requiere concentrarse a internet para operarlo, lo que lo hace más seguro.
- Permite realizar las nombradas misiones, lo que permite saber el tiempo que llevará la acción y las cargas de batería necesarias.
- Recoge datos más rápido en diferentes modos, sea de un área específica, una trayectoria, un corredor, o de forma oblicua, dándose esta última cuando se realizan varias pasadas en un mismo terreno. [53]

A continuación, en la Figura 9 se puede observar una representación del sistema elegido para desarrollar la actividad planteada en el que destaca el dron DJI Matrice 350 RTK montando el LIDAR Zenmuse L2, también de DJI. Gracias a ello se puede dar forma y sentido a las diferentes características mencionadas con anterioridad sobre la aeronave y el LIDAR.



[Figura 9] Representación de DJI Matrice 250 RTK montando el Zenmuse L2. [51]

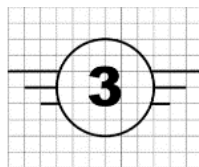
Una vez escogidos los diferentes sistemas necesarios para llevar a cabo el vuelo con drones, y retrocediendo al apartado normativo, se procederá a clasificar a este tipo de dron entre los mencionados para, de esta manera, saber qué permisos se deben solicitar y dónde podríamos clasificar nuestra actividad.

Dado que el dron elegido es el DJI Matrice 350 RTK, podemos establecer por sus características que debería llevar la etiqueta de marcado de clase C3 ya que entraría dentro de las especificaciones establecidas para esa categoría, como bien se han expresado en el apartado 3.1. *Marcados de clase – Clase 3* de este documento. Prueba de ello es que la aeronave tendrá:

- Masa máxima al despegue de 9,2 kg, inferior a los 25 que marca la normativa.
- Dimensiones de 810 x 670 x 430 mm, con una distancia diagonal entre ejes de 895 mm, las cuales son muy inferiores a los 3 metros estipulados como máximo.

- Detector de limitación de altura, para poder fijar los 120 m como máximo.
- Evaluación de controlabilidad superada gracias a las capacidades de la controladora RC Plus, sus diferentes modos de control y la configuración personal de este.
- Autonomía para recuperar rápidamente la señal del controlador en caso de interferencia y volar de forma autónoma si no recupera la señal para poder aterrizar lo antes posible.
- Número de serie único para la aeronave, cumpliendo así con la norma CTA-2063-A-2019 sobre los DRI.
- Sistema de geoconsciencia en continua actualización gracias al RTK del dron.
- Conocimiento de las zonas a las que no puede acceder y limita su paso al operador gracias a la geoconsciencia, además de avisar al piloto sobre la cercanía a estas mismas.
- Sensores de aviso al operador sobre el nivel de la batería en todo momento.
- Luces para vuelos nocturno, aunque no sea el uso que para esta práctica se vaya a dar.
- Suficientes instrucciones sobre el uso del dron, tanto básicas como específicas para conocer el funcionamiento de este en los diferentes modos posibles.
- Nota informativa publicada por EASA sobre las limitaciones y obligaciones según la normativa.

Debido a estos factores concluimos que el DJI Matrice 350 RTK se encuentra en el mercado de clase C3 y por tanto deberá llevar la siguiente pegatina:



Junto al marcado de clase también se puede considerar la categoría en la que se ubicaría el dron. Utilizando la explicación sobre las diferentes categorías y con ayuda de la tabla en la Figura 4 se establece que el dron elegido puede operarse en categoría abierta, concretamente en la subcategoría A3 debido al peso y a que el uso para el que se va a destinar es en zonas rurales, alejadas de personas. Los requisitos para esta subcategoría están descritos en el apartado 3.2.1.3. referente a la Subcategoría A3 con marcado de clase C3.

Aún dando por hecho que el dron está habilitado para volar en categoría abierta, ¿se podría también volar con él como categoría específica?

Según establecen los escenarios estándar europeos, este tipo de práctica con el dron seleccionado no podría realizarse en ninguno de ellos, ya que están reservados el STS-01 para los marcados de clase C5 y los STS-02 para los C6. Siendo que el DJI Matrice 350 RTK es de C3, no entraría en esta selección.


Bien es cierto que nos encontramos en un momento de transición de la normativa en esta categoría, por lo que un operador podría ajustarse hasta el 30 de agosto de 2024 a los escenarios estándar nacionales y seguir operando hasta finales del 2025. Una vez pase el mes de agosto del 2024, ya será de obligado cumplimiento que se ajuste a la normativa europea. Es por ello por lo que, si el operador lo cree conveniente, puede solicitar la realización de la práctica en la categoría específica hasta el mes de agosto, sin embargo, no es algo aconsejable ya que la categoría específica requiere una mayor cantidad de permisos para poder volar, sobre todo característicos del operador que vaya a ejercer la tarea. Sin embargo, si para la práctica descrita se utilizase otro tipo de dron de una mayor magnitud y se tuviese que volar

en categoría específica, se realizaría en un escenario STS-02, ya que son los destinados para vuelos BVLOS, porque volar en una zona boscosa o un parque natural por encima de los árboles implica no tener el dron al alcance de la vista. En este caso, también se deben cumplir los requisitos del tipo de vuelo BVLOS, nombrados en el apartado 3.2.2.1.

Por otra parte, dando por hecho que la categoría en la que se encuentra la aeronave para la función a desempeñar es la abierta, tan solo habría que informarse de la zona en la que se desea realizar la práctica, por lo que se deberá consultar el tipo de terreno en la web de ENAIRE, apartado de drones [36]. En el caso de encontrarse en una zona permitida, el vuelo podrá llevarse a cabo siempre y cuando la aeronave y el piloto de esta cumplan con las especificaciones necesarias para el desempeño de la actividad. Para una zona de restricción, también se deberá tener la licencia del piloto y el certificado de la aeronave como bien se ha dicho, pero además se deberán pedir los permisos oportunos de dichas zonas restrictivas acorde a lo descrito en el apartado sobre las zonas de protección. Cabe destacar que cada Comunidad Autónoma tiene diferentes procedimientos y permisos, por lo que se deberá contactar con el gestor de la zona en cuestión y solicitar los permisos oportunos. Sin embargo, aunque las comunidades puedan tener su propia legislación en términos de zonas restrictivas por el cuidado del medio ambiente o por el sobrevuelo de aves, el operador puede alegar a dichas comunidades lo dispuesto en el apartado 3 del artículo 19.2 del Real Decreto 1180/2008, por el que se permite la actividad a realizar al tratarse de un bien para la conservación del medio ambiente.

6. Presupuesto del proyecto

Una vez se conocen los permisos necesarios en cuanto al dron que se va a utilizar y los sistemas necesarios para el correcto funcionamiento de la actividad, se considera necesario conocer el coste que supondría poner el proyecto en marcha. Para ello he contactado con la empresa ACRE [55], dedicada a proveer estos sistemas, la cual ha facilitado un presupuesto que permite obtener una aproximación del coste total de los productos:



PRESUPUESTO

Número de presupuesto: 40480
 Fecha de presupuesto:
 Fecha de validez:

ACRE SOLUCIONES TOPOGRÁFICAS ALQUILER Y VENTA SL

CIF: B45462629
 TLF: (+34) 925501761
grupoaacre.es

Cliente: RAMON HERNANDEZ
 En atención a: RAMON HERNANDEZ
 CIF/NIF/DNI:
 Dirección: ESPAÑA

Código	Productos	Cantidad	Precio de Venta	Descuento	Total
DJ2894	ZENMUSE L2 UNIVERSAL EDITION SP 2Y	1	11.309,92 €		11.309,92 €
BVSC TM	TERRASCAN UAV + TERRAMATCH UAV MANTENIMIENTO	1	874,80 €		874,80 €
BVSC MT	TERRASCAN UAV + TERRAMATCH UAV	1	5832,00 €		5832,00 €
PK3501	DJI MATRICE 350 RTK PACKAGE	1			
DJ1794	DJI MATRICE 350 RTK	1	7970,25 €		7970,25 €
PJ1014	DJI CARE ENTERPRISE BASIC AUTO-ACTIVATED MATRICE 350 INCLUIDO	1			
PJ1004	DJI RC PLUS INCLUIDO EN EL PACK	1			
PJ1001	DJI BATERIA WB37 INCLUIDA EN EL PACK	1			
DJ1797	BS65 INTELLIGENT BATTERY STATION	1	1025,62 €		1025,62 €
DJ1795	DJI TB65 INTELLIGENT FLIGHT BATTERY	6	697,52 €		4185,12 €
				Base imponible:	31.197,71 €
				Impuestos 21%:	6551,52 €
TOTAL:					37.749,23 €

Puedes pagar tu pedido por transferencia bancaria. Para ello, utiliza estos datos: Código de presupuesto y nombre como concepto.

Forma de pago: IBAN
Fecha de aceptación:
Nombre:
CIF/NIF/DNI:
Firma:

[Figura 10] Presupuesto para puesta en marcha ACRE. [55]

En primer lugar, está el Zenmuse L2 que, como bien se ha explicado con anterioridad, es el dispositivo LIDAR siendo el producto más caro de todos ellos, pues el uso de las nuevas y desarrolladas tecnologías tiene un alto valor. A continuación, aparecen los sistemas para el procesamiento de la información, y aunque los proporcionados por el proveedor no son los oficiales de DJI, son muy parecidos pese a que el coste sea mayor. En el presupuesto se incluye el sistema operativo Terrascan & Terramatch junto con el mantenimiento, que es nada más que el coste de emparejar los sistemas y asegurar su correcto funcionamiento. El precio de ellos sube a los 6.706,80€ y el del sistema DJI Terra oficial tiene un valor de 4.920€.

A continuación, aparece el “DJI MATRICE 350 RTK PACKAGE”, siendo este un lote que incluye el propio dron, el sistema de actualizaciones del mismo, el mando de control y una batería para el mando. Todo esto con un coste de 7.970,25€. El propio paquete incluye una caja protectora con fácil transporte donde se puede guardar el dron. Tal y como se puede apreciar en la Figura 11, esta maleta tiene el espacio muy optimizado ya que cada pieza tiene su propia localización. Destaca la ubicación de las patas y un lote de hélices extra en la parte de la puerta, o que las hélices montadas en el dron se posicionan todas en un mismo sentido, lo que nos hace ver cómo de optimizado está el espacio.



[Figura 11] Maletín protector DJI Matrice 350 RTK. *Fuente propia.*

Finalmente encontramos el apartado de las baterías. Por un precio de 1.025,62€ tenemos la estación de carga para las baterías, aunque también sirve para transportarlas gracias a su forma de maleta. En el paquete también se incluyen 6 baterías por un precio de 697,52€ cada una. En la Figura 12 se puede observar cómo es el maletín de las baterías y la posición que ocupa cada una de ellas, tanto las del dron como las de la controladora. Dicho maletín se conecta a la corriente para abastecer de energía a las baterías, pero dispone de una batería interna, lo cual permite cargar las baterías después de un vuelo mientras se utilizan otras sin necesidad de estar conectado a la corriente y así se puede realizar vuelos con mayor autonomía en lugares lejanos a un puesto de abastecimiento de energía, como sería un monte o un parque forestal.

Como curiosidad se destaca que cada una de las baterías están numeradas con un 1 o un 2, esto hace referencia a la posición en la que se deben instalar en el dron, pues la aeronave no reconocerá dichas baterías si las dos son de tipo 1 o de tipo 2. Dado esto, se recomienda siempre utilizar los pares de baterías juntos, sin intercambiar una del tipo 1 con otra del tipo 1 porque puede que la vida útil de estas sea menor. Además, mediante esta estación de baterías se tarda aproximadamente 70 min en cargar al 100% dos baterías TB65.

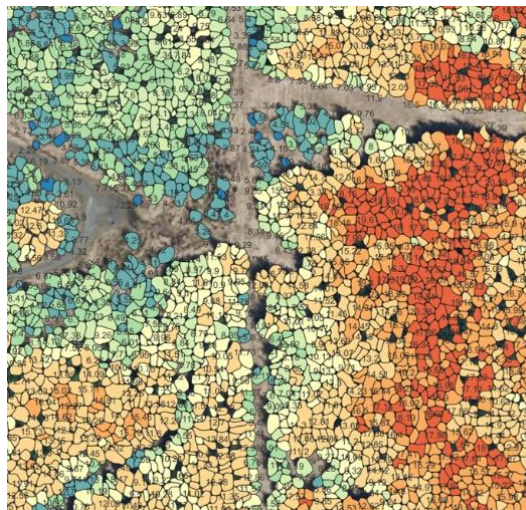


[Figura 12] Estación de carga de baterías DJI. *Fuente propia.*

Cabe destacar que también se pueden obtener los productos desde la web de la propia DJI, pero los precios son prácticamente similares por lo que el presupuesto se ajusta al precio real que costarían los materiales para la puesta en marcha de la actividad. Además, es importante recalcar que al adquirir los productos a la misma vez los precios se reducen, pues en el caso del LIDAR, al obtener la unidad sola, el precio sobrepasa los 14.000 €. [52]

7. Utilidades del sistema en entornos forestales

La primera de las funciones que se destaca en el uso de drones para la gestión ambiental es la representación gráfica del bosque a analizar. Mediante la tecnología LIDAR es posible rastrear, mapear y analizar aspectos como la calidad del propio bosque. Esto es gracias a que, mediante dicha tecnología, en cuestión de minutos es posible obtener datos clave que para trabajadores del sector, como los forestales, tardarían días, semanas, o incluso meses en conocer. Dicho análisis consiste en conocer la anchura de un árbol, calcular su altura, su edad, tomar muestras del terreno para conocer humedad, saber si el árbol en concreto no sufre de ninguna enfermedad o incluso conocer si da frutos que los animales del entorno puedan comer. Para hacerse una idea de cómo se efectúa en la actualidad, realizar un análisis forestal tan detallado como el que te da un dron equipado con LIDAR, se estima que puede suponer entorno a 1 hora por kilómetro recorrido, porque prácticamente hay que examinar cada árbol. Como ya se ha reflejado, el obtener estos datos requiere de un trabajo de campo minucioso en el que el personal debe ir árbol a árbol, o en extensiones más grandes, por sectores. Entonces, ¿Cómo podríamos agilizar el proceso, disminuir el factor humano que pueda inducir a errores, y obtener datos analizados al momento? La respuesta la tiene la tecnología LIDAR, y a continuación se muestra un ejemplo gráfico con una de sus funciones, como es el cálculo de la altura y el diámetro de las copas de los árboles.



[Figura 13] Análisis sobre la densidad de un terreno. [54]

Se puede observar como la toma está dividida en secciones donde cada una tiene un color diferente y un número, pues lo grande que sea cada porción indicará la anchura del árbol y el número junto con el color muestran la altura a la que se encuentra la copa. Esta técnica ayuda a extraer todos los datos posibles sobre el dosel forestal.

Uno de los factores diferenciales que ha llevado a la realización de este proyecto reside en la búsqueda de disminuir los incendios forestales que deboran entorno a las 120.000 hectáreas cada año, dejando muertes de personas, animales, árboles y generando gases contaminantes para la atmósfera. Con la intención de preservar el hábitat de ciertas especies que residen en zonas frondosas, una representación del terreno ayudaría en la gestión contra los incendios, pues sería más fácil planificar las tareas de prevención. Además, ayudaría a dividir por zonas los bosques según la forma que tenga la montaña para calcular áreas de bosque y, de esa

manera, adivinar las zonas idóneas de la montaña para la realización de cortafuegos, teniendo en cuenta la accesibilidad a la zona, tanto para la maquinaria que deba realizar dicha actividad como también para los bomberos que se tengan que desplazar hasta la ubicación si se activa un incendio. Sabiendo la importancia de los cortafuegos en la prevención de incendios, la tecnología LIDAR agilizaría los procesos para realizarlos, pues son los propios forestales quienes consideran que es más útil partir un bosque por la mitad en vez de mantenerlo todo unido ya que si un incendio ocurre como mucho se quemará la mitad y si encontramos un cortafuegos se ganará en accesibilidad, con lo que las probabilidades de que se llegue a quemar una mitad entera son menores.

Ligado con lo anterior, si un incendio ya ha sucedido, mediante el análisis del terreno y la representación mapeada de este se puede conocer el alcance de los daños, incluso si el terreno está caliente y además se puede averiguar el nivel de daño que ha supuesto, verificando las posibles muertes de animales o personas y ofreciendo los primeros datos clave para la investigación de lo sucedido. También se agilizan las tareas para la planificación de la reforestación y se gana en mejorar la accesibilidad a estas zonas, buscando la forma más sencilla y rápida de empezar con dichas tareas.

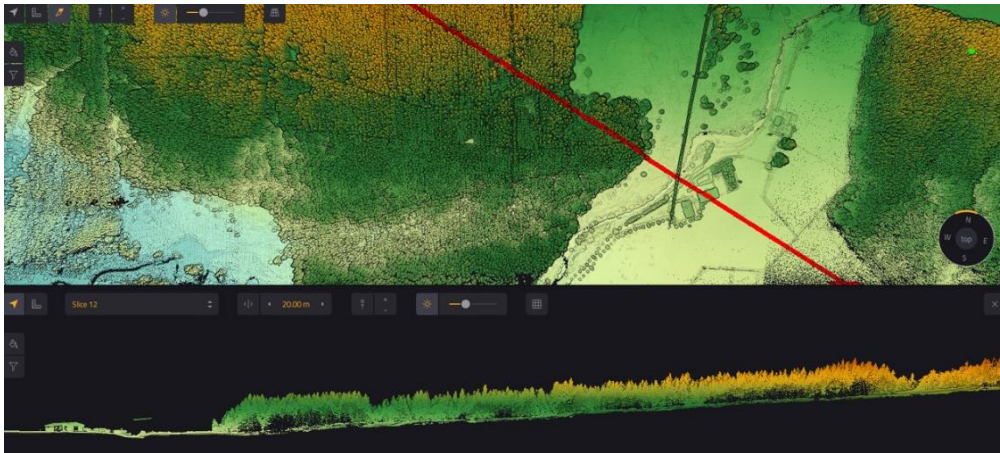
Otra función para la que podría usarse el sistema en los montes, es para el mantenimiento de los caminos rurales que pasan por los bosques. Estas vías suelen ayudar a acceder a la montaña y sirven de cortafuegos, pero al ser estrechas, si no están lo suficiente cuidadas no sirven contra los incendios. Es por ello por lo que mediante el uso del LIDAR se puede conocer la situación de dichos caminos antes de llegar a ellos para saber si son practicables y si necesitan de limpieza de arbustos, y gracias a ello se gana en accesibilidad.

Relacionado con esto, y gracias a la capacidad de alcance del Zenmuse L2, en ciertos lugares de montaña se pueden ver reflejadas en la representación del terreno posibles madrigueras o escondrijos donde los animales habitan y, de esta manera, conocer sus costumbres, su alimentación, o tasa de reproducción, además de proporcionar la ubicación de exacta y servir esta de información para los forestales y sus estudios sobre la fauna.

Dentro de las opciones que tiene el mapeo de este tipo de terrenos, se puede discernir una parte lúdica, pues la cartografía de este tipo de bosque en el que no se puede acceder mediante coche, sirve para planificar rutas de bici o moto entre las montañas por las diferentes sendas que se pueden encontrar, de esta forma se obtendrá una precisión máxima sobre las distancias recorridas o incluso sobre desniveles del terreno. Junto a estas prácticas también se pueden incluir el senderismo o carreras de montaña, es una forma de reconocer el terreno previamente sin la necesidad de tener que recorrerlo entero. Cabe destacar que estos caminos pueden ser causados por el tránsito de personas y animales de forma temporal o pueden ser caminos que han estado presentes durante mucho tiempo, como es el caso de senderos de gran recorrido (GR), pequeño recorrido (PR) o senderos locales (SL). Gracias a la tecnología LIDAR se puede conocer la ubicación de estos caminos y su estado, lo que ayuda a su preservación.

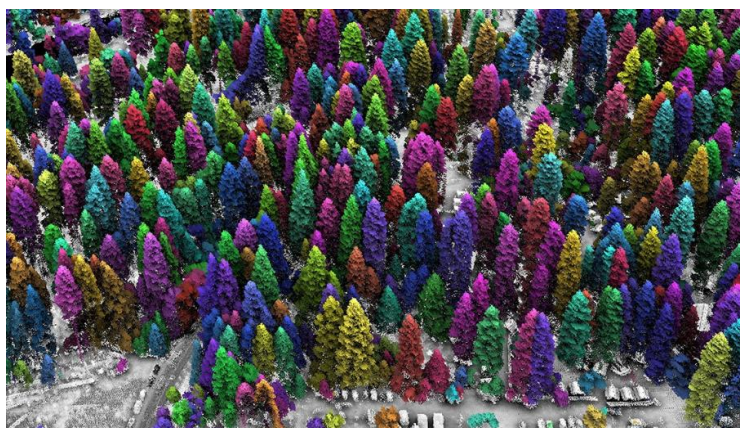
Como ejemplo visual sobre conocer los desniveles del terreno, podemos destacar la Figura 14, donde vemos toda un área analizada con dron y LIDAR. Para el estudio de dicha área, el software utiliza la nube de puntos. En ella se ha trazado una línea roja y muestra el corte de la

montaña por esa misma. Con esto podemos conocer diferentes datos como la altura de los árboles, la longitud del bosque, densidad del dosel forestal, o algo incluso más destacable como es la inclinación de la montaña. En el propio sistema informático se puede navegar entre la nube de puntos e introducirse en el propio bosque.



[Figura 14] Sección transversal de una montaña. [54]

Es de vital importancia destacar que mediante el dispositivo LIDAR se pueden extraer una inmensidad de datos del terreno pero también gracias a la posibilidad de utilizar Inteligencia Artificial, las tareas sobre el análisis de datos se optimizan aún más, tanto para las funciones mencionadas como para nuevas, pues gracias a esta inteligencia podemos establecer parámetros para que sean calculados. Como ejemplo de esto encontramos el conteo de objetos, pues de esta manera se puede conocer la información de cuántos árboles de cada tipo hay en una superficie establecida. De igual modo se le diría al programa que diferencie el tipo de árbol, lo clasifique y lo cuente para su posterior análisis. El resultado de estos análisis ayudarán a científicos, ingenieros agrónomos o forestales en los estudios sobre cómo se desarrollan estos árboles o sobre las especies que se alimentan de los ellos, ayudándoles a tomar decisiones futuras que mejoren el medio ambiente. Un ejemplo de esto lo vemos en la Figura 15, donde mediante esta inteligencia se pueden conocer datos clave, ya que clasifica por colores según parámetros predefinidos como el tipo de árbol o el tamaño. Esto resulta muy útil para prácticas como la silvicultura, donde se talan los árboles más desarrollados con el objetivo de permitir a los pequeños que crezcan.



[Figura 15] Estudio del bosque basado en parámetros predefinidos. [58]

Otro rasgo del que dispone el LIDAR y que se puede explotar es su capacidad de trabajo en zonas de agua como lagos o ríos, pues el Zenmuse L2, gracias a sus cinco retornos y al láser, es capaz de obtener datos del terreno bajo el agua, como bien se muestra en la Figura 6. Cuando no hay mucha profundidad se pueden sacar mapas de este en zonas de río, con diferentes objetivos, principalmente la extracción de datos para su posterior análisis, pero también otros como conocer si hay madrigeras de animales en estas zonas y así conocer que especies habitan allí. Además, gracias a los diferentes mapas y las funciones que tiene el software en medición precisa o cálculo de áreas y metros cúbicos, diferentes ingenieros pueden obtener la información necesaria para presentar proyectos como la fabricación de una presa, un azud⁹, un terreno más profundo o una isla entre dos ríos. Todo ello con el objetivo de mejorar la vida de la fauna que reside en dichas superficies, además de para controlar el trascurso del agua y así podese utilizar para riego en estas zonas forestales, o incluso planificar pequeñas estaciones de energía hidráulica.

También, y relacionado con otro de los objetivos anteriores, tener una zona de agua encharcada en una ubicación accesible sirve de gran ayuda para los bomberos en su lucha contra los incendios, ya sea para que un helicóptero pueda recoger agua o para que los camiones se abastezcan allí, si están lejos de su parque u otra zona de abastecimiento.

Además de las funciones presentadas también puede destacar la del análisis de tendidos eléctricos cercanos o incluidos en estas zonas de bosque, pues algunos de estos aprovechan los cortafuegos para cruzar un monte y así no utilizar mucha longitud de cable, pero también es peligroso si se produce una diferencia de tensión que resulte en chispas y puedan provocar un incendio. Por esto, mediante el análisis del terreno con dron y LIDAR, se puede averiguar que no haya ningún daño en las torres ni en los cables de alta tensión y, además, se puede conocer la situación del suelo en esas líneas, para en el caso de que no estén limpias, que la empresa o autoridad competente las limpie de rastrojos que puedan llegar a incendiarse y así evitar males mayores. Junto a esto, también de cara a la ubicación de las torres de alta tensión, mediante el mapeo de una zona en la que se permita su construcción, una empresa eléctrica puede ayudarse y saber las mejores ubicaciones para cada una, optimizando el espacio, el cable y el coste de fabricación final.

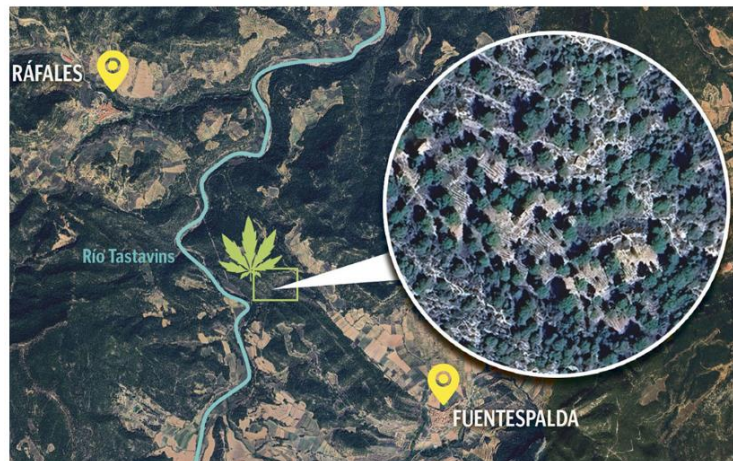
A su vez, este análisis del terreno para conocer las mejores ubicaciones, también puede servir para la construcción de molinos de viento generadores de energía eólica. Mediante la representación de los mapas y ayuda del software Terra se puede planificar la ubicación idónea de estos molinos teniendo en cuenta aspectos importantes como la accesibilidad al lugar o la distancia entre ellos.

⁹ Azud: construcción para elevar el nivel de agua de un río con el fin de derivar parte de su caudal a las acequias cercanas para facilitar el riego de campos y cultivos.

Finalmente, otra de las utilidades que tiene el vuelo con LIDAR es para detectar prácticas ilegales, como plantaciones que pasaban desapercibidas entre los árboles de los montes. Durante la descripción de la actividad y teniendo en cuenta que uno de los posibles beneficiarios pueden ser los cuerpos de seguridad del estado para la detección de estas prácticas ilegales en entornos forestales, se han encontrado diferentes noticias:

La operación antidroga de Fuentespalda se habría saldado con varios detenidos de Europa del Este

A falta de datos oficiales se habrían practicado cuatro arrestos y uno de los implicados habría huido. Los apresados habrían montado guardia durante semanas en la zona forestal en la que ubicaron la plantación



[Figura 16] Noticia sobre plantación ilegal identificada en la comarca del Matarraña. [60]

Para la detección de estas plantaciones es necesario que alguien informe a las autoridades sobre la ubicación de ellas o que una patrulla terrestre las identifique, algo muy complicado si estas no se encuentran cerca de caminos. También pueden ser reconocidas por patrullas aéreas en helicóptero, aunque la distinción de estas plantas a gran altura y en movimiento no es tarea sencilla. Por estos motivos se considera que el uso de drones equipados con LIDAR es la mejor manera de localizar dichas plantaciones ofreciendo una información exacta, rápida, y de manera más económica que los medios actuales. Teniendo en cuenta cuáles serían los factores de riesgo en dichas actividades y la peligrosidad de las personas contra las que se trabaja, existe la posibilidad de que ellas actúen de manera agresiva contra los drones y los derriben mediante armas de fuego. En caso de que esto se dé, el sistema guardaría las últimas coordenadas y el operador alertaría a las autoridades de forma inmediata con el objetivo de encontrar al malhechor, lo cual ayudaría a identificar traficantes o cazadores furtivos, entre otros.

7.1. Función Práctica del uso del sistema. Procesionaria del pino.

Una aplicación importante de esta tecnología en el ambiente forestal pasa por la búsqueda de controlar y/o erradicar las diferentes plagas que acechan a la fauna. Está claro que mediante el LIDAR no es posible eliminar estas plagas, pero sí se puede ayudar a la detección y al control de estas. Se propone como ejemplo la procesionaria del pino.

La procesionaria del pino, conocida científicamente como *Thaumetopoea pityocampa*, es una oruga de la familia de los lepidópteros que se encuentra en parques, áreas rurales y bosques de pinos templados, especialmente en el sur de Europa. Este insecto se instala en los árboles formando grandes nidos blancos de hasta 20 centímetros de longitud en las copas de los pinos y se alimenta principalmente de los árboles en los que habita, llegando a provocar su defoliación. A pesar de su tamaño, la procesionaria es responsable de una plaga silenciosa que puede afectar significativamente a los bosques españoles, donde casi la mitad están formados por coníferas, según el informe del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. En Cataluña, se encuentra en una de cada seis hectáreas de pino y otras coníferas como cedros y abetos. [56]

El principal peligro de la procesionaria no es solo el daño a los árboles, sino también su amenaza para los seres humanos. Las orugas poseen unos 500,000 pelos urticantes que se desprenden fácilmente, causando irritaciones en las vías respiratorias y en los ojos. El contacto directo puede provocar urticaria, sarpullidos, conjuntivitis y problemas respiratorios graves. Las mascotas, especialmente los perros, están en mayor riesgo, ya que el contacto con los pelos tóxicos puede causar necrosis en los tejidos bucales y, en muchos casos, la muerte por asfixia. Debido a esto se considera un problema de salud pública, especialmente en zonas rurales o cercanas a donde pueden habitar estas especies.

Durante los meses de verano, las hembras ponen entre 150 y 300 huevos en las hojas de los pinos, formando una masa de color blanquecino. Una vez eclosionan, las larvas pasan por cinco fases larvares y es en esta época cuando se alimentan de las acículas del pino formando grandes nidos sedosos de color blanco tan característicos donde se refugian, siendo esta la temporada que más dañan al árbol. Tras la última muda, las orugas descienden hasta el suelo y se entierran durante meses con el objetivo de pulpar en un capullo resistente. Finalmente las mariposas emergen de nuevo en la época de verano y viven pocos días porque su única función es la de reproducirse. De hecho, una vez realizada la cópula, las hembras buscan un árbol que consideran adecuado y pone en sus hojas los huevos, completando así el ciclo de vida.

Debido a su gran capacidad de reproducción, en 2022, zonas como la Sierra de Baza clasificaron la situación como una gran plaga, con un grado cinco de infestación siendo este el máximo.

Según afirman los científicos forestales, la procesionaria no suele afectar a los mismos pinares año tras año ya que buscan los mejores donde habitar y obtener el máximo de nutrientes del árbol. Sin embargo, los más afectados quedan tan debilitados que no tienen tiempo de recuperarse y se van debilitando hasta que acaban muriendo.

Pero si tan mala es, ¿Cómo se erradica?

Para controlar artificialmente las poblaciones de esta especie se emplean métodos físicos, químicos y biológicos. Las trampas de feromonas se utilizan para capturar a los machos adultos, reduciendo así las posibilidades de reproducción y, por ende, las poblaciones. Los métodos físicos incluyen la eliminación de los nidos: cuando las orugas están dentro, estos se cortan, se apilan y se incineran.

Actualmente, muchos ayuntamientos utilizan un método que consiste en una inyección directa en el tronco del pino, permitiendo que el producto se distribuya intravascularmente, afectando a las orugas que intentan alimentarse del árbol.

Sin embargo, el método de control más eficaz sería el equilibrio natural, ya que la procesionaria tiene numerosos depredadores como pájaros, hormigas rojas, avispas y murciélagos. También son efectivos algunos hongos del suelo, como los Cordyceps, cuyas esporas se adhieren a las orugas durante su descenso a tierra en primavera.

El enterramiento de las orugas y la humedad del suelo favorecen la germinación de los hongos sobre la crisálida, matando a la mariposa en desarrollo. [57]

Una vez se conoce que es una plaga que se puede erradicar de diferentes maneras, lo que queda claro es lo complicado que resulta saber con exactitud la situación de estos animales y la ubicación. Es por ello por lo que mediante un análisis del terreno con un LIDAR tan potente como el planteado sería sencillo y rápido encontrar los nidos de estas especies. Según lo expresado con anterioridad y teniendo el conocimiento de que cuando forman el nido se ubican en las zonas altas de los pinos y es la época en la que más se pueden ver, se plantea realizar el mapeo de bosques afectados, o posiblemente afectados, con el objetivo de saber si se encuentran nidos y en caso afirmativo, informar a las autoridades competentes sobre la ubicación de ellos para sean los forestales quienes tomen las decisiones oportunas para su posterior erradicación.

Mediante el vuelo con dron y el uso del LIDAR junto con el software de Terra se pueden ver reflejados en la nube de puntos un mapa con diferentes colores, siendo estos los que ofrecen información de lo que está rastreando. Dado esto, se considera muy útil y rápida la detección de estos nidos ya que su color será diferente en la representación del mapa. Además, mediante la Inteligencia artificial que se puede fusionar a los resultados del mapeo se logra realizar el conteo de estos nidos en una superficie determinada con la intención de conocer su capacidad de reproducción en la zona y de esta manera agilizar los procesos de erradicación.

Tras estos análisis, se plantea la opción de que gracias a la obtención de datos clave como el número de nidos, la distancia entre ellos y la ubicación exacta, sería posible el uso de drones para la erradicación de los nidos, haciéndolos volar hasta la zona en cuestión y dotándoles de un tanque de insecticida y un brazo extensible para rociar sobre dichos nidos la cantidad justa a fin de acabar con ellos. Sin embargo, a pesar de que el control químico es otro de los métodos utilizados para la erradicación de la procesionaria durante las primeras fases del desarrollo de las larvas, desde 2012 la Unión Europea prohibió los medios aéreos para la fumigación con insecticidas en su esfuerzo por promover un uso sostenible de productos fitosanitarios, por lo que este método solo puede realizarse de forma manual y exclusivamente sobre cada nido. A pesar de esto, si mediante el mapeo de una zona se consigue saber con exactitud donde se encuentra cada nido, supondría un ahorro de tiempo extraordinario para que los forestales se dediquen tan solo a erradicar esta plaga.

En definitiva, el sistema propuesto basado en la monitorización de las zonas boscosas mediante el LIDAR con el objetivo de favorecer la gestión ambiental, tiene diferentes usos y funciones, pero lo que todas ellas tienen en común es que resulta ser una medida perfecta para la extracción de datos que más tarde, con ayuda de la Inteligencia Artificial o sin ella, los expertos en la materia como forestales o ingenieros utilizan para la toma de decisiones o para el análisis de datos, y así buscar una mejoría tanto en la fauna como en la flora, ayudando así al medio ambiente.

8. Beneficiarios de la práctica

Suponiendo que una empresa se especifica en la actividad planteada y pone en marcha el proyecto, ¿Quiénes podrían ser los clientes potenciales?

A lo largo de las funciones o usos que tiene la tarea desarrollada se han ido expresando los posibles agentes que podrían verse beneficiados de un servicio así, y a continuación se reflejan junto con otros posibles:

- Agentes forestales: tras una representación tan detallada como la que ofrece este sistema en la que es posible hasta saber el ancho de un árbol concreto entre todos los que puede haber en un bosque, los agentes se ayudan para:
 - Implementar medidas de prevención y control de incendios mediante el estudio e implantación de nuevos cortafuegos o balsas de agua para mitigar la quema de los árboles.
 - Proteger la biodiversidad y los hábitats naturales, pues si se generan ciertas balsas, más animales irán a beber agua.
 - Evaluar y mitigar el impacto ambiental de las actividades forestales.
 - Control sobre la migración de las especies mediante el conteo de nidos; se puede conocer la cantidad de animales por zona y comparar datos de diferentes estaciones o años.
 - Prevención contra insectos o plagas dañinas para el entorno, donde los forestales gracias a tener la información sobre la ubicación de estas especies, les pueden hacer frente.
 - Mantenimiento de bosques, ya sea de cortafuegos, de tendido eléctrico o de caminos. Un monte limpio ayuda a evitar la propagación de incendios y favorece el acceso a las zonas complicadas.
 - Desarrollo de planes de gestión forestal y ambiental a largo plazo, mediante la replantación o la tala en zonas concretas se pueden hacer planes forestales a largo plazo.
 - Realización de inventarios forestales mediante el conteo de árboles, pudiendo clasificar estos en diferentes tipos o tamaño, y así tener un control de las especies que habitan en ellos.
 - Supervisar la tala y la explotación de la madera con el objetivo de garantizar la sostenibilidad y apoyar la silvicultura de una forma controlada.
 - Monitorear el crecimiento y salud de árboles y plantas mediante la comparación de mapas en diferentes fases del año.
 - Promover la educación ambiental y la sensibilización sobre la importancia de los bosques, además de organizar programas de formación y talleres para empleados mediante la representación 3D del terreno.
 - Ayudar en la solicitud de subvenciones para proyectos de conservación y restauración.
 - Identificación de basura o elementos perjudiciales para el ecosistema y fomento de la participación comunitaria en la conservación ambiental.
 - Promover actividades forestales que aumenten la resiliencia de los ecosistemas forestales para asegurar una calidad medioambiental excelente.

- Servicios de bomberos: mediante los mapas de montes y bosques realizan una primera identificación del terreno y así saben lo antes posible por dónde pueden acceder, y en el caso de que se hayan construido balsas, aprovechar ese agua en la extinción de incendios.
- Ingenieros civiles: gracias a una representación exacta del terreno y al software descrito se pueden hacer bocetos de proyectos como presas o azudes. Estos ingenieros pueden perfeccionar un diseño para posteriormente ser presentado a empresas que desean realizarlo.
- Empresas de construcción: una vez presentado un proyecto o para la realización de los planos de uno, es necesario conocer previamente el terreno en el que se va a edificar y conocer la fauna y flora que habita en él para poder asegurar que no daña un espacio protegido. Si esto no se realiza y al tiempo se acaba descubriendo que se destruyó dicho espacio, puede ser algo perjudicial para la empresa.
- Empresas para uso lúdico: como se explicó en las funciones, diferentes sociedades que quieran desempeñar su actividad en montes o bosques pueden hacer uso de este sistema, tanto para la planificación del proyecto que se quiera llevar a cabo como para el mantenimiento u otras actividades. Algunos ejemplos de estas empresas podrían ser:
 - Deportes de ski: es una práctica que tan solo se realiza en montaña y en invierno cuando ha caído nieve, sin embargo la empresa trabaja en verano para planificar la temporada y es entonces cuando mediante una representación gráfica del LIDAR y los mapas pertinentes se puede conocer la situación en la que se encuentran las pistas, el mantenimiento que se debe realizar, revisar la situación de los postes y cables del telesilla o incluso analizar zonas nuevas para la construcción de posibles pistas nuevas.
 - MTB & enduro: los deportes rurales como las carreras de descenso de montaña en bicicleta o carreras de moto en modalidad de enduro son prácticas que pueden utilizar el servicio del LIDAR tanto para la planificación de rutas y longitudes de estas, como para reconocer el terreno previo a la carrera y saber la situación en la que se encuentra, por si se debe hacer una limpieza de las sendas antes de la competición.
 - Vivienda rural: el auge de los alquileres de habitaciones o casas exóticas en medio de un paraje rural libre de ruidos y alejado de grandes ciudades, contaminación ambiental y lumínica, han hecho que se construyan diferentes hogares de este estilo en montes para los que una empresa se ayudaría de un estudio del terreno con el objetivo de averiguar las mejores ubicaciones para dichas casetas y asegurar las mejores vistas a sus clientes.
- Cuerpos de seguridad: durante los últimos años se han detectado diferentes prácticas ilegales en entornos rurales entre las que destacan plantaciones de sustancias estupefacientes. Debido a esto se considera que mediante la representación detallada del terreno se puede conocer el tipo de planta que es, la cantidad de ellas y quienes la pueden estar tratando. Todo ello gracias al reconocimiento del terreno con dron ya que estas plantaciones se ubican en zonas de difícil acceso para no ser detectadas.
- Agencias meteorológicas: son varios los casos en los que estas asociaciones instalan estaciones de control y análisis sobre aspectos meteorológicos con el objetivo de tener información más precisa en todas las regiones y, en ocasiones, estas terminales se encuentran en el monte, por lo que gracias a una representación mapeada del terreno se puede facilitar el acceso al mejor punto posible que sirva a la empresa para extraer datos

sobre el clima. Además, fusionando estos datos con los estudios de los agentes forestales se pueden concluir aspectos relacionados con el medio ambiente.

- Eléctricas: tanto para energía solar mediante placas como para energía eólica, estas empresas necesitan una serie de permisos que deben ir acompañados de estudios sobre la zona en la que se quiere desempeñar la actividad. Dichos estudios pueden tener como base una representación del terreno mediante LIDAR para agilizar el proceso y obtener grandes datos. Con ellos, la empresa plantea la construcción de un parque fotovoltaico o eólico y la autoridad competente decide aprobar el proyecto, o no. Cabe destacar que también mediante la tecnología LIDAR se puede ayudar al mantenimiento tanto de los parques como del acceso a ellos, contribuyendo y generando información a la empresa explotadora para beneficiarse. También, si se desea plantear una pequeña estación con un generador de energía hidroeléctrico, se puede hacer uso de estos mapas, siempre y cuando el lugar de explotación no sea muy profundo y así la representación del terreno pueda ser clara.
- Otros: una vez ocurre un incendio o un desastre natural en una zona forestal o parque protegido, como podría ser la erupción de un volcán, y en la que no se puede acceder a la zona afectada hasta pasado mucho tiempo, una tecnología del calibre del LIDAR es la idónea para realizar la primera visión y reconocimiento del terreno. Los datos que se obtengan pueden proporcionar información como la cantidad de hectáreas afectadas, volumen de lava eruptado, o incluso el estado de dicha zona. Junto a ello podemos establecer que empresas de seguros se lograrían apoyar de estas representaciones mapeadas para realizar una evaluación de los daños para calcular las indemnizaciones oportunas.

Todos estos clientes potenciales tienen en común que necesitan de esta actividad para agilizar los trámites y analizar el terreno, por lo que al ser el LIDAR un generador de datos de gran precisión y haber tantos agentes que pueden necesitar de dicha información, se considera que puede ser un proyecto que tenga futuro.

9. Conclusiones

Mediante la realización del trabajo se ha dado respuesta a los propósitos planteados para la conservación del medio ambiente, entre los que se destaca el estudio y monitoreo de la biodiversidad, y sobre todo, la detección de posibles amenazas ambientales. Además, se tratan otros aspectos como la deforestación, la pérdida de hábitat o el desarrollo de planes de acción en la lucha contra los incendios forestales. Todo ello ofreciendo una gran cantidad de información útil y rápida para que los diferentes departamentos de conservación del medio ambiente o autoridades competentes puedan realizar las tareas oportunas.

De forma similar, durante la realización del escrito también se han cumplido los objetivos iniciales, entre los que resalta el conocer cuáles eran las aplicaciones previas al uso de los drones en ambientes forestales. Según lo comentado, todas las actividades se hacían de forma manual, algo que llevaba mucho tiempo a los trabajadores, pudiendo utilizarlo en otras tareas. Asimismo, se han abarcado los diferentes aspectos legales, burocráticos y licencias necesarias tanto para los drones en general como en especial para la práctica a desempeñar. Además se han tratado diferentes informaciones específicas sobre drones y se ha presentado el sistema LIDAR para desarrollar las funciones propuestas. Junto a ello, y durante todo el trabajo, se han presentado aspectos positivos y negativos comparando el uso de drones en la monitorización ambiental con las prácticas manuales que se utilizaban anteriormente, y como conclusión final en este aspecto destaca que una aeronave equipada con tal sistema puede abarcar 2,5 km² en un solo vuelo, mientras que para una persona, teniendo en cuenta las paradas que tiene que hacer cada pocos metros para analizar el terreno, recorrer una longitud de 1 km podría suponer una media de 1 hora. Debido a ello, el sistema ahorra tiempo a las personas en la extracción de datos e incluso en el análisis de estos, pudiendo ser utilizado para realizar diferentes planes de acción que puedan mejorar o preservar el medio ambiente.

Por otra parte, los sistemas software descritos ayudan al análisis de los datos obtenidos, pero lo más importante es que sirven de herramienta indispensable para gestores forestales en el cálculo de áreas, planteamiento de medidas, representaciones exactas y detalladas del terreno, clasificación de especies o ubicación exacta de cada una de ellas, entre las funciones más destacadas. Todas ellas con el objetivo de detectar cambios y amenazas en la biodiversidad, realizando una vigilancia ambiental detallada.

Un aspecto a recalcar respecto a la normativa de drones reside en el cambio legislativo al que está sometida, pues ya se ha expresado durante la realización del escrito que ciertas características en la categoría específica tienen un límite de fecha en el que los permisos pasan de un tipo a otro. Esto, sumado a la relativamente reciente adopción por parte de AESA de la legislación europea establecida por EASA, lleva a comprender que la normativa es reciente y que en la actualidad, debido al desarrollo de diferentes drones o prácticas con estos, se debe reinventar para estar a la altura.

Entre las dificultades que ha presentado el trabajo destaca, en primer lugar, la falta de conocimiento propio sobre RPAS y la normativa que abarcan, además, debido al cambio normativo, se encontraban diferentes informaciones confusas o erróneas al respecto, por lo que finalmente la fuente de información siempre se verificaba con lo dispuesto en los documentos oficiales como los Real Decreto, Reglamento Delegado, o Reglamento de Ejecución. Es por ello por lo que el apartado legislativo ocupa una gran parte del escrito. Otra de las dificultades reside en que no se ha encontrado ninguna empresa que se dedique a realizar esta práctica de forma comercial, por lo que no es posible hacer un análisis del

mercado para conocer la posición o el alcance que tiene esta actividad. También como dificultad a la hora de poner en práctica el proyecto descrito se ha de tener en cuenta que, para poder volar un dron como el elegido se debe ser muy cuidadoso con la meteorología, pues un climatología adversa podría provocar daños graves, sobre todo teniendo en cuenta el valor del LIDAR y del propio dron ya que son costes elevados y aparatos sensibles.

Cabe destacar que la actividad desarrollada tan solo se ha centrado en el uso de LIDAR en drones para la gestión ambiental pero estas aeronaves también se utilizan en zonas forestales con diferentes finalidades y usos, entre los que destaca la extinción de incendios para la que se utilizan UAS de gran tamaño y con una alta capacidad de almacenaje de líquido para extinción. Otro de los usos es el de la reforestación, y es que una vez se ha producido un incendio y la zona afectada se limpia de árboles quemados, es necesaria una replantación del terreno para volver a la situación en la que se encontraba. Es por ello por lo que mediante un dron y un dispositivo que suelta semillas cada cierto espacio, se ahorra tiempo en reforestar todo un monte. Para que esta práctica ocurra con facilidad se utilizan semillas de árboles que están modificadas genéticamente para aguantar peores condiciones que una semilla normal, esto es porque un dron la deja caer y no la entierra, como debería ser en un proceso normal, sin embargo, la semilla está preparada para aguantar temperaturas extremas y con el tiempo termina germinando. Una técnica similar a esta se utiliza en algunos cultivos, sobre todo en zonas de campo de difícil acceso para maquinaria pesada, donde las semillas de ciertas plantas seleccionadas pueden ser sembradas con mayor facilidad.

En zonas de campo, la utilización de drones también es útil en prácticas como el peritaje de cultivos, algo necesario para compañías de seguros en los años que deben dar subvenciones a los agricultores debido al clima u otros factores externos que afectan a la cosecha.

Teniendo en cuenta la idea principal de comprobar la viabilidad del proyecto, se ha realizado un presupuesto para conocer el coste de poner en marcha dicha actividad, sin embargo, no hay constancia de posibles ingresos. Esto quiere decir que no se ha encontrado ninguna actividad del estilo en la que se pueda conocer el precio obtenido por desempeñarla para, de esta manera, averiguar si realizar la operación otorgaría beneficio alguno. No obstante, se considera que, aunque poner en marcha un proyecto como el analizado requerirá de costes adicionales a los del presupuesto, como el transporte, acceso a lugares específicos, obtención de permisos o campañas de promoción, entre otros, el coste global no es muy elevado teniendo en cuenta la preocupación actual por el medio ambiente. Mediante lo comentado y teniendo en cuenta el apartado *8. Beneficiarios de la práctica*, donde se muestran diferentes clientes potenciales, se estima que la actividad podría resultar viable, económicamente hablando, sobre todo gracias a la inyección monetaria que el Gobierno o entidades europeas destinan a zonas forestales o parques nacionales con el objetivo de garantizar su correcta preservación, pudiendo servir de ayuda alguna de sus subvenciones para hacer más asequible la puesta en marcha del plan desempeñado.

Un ejemplo de esto es la “Subvención para la realización de proyectos de investigación científica en la Red de Parques Nacionales para el año 2024”, por la que se cubren prácticamente todos los gastos para la puesta en marcha, como el coste de personal, pequeño equipamiento, material fungible, viajes y dietas, y otros gastos como la utilización de grandes instalaciones o sistemas de análisis de datos, u otros costes indirectos. [59]

En conclusión, queda demostrado que para realizar una buena gestión ambiental es necesario ayudarse de las nuevas tecnologías, ya que facilitan y optimizan las tareas a realizar. El uso de drones puede suponer un gran avance en esta gestión, gracias a la diversidad de funciones de las que disponen, además, si se equipan con sistemas como el LIDAR ayudan a forestales en su día a día. En la actualidad, los recursos que se destinan a la gestión forestal son escasos y en muchas ocasiones inútiles porque los trabajadores no pueden realizar todas las tareas que se piden, y dado este problema, la solución pasa por buscar un sistema que haga gran parte del trabajo de campo que dichos forestales realizan. Mediante la elaboración del trabajo se han ido detallando las utilidades que tiene la puesta en marcha del uso de drones equipados con LIDAR, y todas ellas hacen mejorar las condiciones actuales. También se habla de los beneficiarios, pues hoy en día no existe ninguna práctica con tanto potencial como la descrita que pueda ayudar a la operativa diaria de los diferentes agentes y así optimizar sus funciones. Además, se deja espacio al uso de drones para otras prácticas relacionadas con la gestión ambiental que sean complementarias a la descrita. Todo ello con el objetivo de que en los próximos años se pueda mantener un ecosistema protegido y limpio de agentes externos.

10. Bibliografía

- [1] *Definición de dron*. (s. f.). Real Academia de la Lengua Española. <https://dle.rae.es/dron>
- [2] *¿Qué es un dron y para qué sirve? Características y funciones*. (2023, 15 septiembre). UMILES. <https://umilesgroup.com/que-es-un-dron-y-para-que-sirve/>
- [3] *RPAS, UAS y UAV: ¿Qué son y en qué se diferencian?* (2023, 15 septiembre). UMILES. <https://umilesgroup.com/rpas-uas-uav-diferencias/>
- [4] Abalo, M. L. (2022, 27 abril). *Origen del vocablo 'dron'*. Cuadernarium. <https://cuadernarium.wordpress.com/2015/12/14/dron-2/>
- [5] Alfredo. (2018, 13 febrero). *Drone, zángano, un poco de historia*. HD Drones. <https://huescadrones.es/hddrones/drone-zangano-poco-historia/>
- [6] Alfredo. (2022, 6 noviembre). *Historia de los drones*. HD Drones. <https://huescadrones.es/hddrones/historia-de-los-drones/>
- [7] Eldrone. (2019, 7 julio). *Historia de los drones*. El Drone. <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>
- [8] *Drones*. (s. f.). AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea). <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones>
- [9] Entrada en vigor del marcado de clase en 2024. (s. f.). En AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea). <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/noticias/en-2024-entra-en-vigor-el-marcado-de-clase-de-dronesuas-y-la-identificacion-distancia>
- [10] *¿Podré volar mi dron cuando salgan los marcados de clase? – Planorámica*. (s. f.). <https://planoramica.com/podre-volar-mi-dron-cuando-salgan-los-marcados-de-clase/>
- [11] Beltran, M. (2022, 7 diciembre). *Marcado de clase de UAS*. EU Drone Port™ EU. <https://eudroneport.com/es/blog/uas-marcado-clase/>
- [12] Consultores, A., & Consultores, A. (s. f.). *Reglamento delegado 1058/2020*. DRONEUROPA. <https://www.droneuropa.com/legislacion-drones-uas/europea/reglamento-delegado-1058-2020-drones.php>
- [13] *BOE.es - DOUE-L-2019-81002 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*. (s. f.). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81002>
- [14] *REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2019/947 DE LA COMISIÓN de 24 de mayo de 2019*. (s. f.). En *BOE.es*. <https://www.boe.es/doue/2019/152/L00045-00071.pdf>
- [15] *BOE.es - DOUE-L-2018-81360 Reglamento (UE) 2018/1139 del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2018 sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 2111/2005, (CE) n.º 1008/2008, (UE) n.º 996/2010 y (UE) n.º 376/2014 y las Directivas 2014/30/UE y 2014/53/UE del Parlamento Europeo y del Consejo y se derogan los Reglamentos (CE) n.º 552/2004 y (CE) n.º 216/2008*

- del Parlamento Europeo y del Consejo y el Reglamento (CEE) n.º 3922/91 del Consejo. (s. f.).
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-81360>
- [16] *BOE-A-2017-15721 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.* (s. f.). <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-15721>
- [17] *BOE-A-2018-15406 Real Decreto 1180/2018, de 21 de septiembre, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea.* (s. f.).
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-15406>
- [18] Conceptos normativos sobre drones. (s. f.). En AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea). AESA.
<https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/Curso.Formacion.A1.A3.Completo.v10.pdf>
- [19] *Especificaciones de la Categoría Abierta.* (s. f.). AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea).
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/operaciones-con-uas-drones/operaciones-con-uas-drones---categoria-abierta-subcategorias-a1-a2-y-a3>
- [20] *Procedimientos para registrarse como operador aéreo.* (s. f.). AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea).
<https://sede.seguridadaerea.gob.es/sede-aesa/catalogo-de-procedimientos/registro-de-operadores-de-uas>
- [21] *Especificaciones de la Categoría Específica.* (s. f.). AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea).
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/operaciones-con-uas-drones/operaciones-con-uas-drones---categoria-especifica>
- [22] AESA Seguridad Aérea. (2021, 7 octubre). *Drones, Categoría específica. Requisitos fundamentales para el escenario estándar STS-ES-01 de AESA* [Vídeo]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=Lzn9TWhMu6o>
- [23] AESA Seguridad Aérea. (2021b, noviembre 22). *Drones, categoría específica. Requisitos fundamentales para el escenario estándar STS-ES-02 de AESA* [Vídeo]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=pj5ummmRPB-M>
- [24] *Especificaciones de la Categoría Certificada.* (s. f.). AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea).
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/operaciones-con-uas-drones/operaciones-con-uas-drones---categoria-certificada>
- [25] Pablo. (2023, 10 diciembre). *Normativa europea de drones 2023 | Grupo Adaptalia.* Grupo Adaptalia Empresa de Protección de Datos. <https://grupoadaptalia.es/blog/normativa-europea-de-drones-cual-es-y-obligaciones/>
- [26] *Registro de Operador de Drones/UAS.* (s. f.). AESA.
<https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/registro-de-operador-de-drones-uas>

- [27] *Normativa Nacional de RPAS*. (s. f.). AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea).
<https://www.seguridadaaerea.gob.es/es/ambitos/drones/actividades-o-servicios-no-easa-con-uas/normativa-nacional-de-rpas>
- [28] *Clasificación y estructura del espacio aéreo en España*. (s. f.). AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea).
<https://www.seguridadaaerea.gob.es/es/ambitos/navegacion-aerea/espacio-aereo/descripcion>
- [29] Red Natura 2000. (s. f.). En *Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*.
<https://sig.mapama.gob.es/Docs/PDFServicios/RedNatura2000.pdf>
- [30] *BOE.es - DOUE-L-1992-81200 Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres*. (s. f.).
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200>
- [31] *Red Natura 2000*. (s. f.-b). Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000.html>
- [32] GUÍA SOBRE REQUISITOS Y LIMITACIONES AL VUELO DE UAS EN FUNCIÓN DEL LUGAR DE OPERACIÓN (ZONAS GEOGRÁFICAS DE UAS). (2023). En AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea) (Versión 7). https://www.seguridadaaerea.gob.es/sites/default/files/UAS-OPS-DT01_v7_Zonas_geograficas_UAS_.pdf
- [33] *Natura 2000 Viewer*. (s. f.). <https://natura2000.eea.europa.eu/>
- [34] *Acceda a nuestros visores geográficos*. (s. f.). Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/visores.html>
- [35] *Sistema de información del Banco de Datos de la Naturaleza (BDN)*. (s. f.). <https://sig.mapama.gob.es/bdn/>
- [36] Enaire, D. A.-. (s. f.). *ENAIRe Drones*. <https://drones.enaire.es/>
- [37] De Aragón, G. (2023, 13 noviembre). *INAGA: Evaluación ambiental de zonas ambientalmente sensibles*. Portal del Gobierno de Aragón. <https://www.aragon.es/-/evaluacion-ambiental-de-zonas-ambientalmente-sensibles>
- [38] De Aragón, G. (2023b, noviembre 13). *Tipología INAGA 21. Autorización de usos y actividades que puedan afectar a zonas de la Red Natura 2000 y humedales singulares*. Portal del Gobierno de Aragón.
<https://www.aragon.es/-/tipologia-inaga-21-autorizacion-de-usos-y-actividades-que-puedan-afectar-a-zonas-de-la-red-natura-2000>
- [39] *¿Qué es LiDAR? | IBM*. (s. f.). <https://www.ibm.com/es-es/topics/lidar#footnotes>
- [40] Basotec. (2023, 31 julio). *Lidar forestal: tecnología*. Basotec. <https://basotec.com/lidar-forestal-tecnologia/>
- [41] Linares, S. (2020, 25 mayo). *Técnicas de observación de la tierra (VII): Batimetría*. Alfa Geomatics.
<https://alfageomatics.com/2019/06/tecnicas-de-observacion-de-la-tierra-vii-batimetria/>
- [42] *Used TOPCON GLS-2000S, 31.800,00 €*. (s. f.). Used TOPCON GLS-2000S, 31.800,00 €. https://shop.laserscanning-europe.com/Used-TOPCON-GLS-2000S_2

- [43] GLS-2000. (2022, 21 junio). Topcon Positioning Systems, Inc. <https://mytopcon.topconpositioning.com/es/escaneo/esc%C3%A1neres-l%C3%A1ser/gls-2000>
- [44] UnivDatos Market Insights. (2022, 11 enero). *DJI Enterprise Company Profile - Key Financials & SWOT Analysis*. Market Research Reporting & Analysis Agency In India. <https://univdatos.com/es/report/dji-enterprise/>
- [45] Admin_Atyges. (2024, 22 abril). *¿Qué es un LiDAR? Principales usos y aplicaciones*. ATyges. <https://atyges.es/que-es-un-lidar-principales-usos-y-aplicaciones/>
- [46] Admin_Atyges. (2023, 15 octubre). *Zenmuse L2. Comparativa lidar vs Zenmuse L1*. ATyges. <https://atyges.es/zenmuse-l2-comparativa-lidar-vs-zenmuse-l1/>
- [47] *ZenMuse L2 - Specs - DJI*. (s. f.). DJI. <https://enterprise.dji.com/es/zenmuse-l2/specs>
- [48] *Support for Zenmuse L2 - DJI*. (s. f.). DJI. <https://www.dji.com/es/support/product/zenmuse-l2>
- [49] *Buy ZenMuse L2 Worry-Free Basic Combo - DJI Store*. (s. f.). https://store.dji.com/es/product/zenmuse-l2-and-dji-care-enterprise-basic?vid=151581&from=search-result-v2&position=0&total_result=2
- [50] Enterprise DJI. (2023, 30 mayo). *Matrice 300 vs Matrice 350 RTK*. GoDron Enterprise. <https://enterprise.godron.mx/matrice-300-vs-matrice-350-rtk/>
- [51] *Matrice 350 RTK - DJI*. (s. f.). DJI. <https://enterprise.dji.com/es/matrice-350-rtk>
- [52] *DJI Terra - Make the World Your Digital Asset - DJI*. (s. f.). DJI. <https://enterprise.dji.com/es/dji-terra>
- [53] Laperchia, V. (s. f.). *Las 5 razones principales por las que DJI Terra es el mejor software de cartografía con drones*. <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/5-razones-por-las-que-dji-terra-es-el-mejor-software-de-mapeo-de-drones>
- [54] *Cartografía de las regiones montañosas en el marco de los estudios de gestión forestal - YellowScan*. (2023, 21 junio). YellowScan. <https://www.yellowscan.com/es/knowledge/mapping-mountainous-regions-as-part-of-forestry-management-surveys/>
- [55] *Tienda | Grupo Acre España*. (2021, 20 mayo). Grupo Acre España. <https://grupoacre.es/productos/>
- [56] *La procesionaria, puede afectar a la totalidad de los bosques de pinos españoles*. (2021, 16 junio). Anticimex. <https://www.anticimex.es/noticias/la-procesionaria-puede-afectar-a-la-totalidad-de-los-bosques-de-pinos-espanoles/>
- [57] National Geographic. (2023, 15 marzo). *La bajada de la oruga procesionaria desde sus nidos hasta el suelo se acerca a medida que aumentan las temperaturas. ¿Cómo podemos evitar las amenazas de este insecto?* <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/procesonaria-lo-que-necesitas-saber>
- [58] Staff, C., & Staff, C. (2022, 9 junio). *Una Vista de Lidar de Cómo Va para los Bosques - CSERC*. CSERC -. <https://www.cserc.org/news-espanol/a-lidars-eye-view-of-how-forests-are-faring-span/>

- [59] Info Public Consulting, SL. (s. f.). *Subvención en España (cuánta según proyecto)*. Infoayudas- Ayudas y Subvenciones. <https://www.infoayudas.com/Infoayudas-Subvenciones-para-la-realizacion-de-proyectos-de-investigacion-cientifica-en-la-Red-de-Parques-Nacionales-para-el-ano-2024-98881.php>
- [60] De Luna, J. (2024, 13 junio). La operación antidroga de Fuentespalda se habría saldado con varios detenidos de Europa del Este. *La Comarca*. <https://www.lacomarca.net/operacion-antidroga-fuentespalda-habria-saldado-varios-detenidos-de-europa-este/>

Ramón Hernández del Carmen,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ramón', with a large, stylized flourish above it.

SABADELL, junio de 2024