



# Drones

Y sus aplicaciones en la actualidad

Robots móviles | Ingeniería robótica

María Poveda Miralles  
Fernando Larrosa Marín

## Índice

1	Introducción.....	3
2	Hardware.....	3
2.1	Chasis.....	3
2.2	Motores .....	4
2.3	Hélices.....	4
2.4	Placa controladora de vuelo.....	4
2.5	Sensores.....	4
2.6	Transmisor de vídeo .....	5
2.7	Cámara FPV .....	5
2.8	ECS.....	5
2.9	Gimbal.....	5
2.10	Batería.....	6
2.11	Emisora y receptora RC.....	6
2.12	Tren de aterrizaje .....	6
3	Clasificación .....	8
3.1	Según su tamaño .....	8
3.2	Según su rango .....	9
3.3	Según su tipo de ala.....	9
3.4	Según su control .....	10
3.5	Según su uso.....	10
4	Aplicaciones.....	11
4.1	Agricultura de precisión.....	11
4.2	Fotografía aérea .....	12
4.3	Topografía .....	12
4.4	Búsqueda y salvamento .....	12
4.5	Envío y entrega.....	13
4.6	Gestión de desastres naturales .....	13
4.7	Pronóstico del tiempo.....	13
4.8	Aplicación de la ley .....	14
5	Ejemplos .....	15
6	Simulación de un drone en Gazebo para fumigación de cultivos .....	17
6.1	Quaternium Hybrix 2.1 .....	17
6.2	Simulación en Gazebo ROS .....	18
7	Referencias .....	20

# 1 Introducción

En el mundo de la robótica, cada vez más extenso, se han ido desarrollando un tipo de robots voladores no tripulados (UAVs por sus siglas en inglés), conocidos mayormente como Drones. Estos son aeronaves sin tripulación que se controlan de forma remota y, además, son capaces de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, propulsado por un motor que puede ser eléctrico, a reacción o de explosión [1].

En este trabajo, se realizará un pequeño resumen de los elementos más importantes del Hardware con los que cuenta un Dron y las posibles clasificaciones de cómo agruparlos. Además, se explicarán algunas aplicaciones de todas las que existen en este ámbito y alguno de los algoritmos con los que se desarrolla la planificación de vuelo de los UAVs.

Finalmente, mostraremos un ejemplo práctico que hemos desarrollado simulando un dron en el entorno Gazebo y proponiendo una aplicación para el mismo, programada mediante ROS.

## 2 Hardware

Los drones poseen ciertos componentes y piezas que le proporcionan un correcto funcionamiento para ser controlados remotamente de forma cómoda y segura. Además, muchas de las piezas que se van a comentar en este apartado hay que inspeccionarlas con regularidad, por si fuera necesario repararlas o reemplazarlas. Aunque no son exactamente iguales en todos los tipos de UAVs, ya que pueden variar según el diseño o la aplicación, se van a explicar de manera lo más general posible [2][3].

### 2.1 Chasis

El chasis corresponde a la estructura principal de los drones, que puede indicar que sea cuadricóptero, hexacóptero u octocóptero, tipos que hacen referencia a la cantidad de rotores que poseen. Esta pieza puede estar fabricada con varios tipos de materiales:

- **Fibra de carbono**, muy resistentes, aunque más caros. Útiles cuando se requiere que el dron sea pesado.
- **Fibra de vidrio**, que son más débiles que los anteriores, pero más ligeros y algo más económicos.
- **Plástico**, la opción más barata, aunque son muy débiles, como la gran mayoría de drones de uso civil. De este material están formados los contruidos de manera casera mediante impresión 3D, una ventaja para conseguir abaratar el precio de estos vehículos.

## 2.2 Motores

Los motores son la parte fundamental del dron para lograr su movimiento, haciendo girar las hélices para volar. Su función es transformar la energía eléctrica en movimiento hacia las hélices que permitirá el vuelo de este.

Además, pueden ser de distintos tamaños, velocidades y potencias. Entre los tipos de motores, los más comunes en estos robots son los siguientes:

- **Brushless.** También llamados trifásicos, son los incorporados en drones que requieren de una mayor potencia y precisión, aunque son más caros y no cuentan con escobillas, que son los elementos que conectan la parte fija y la giratoria dentro de un motor.
- **Brushed.** Conocidos como bifásicos. Comúnmente utilizados en modelos económicos y no profesionales, ya que son motores de escobillas.

## 2.3 Hélices

Estos elementos son los encargados de elevar el dron junto con los motores. Existen tanto de dos aspas como de tres, siendo estas últimas más caras y las menos utilizadas, pero también mucho más estables para el vehículo, a cambio de un mayor consumo de energía.

Las hélices pueden llegar a ser muy peligrosas en el contacto con las personas, por su forma y las grandes velocidades de giro que llegan a alcanzar, por lo que el uso civil de los drones es necesario usar protectores de propulsión para evitar daños si ocurren accidentes. Están compuestas habitualmente por fibra de carbono, plástico o nylon, aunque dependiendo del material, es muy común que se puedan romper algunas y se tengan que reponer.

## 2.4 Placa controladora de vuelo

La placa controladora de vuelo es la parte más fundamental de estos vehículos aéreos, cuya función es realizar todos los movimientos del dron y coordinarlos, haciendo uso de todos los datos que le llegan al sistema como el GPS, además de controlar la velocidad de motores y algunos sensores, como acelerómetros y giroscopios. Algunas de ellas llevan incorporado un autopiloto que va a darle al piloto del dron la capacidad de programar vuelos sin necesidad de ser supervisados. A este elemento van conectados los sensores que se explicarán en el siguiente subapartado.

## 2.5 Sensores

Los sensores se encargan de adquirir datos que son procesados, y que aportan la información necesaria para guiar al robot. Los que se encuentran en la gran mayoría de drones y que son los más importantes se van a explicar a continuación:

- **Giroscopio.** Es el encargado de medir los ángulos de ubicación del dron mientras vuela, trabaja junto al acelerómetro de tres ejes.
- **Acelerómetro.** Sensor encargado de medir la aceleración, tanto estática como la gravedad, como dinámica, que se produce en el plano XY. Además,

determinan la posición y orientación. También es esencial para estabilizar las cámaras a bordo gracias a la sensibilidad con la que cuenta.

- **Altímetro.** Utilizado para regular automáticamente la altura del vuelo sin perder estabilidad.
- **GPS.** Su finalidad es añadir los datos de la ubicación, recibida por satélite, en la telemetría. Además de obtener información en cuanto a velocidad y altitud, que puede ser muy importante para los que cuentan con los vuelos programados, para guardar la posición de inicio y de final a la que moverse. Es una de las partes más esenciales independientemente del uso que se le vaya a dar, pues es necesaria saber la posición en la que se encuentra el vehículo para seguir guiándose.
- **Brújula.** Es un sensor de rumbo que mide la dirección del campo magnético de la Tierra y así conocer su orientación. Los drones suelen contar con una electrónica alejada de los elementos como batería y reguladores de velocidad, puesto que pueden causar interferencias, para conocer en todo momento donde se encuentra el norte.
- **Telemetría OSD.** “OSD” significa *On Screen Display*, es un dispositivo que puede proporcionar la información de manera visual, como el nivel de batería, la corriente de los motores, la cobertura, velocidad, altitud y coordenadas GPS, y el tiempo de vuelo del dron.

## 2.6 Transmisor de vídeo

También llamado transmisor FPV (*First Person View*) o vista en primera persona, envía las imágenes de la cámara a través del aire. El equipo FPV está compuesto por este transmisor, una cámara, un receptor de vídeo y una pantalla o gafas para visualizar la imagen. Es el receptor de vídeo el que se encarga de recibir la señal del vídeo que envía el transmisor FPV desde el dron.

## 2.7 Cámara FPV

La cámara, que ya la hemos mencionado en el anterior apartado, aporta al dron una experiencia más real, puesto que permite que se observe en primera persona la vista. Estas cámaras son pequeñas, ligeras y tienen un precio asequible, y gracias a ellas los drones pueden volar más alto y lejos en algunas ocasiones, de hasta 5 millas de distancia [4].

## 2.8 ECS

Los ECS, conocidos como “reguladores de velocidad” son los encargados de hacer girar los motores del dron a la velocidad necesaria mediante un circuito eléctrico que varía la velocidad y dirección del motor además de funcionar como freno si es necesario, para realizar distintos movimientos en el aire.

## 2.9 Gimbal

El Gimbal es el elemento móvil que estabiliza y une la cámara al dron, otro de los elementos esenciales. Se encarga de mantener nivelada la cámara en todas las condiciones de vuelo. Puede ser de dos o tres ejes, que influyen en la cantidad de movimientos que se pueden realizar para estabilizar las imágenes; se pueden



estabilizar en vertical y horizontal cuando son de dos ejes, o además de manera lateral cuando son de tres.

## 2.10 Batería

Las baterías son una parte fundamental para el funcionamiento de los UAVs. EN drones se utilizan de varios tipos entre las que encontramos las siguientes:

- **Níquel-Cadmio.** Son las más antiguas y no toleran bien las cargas rápidas. Además, tienen efecto memoria, es decir, que depende de los ciclos de carga que tenga y de su uso para su deterioro.
- **Níquel-Metal-hidruro.** Son algo mejor que las anteriores, pero no cambian la desventaja que tienen en cuanto al efecto memoria, y tienen incluso menor vida útil en cuanto al número de cargas.
- **Ion-Litio.** Con el doble de capacidad que las anteriores, son mucho más ligeras, sin efecto memoria y se descargan menos cuando están almacenadas. Sin embargo, son mucho más peligrosas puesto que si se dañan son inflamables.
- **Polímero de litio.** Son las más comunes hoy en día, ya que precisan una carga más lenta que las antiguas, pero se fabrican en más formas que las Ion-Litio. Tampoco tienen efecto memoria y también son inflamables, aunque menos que las anteriores.

## 2.11 Emisora y receptora RC

La emisora es el control en tierra, gracias a una serie de elementos permite controlar al dron por parte del piloto, que transmite las órdenes hasta el receptor y este a la placa controladora explicada anteriormente. Permite conectar el dron con la emisora a distancia y que el piloto transmita los movimientos y giros que desee. Además, se requieren tantos canales como motores tenga el dron.

## 2.12 Tren de aterrizaje

Finalmente, otro de los elementos físicos por los que está compuesto un dron, es el tren de aterrizaje. Es donde se apoya al tomar tierra para evitar sufrir daños al llegar al suelo. Se pueden encontrar en forma de patas, como trenes de aterrizajes fijos en algunos, o incluso retráctiles, en los más sofisticados. En esta pieza, también cuentan con luces LED que varían de color para indicar si hay algún problema en el estado del dron en pleno vuelo al piloto.

Todas estas partes comentadas en los anteriores apartados, las podemos visualizar en la *Figura 1* a continuación:

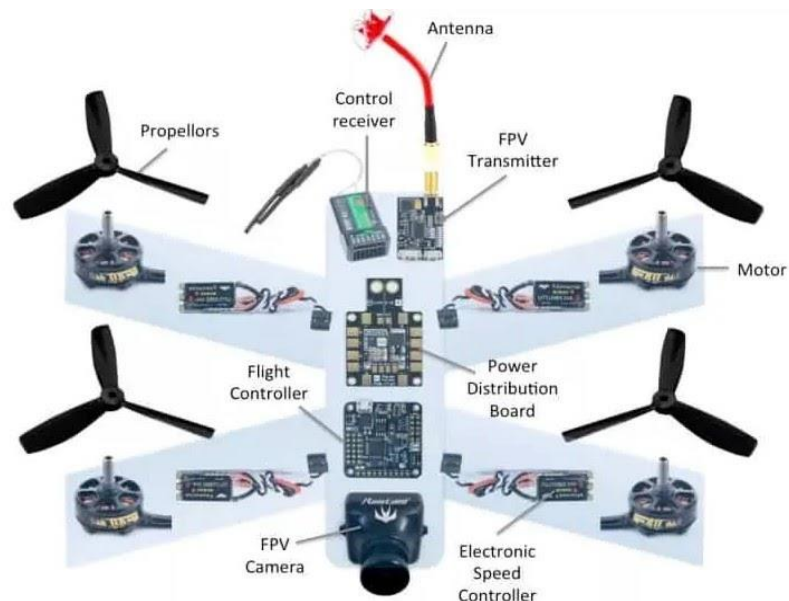


Figura 1. Hardware de un dron.

## 3 Clasificación

La clasificación de los vehículos aéreos no tripulados, UAVs, pueden hacerse separándolos en distintos grupos, puesto que no hay una única clasificación [5]. En la siguiente imagen, se puede observar un resumen de las clasificaciones que hemos realizado sobre las que se han explicado en los subapartados anteriores.

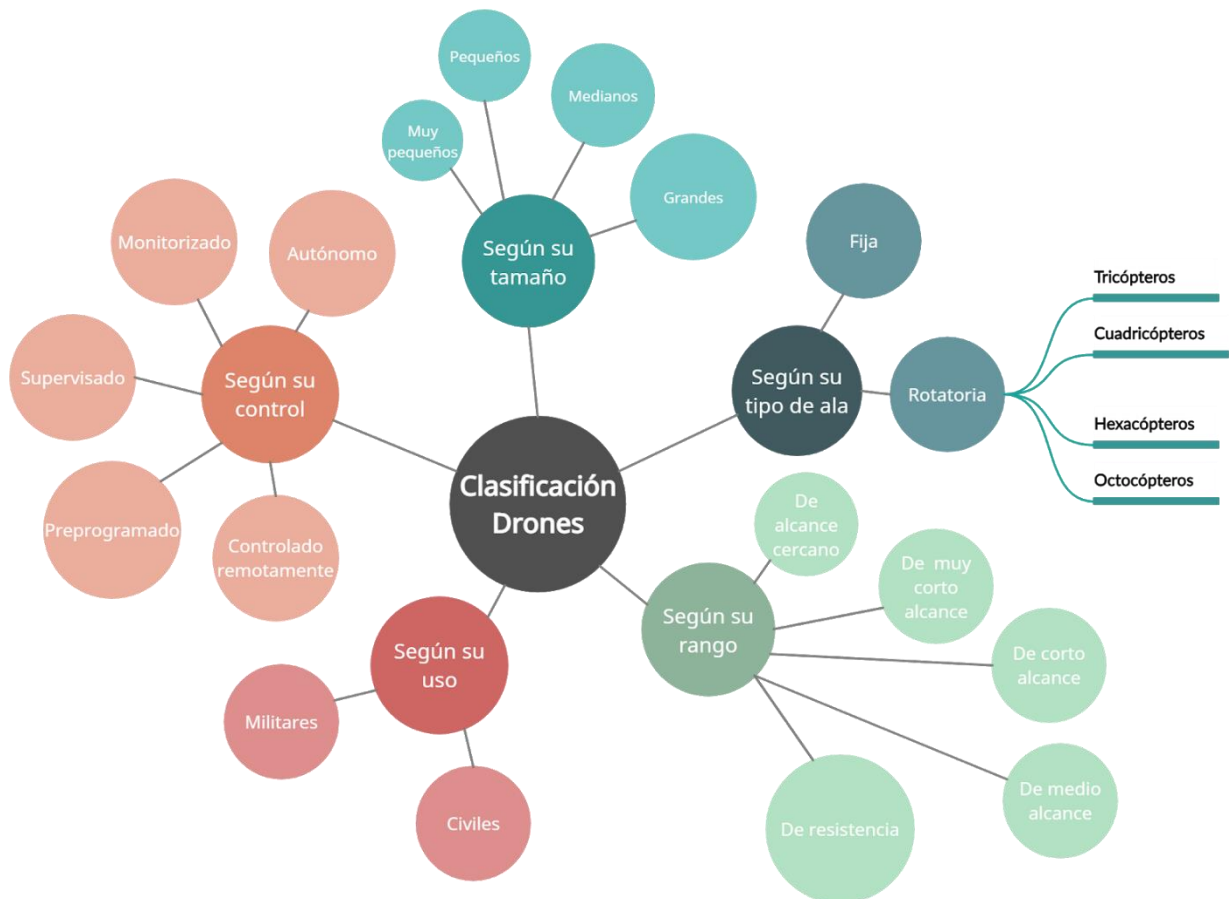


Figura 2. Clasificación de los drones según sus características.

### 3.1 Según su tamaño

Según su tamaño podemos encontrar la siguiente clasificación [6]:

**UAVs muy pequeños.** Se encuentran entre los 30-50cm de largo. Suelen utilizarse para espionaje, y pueden encontrarse con alas giratorias o batientes.

- Micro drones. Son cuadricópteros de menos de 30g, de tamaño muy similar a una abeja o libélula.
- Nano drones. Un poco mayor en peso que los anteriores.

**UAVs pequeños.** Se encajan aquí los drones que miden más de 50cm pero menos de 2m.

- Mini drones.

**UAVs medianos.** Aquí se encuentran los que son muy pesados como para ser transportados por una persona, pero son más pequeños que un avión ligero. Su envergadura está entre los 5-10m y pueden transportar cargas útiles de 100-200kg.

**UAVs grandes.** Son los vehículos utilizados principalmente para operaciones de combate por parte de los militares, como son algunas de las naves utilizadas por el ejército de EEUU.



## 3.2 Según su rango

También se pueden dividir los drones en grupos según el rango de alcance y resistencia que tienen, y son los que vamos a mostrar a continuación:

- **UAVs de muy bajo coste y alcance cercano.** Tienen un alcance de 5km, un tiempo de resistencia muy reducido de 20 a 45 minutos y un coste de 10.000\$. Son similares a los modelos de aviones.
- **UAVs de muy corto alcance.** En este grupo, encontramos a los drones cuya distancia recorrida puede ser de hasta 50 km y tienen una resistencia de entre 1 y 6 horas de vuelo. Se suelen utilizar para tareas de reconocimiento y vigilancia.
- **UAVs de corto alcance.** Estos pueden alcanzar 150 km o más y tiempos de vuelo de 8-12 horas. Su fin es el mismo que el anterior.
- **UAVs de medio alcance.** En estos, la velocidad es muy alta y su radio de trabajo es de 650 km. Son usados también para recopilar datos meteorológicos.
- **UAVs de resistencia.** Su autonomía es de 36 horas y su radio de trabajo de 300 km, siendo los que pueden operar a alturas más elevadas de 9.000 metros.

## 3.3 Según su tipo de ala

Si se clasifican según su tipo de ala, encontramos dos grupos distinguidos [7]:

- **Drones de ala fija.** Estos son muy similares a los aviones, puesto que poseen un perfil alar que les permite mantenerse en el aire. Su principal característica es la autonomía que tienen, pudiendo volar durante varias horas. Su principal aplicación es mapear grandes superficies de terreno, sobre todo en trabajos de agricultura de precisión. Sin embargo, con estos, no es posible realizar vuelos que requieran sostenerse en el aire en una posición fija.
- **Drones de ala rotatoria.** Los multirrotores son los tipos más extendidos y más utilizados. Estos generan el vuelo y se mantienen gracias a las fuerzas que generan las hélices de sus rotores. Su principal característica es la versatilidad, pudiendo hacer uso de cámaras para utilizarlos en más aplicaciones, y además su capacidad de despegar y aterrizar de forma vertical. Sin embargo, su autonomía es muy reducida de unos 20 minutos de vuelo. Dentro de este grupo se dividen según la cantidad de rotores que tengan:
  - Tricópteros (3 rotores)
  - Cuadricópteros (4 motores)
  - Hexacópteros (6 motores)
  - Octacópteros (8 motores)

### 3.4 Según su control

Según el método de control también se pueden clasificar entre los que encontramos los siguientes:

**Autónomo.** El dron no necesita un piloto humano que lo controle desde la tierra, se guía por sistemas propios y sensores integrados.

**Monitorizado.** Aquí es necesaria una persona que controle el feedback del dron. Aunque es éste el que dirige su plan de vuelo, y el técnico solo puede decidir qué dirección llevará a cabo.

**Supervisado.** El UAV puede realizar algunas tareas de forma autónoma, pero una persona pilota al dron.

**Preprogramado.** El dron sigue un plan de vuelo diseñado anteriormente y no puede cambiarlo.

**Controlado remotamente.** Aquí es pilotado mediante una consola.

### 3.5 Según su uso

Finalmente, la última clasificación que se va a realizar es por uso:

- **Drones militares.** Llamados también Vehículos no tripulados de combate aéreo. Suelen ir armados y tienen la capacidad de bombardeos.
- **Drones civiles.** Son aquellos que no tienen uso militar, entre los que se encuentran:
  - De uso comercial.
  - Para aficionados.
  - Para usos del gobierno.

## 4 Aplicaciones

En este apartado, se van a explicar algunas de las aplicaciones más comunes donde se utilizan estos vehículos aéreos no tripulados.



Figura 3. Aplicaciones con drones más comunes.

### 4.1 Agricultura de precisión

A los drones se le pueden dar muchos usos en el ámbito de la agricultura, ya que ofrecen múltiples posibilidades, como sobrevolar los campos de forma rápida y así captar información gracias a los sensores. Con un solo dron, se pueden monitorizar cientos de hectáreas de forma precisa, y evaluar las condiciones del terreno, recogiendo información sobre la hidratación, la temperatura o el ritmo de crecimiento de los cultivos y además, pueden llegar a localizar de forma prematura las enfermedades evitando que se arruinen grandes partes de las cosechas o tener que utilizar productos químicos haciendo que las plantas crezcan de manera más natural [8].

Además, pueden funcionar también controlando el riego y como espantapájaros en ocasiones, manteniendo alejadas a las aves. Gracias a las cámaras también pueden enviar fotografías o vídeos.

En Japón llevan años utilizando esta tecnología para avanzar en tareas agrícolas, gracias al modelo "Yamaha RMAX". Y es precisamente una aplicación de este ámbito la que hemos propuesto y simulado con Gazebo y ROS, y que se explicará en un apartado posterior [9].

## 4.2 Fotografía aérea

Los drones son ampliamente utilizados para tomar imágenes aéreas pues desde el aire pueden alcanzar áreas y grabar desde ángulos donde las cámaras tradicionales no llegan. De esta forma se evita usar otros medios mucho más costosos y menos flexibles como grúas, helicópteros o avionetas para capturar fotografías y vídeos de paisajes, edificios o eventos de todo tipo, como festivales, transmisiones deportivas o escenas cinematográficas.

La fotografía aérea es accesible tanto para fotógrafos aficionados como profesionales, pues en el mercado existen con una gran variedad de precios y características, desde aquellos con cámaras de baja gama (aunque capaces de tomar buenas imágenes) y con estabilización digital de imagen por menos de 100€ hasta drones enfocados a profesionales con precios mayores según sus características, pero con gimbal para estabilizar físicamente las imágenes obteniendo resultados mucho más nítidos y montando en ellos cámaras de alta gama [10].

## 4.3 Topografía

El uso de drones en trabajos de topografía y cartografía es cada vez es más común como un complemento a la topografía tradicional ayudando a reducir los costes, conseguir tiempos de respuesta más cortos y dar acceso a nuevas funcionalidades. Las técnicas fotogramétricas son las que acompañan este tipo de trabajos, ya que permiten convertir un conjunto de fotografías de algo en una representación 3D de ese algo. Es importante que entre las imágenes exista cierto solape del objeto a mapear y que cada imagen contenga gracias a un GPS la información de posición y orientación de cuando fue tomada.

Así, se pueden completar tareas como levantamientos topográficos sobre el terreno, cálculo de volúmenes, generación de mapas de alta resolución, modelos 3D del terreno, ortografías o curvas de nivel entre otras. Y como hemos comentado, los drones consiguen realizar estas tareas con inmediatez en la adquisición de datos, disminuyendo significativamente los costes, disponiendo de mayor control en la ejecución y aumentando la precisión de los resultados [11].

## 4.4 Búsqueda y salvamento

Los UAVs tienen movimientos muy flexibles, que les permiten moverse por lugares inaccesibles para el ser humano de manera segura, y desplazarse por terrenos irregulares por su gran estabilidad. Además, cuentan con sensores térmicos de visión nocturna que aporta a los operarios que lo manejan una gran definición del entorno.

Por ello, son utilizados en labores de búsqueda de personas desaparecidas de manera mucho más rápida y eficaz, sobre todo en lugares abiertos o de difícil acceso. Los hay que actúan en agua, pudiendo lanzar un chaleco salvavidas a una persona para evitar que se ahogue, y gracias al reconocimiento con el que cuenta, reconocer y mandar la posición de la víctima al equipo de salvamento.

Otra ventaja con las que cuentan los drones empleados para esta aplicación es el bajo coste comparado con el de un helicóptero tradicional que es entre 30 y 60 veces más caro, y mucho más contaminante por su combustible [12].

## 4.5 Envío y entrega

Esta puede llegar a ser la aplicación de la que más se ha escuchado hablar, gracias a empresas como Amazon, Google o Domino's, que han diseñado drones para hacer entrega de su paquetería mediante los mismos.

Esto, puede ser beneficioso, puesto que ahorrarán costes, y podrán ser más eficaces pues el tiempo es menor. Además, permiten el transporte de algunos elementos en un radio mayor de lo que lo harían los trabajadores.

No solo es beneficioso para comercios, también lo es en situaciones de emergencia para traslado de medicinas u otros elementos de urgencia, que permiten salvar vidas gracias a su rapidez y precisión.

## 4.6 Gestión de desastres naturales

Esta aplicación, está ligada a la búsqueda y salvamento, puesto que como los drones son un medio rápido, después de que sucedan desastres naturales o provocados, como incendios, los UAVs pueden navegar por los escombros en búsqueda de víctimas o simplemente recopilando información para los cuerpos de seguridad.

De esta manera, también se pueden reducir gastos con respecto a los helicópteros que se usaban antiguamente para este tipo de tareas. Además, el pequeño tamaño de los drones aporta seguridad, ya que puede proporcionar vistas gracias a sus cámaras desde cerca de los escenarios perjudicados, algo que los vehículos aéreos más grande no pueden realizar.

## 4.7 Pronóstico del tiempo

Para pronosticar el tiempo, se están desarrollando drones que puedan proporcionar datos meteorológicos de manera más precisa gracias a su posibilidad de volar por encima de los 900 metros de altura y recoger datos sobre la temperatura, la humedad, la presión e incluso la magnitud de una tormenta.

Además, se están diseñando teniendo en cuenta la posibilidad de detectar la cercanía de un tornado hasta una hora antes de que aterrice en algún punto dicho fenómeno, lo que serviría para poder evacuar alguna zona y preparar a la población, sobretodo en EEUU, que es el país que más sufre este tipo de catástrofes.

Obtener predicciones a corto plazo también proporciona beneficios puesto que las actuales temperaturas se obtienen de satélites que mandan información a partir de la cual se crean modelos numéricos que permiten a los meteorólogos predecir el tiempo de los próximos días. Y de esta forma, sería más preciso y económico que los actuales satélites.

## 4.8 Aplicación de la ley

Son muy utilizados por distintos cuerpos de seguridad para asegurarse del correcto cumplimiento de la ley, como por ejemplo controlar a los cazadores furtivos que tienen como objetivo la caza de algunos animales en peligro de extinción.

Además, ayudan en la vigilancia de grandes multitudes asegurando la seguridad pública, en la persecución de actividades criminales e incluso en las investigaciones de incendios provocados, traficantes de personas y el transporte de drogas. Son muy utilizados en muchas partes del mundo hoy en día, como en la policía de Reino Unido que fueron de los primeros en incorporarlos o en Francia, país que más invierte en el sector de los drones de vigilancia [13].

En este campo también podemos añadir las aplicaciones militares que se realizan con drones. Mayoritariamente se encargan de vigilancia, monitoreando y evaluando continuamente los movimientos de sus enemigos, o espionaje. Estratégicamente, en ocasiones se han enviado UAVs como señuelos para comenzar un ataque desde otra dirección o incluso para lanzar bombas en situaciones de guerra. Para este uso, EEUU es el país que más los ha utilizado.



## 5 Ejemplos

Como ya se ha visto en el anterior apartado, hay muchas aplicaciones para los UAVs con distintas finalidades. En este apartado se van a mencionar y explicar algunos ejemplos de drones que han puesto en marcha para realizar algunas misiones distintos países del mundo, algunos enfocados al combate y área militar, y otros con la finalidad de ayudar y mejorar distintos aspectos del país.

En primer lugar, como dispositivos de combate, Rusia ha equipado en su flota de submarinos drones nucleares. Y ha creado unos cañones anti-drones que los pueden destruir en segundos para evitar ataques aéreos que puedan causar daños al ejército ruso. Un sistema similar ha creado China con la misma funcionalidad. Sin embargo, a parte de los usos militares, también se han diseñado drones con finalidad de ayudar a muchas personas, tanto socialmente como laboralmente. En Japón lleva activa una patrulla de drones desde 2004 cuya función es evitar el mayor número de suicidios, algo muy común en este país. Con estos drones, se han llegado a salvar hasta 600 personas desde que se puso en marcha el proyecto, gracias a las labores de vigilancia que cumplen [14].

Otro país muy avanzado en el uso de drones para distintas aplicaciones medioambientales es Australia. Una de ellas, es la utilización de UAVs para la detección de tiburones en sus costas, que permite a las personas disfrutar de las playas o del surf sabiendo que cuando un dron con inteligencia artificial detecta la presencia de un tiburón muy cercano, las autoridades desalojan la costa, velando por la seguridad. Estos drones tienen un 90% de precisión, y también detectan otros animales diferenciándolos a todos [15]. Otra de las utilidades que le ha dado este país a los drones con inteligencia artificial es la ayuda a la lucha contra la extinción de animales, que se encargan de contar diferentes tipos de animales, entre ellos, aves, aumentando la base de datos sobre la cantidad de especies que habitan el país. Además, con las aves se ha podido obtener datos de manera más precisa y ligera, simplificando el trabajo de muchos investigadores.

La empresa BioCarbon, ha creado unos drones que tienen como finalidad reforestar bosques enteros haciendo uso de esta tecnología, siendo capaces de plantar hasta 100.000 árboles cada hora, un número mucho mayor que si lo hicieran únicamente los humanos. Para ello, usa un dron que se encarga de mapear todo el terreno, y hacer una simulación digital en 3D, para calcular un patrón de siembra adecuado. Finalmente, un enjambre de drones reparte las semillas de forma completamente autónoma [16]. Los drones de esta empresa los podemos observar en la siguiente imagen:



Figura 4. Drones de la empresa BioCarbon para reforestación de bosques.

La compañía EHang también ha innovado en el ámbito de los UAVs creando un dron completamente autónomo capaz de transportar pasajeros en su interior, con la finalidad de funcionar como taxis en ciudades muy concurridas y aglomeradas como Dubai. Estos son capaces de volar a 500 m de altura alcanzando hasta 100 km/h. La imagen de este prototipo lo podemos apreciar a continuación:



Figura 5. Dron volador de la compañía EHang.

Para finalizar, se ha de destacar que en España también se hacen uso de estos UAVs para controlar el tráfico y multar a los que se saltan las normas, e incluso en las vías ferroviarias para localizar obstáculos que puedan llegar a provocar accidentes. También los hemos tenido muy presentes en tareas de vigilancia este último año debido a la pandemia, donde ha servido para agilizar las labores de los cuerpos de seguridad, sobretodo en montes y zonas con muchos árboles donde los helicópteros no tenían una visión completa.

## 6 Simulación de un drone en Gazebo para fumigación de cultivos

Dentro del campo de la agricultura de precisión cada vez más drones se están utilizando para aplicación de fitosanitarios desde el aire sobre todo tipo de cultivos. Los drones son capaces de transportar cargas útiles, como puede ser un depósito cargado de una mezcla fitosanitaria y un equipo de pulverización a presión

En cuanto a la legalidad en España, en 2018 el Ministerio de Agricultura publicó una nota informativa [17] para clarificar los requisitos que deben cumplir los drones para fumigar y realizar tratamientos, entre ellos se destaca que la persona física o jurídica relacionada al manejo del drone debe de estar habilitada como operador de RPAS(aeronave pilotada por control remoto) en la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, aunque la legislación sobre drones no está muy consolidada aún en nuestro país.

Los drones para fumigación se encuentran en plena fase de desarrollo, aunque se pueden extraer una serie de características que tienen en común los que se usan en la actualidad [18]:

- **Tienen un peso máximo de 25 kg.** La ley no permite RPAS con un peso total superior a los 25 kg en el despegue.
- **Depósitos de 5 a 15 litros.** Cuanto mayor sea el peso del drone más energía cuesta hacer que vuele y la autonomía se ve muy afectada, además de los inconvenientes que habría con la norma del peso máximo por lo que sólo algunos montan depósitos de más de 10 L, siendo un volumen de 10 L de productos fitosanitarios diluidos en agua el más común.
- **Control de altura y posicionamiento GPS.** Aportan la precisión de localización tan importante para estas tareas.
- **Modo automático y manual.** Para tareas específicas se puede manejar el drone manualmente, aunque lo más común actualmente es que el control sea automático y el drone siga una ruta predefinida o la establezca él mismo para cumplir una serie de objetivos.

### 6.1 Quaternium Hybrix 2.1

Dependiendo de muchos factores, en drones eléctricos el tiempo de vuelo se ve reducido generalmente hasta cotas cercanas a los 10-15 minutos, por lo que es necesario disponer de varias baterías para intercambiarlas y seguir trabajando.

Para solucionar este problema, surgen los drones híbridos, que combinan baterías y combustible para maximizar la potencia y la eficiencia. Dentro de este campo encontramos el Hybrix 2.1, drone que actualmente cuenta con el récord mundial de duración de vuelo de más de 8 horas, y es capaz de volar operativamente durante 2 horas con su carga máxima de 10 kg cumpliendo con la legislación pues pesa menos de 25 kg al despegue.

Además, tras esas 2 horas de vuelo simplemente se tiene que rellenar el depósito de gasolina de su motor generador de dos tiempos para continuar

trabajando con este dispositivo de la marca Quaternium con sede en Valencia, España, que por lo antes comentado se convierte en un candidato perfecto para tareas de fumigación con tratamientos de ultra-bajo volumen.



Figura 6. Drone Quaternium Hybrix 2.1 fumigando.

## 6.2 Simulación en Gazebo ROS

Para comprobar que es posible simular drones en Gazebo con no mucha más dificultad a como lo hacemos ya con robots terrestres como el Turtlebot, partimos de un paquete de [github](#) que contiene la implementación de un cuadricóptero en formato urdf mediante archivos .xacro y .gazebo que definen el chasis a la par que la cámara del drone así como las cuatro hélices a las que se les incorpora el plugin LiftDrag de Gazebo que proporciona a las hélices el empuje que generan al rotar y el paquete ROS\_Control para suministrar velocidades precisas a los cuatro motores brushless.

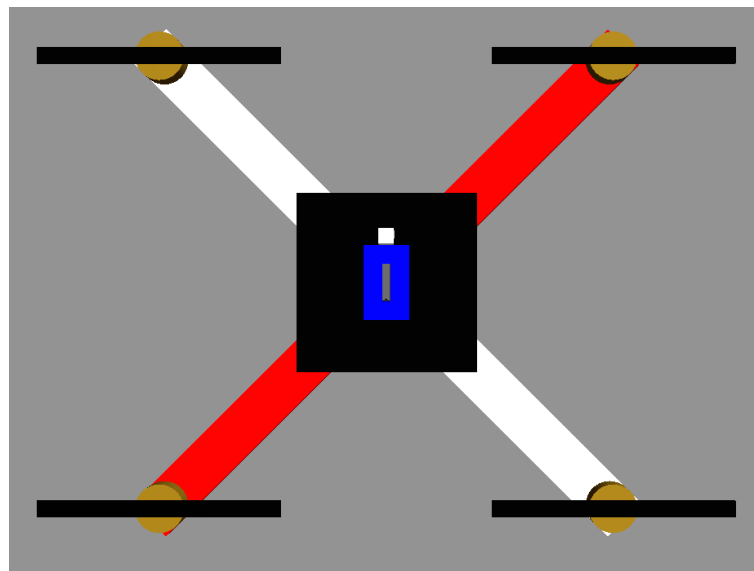


Figura 7. Vista cenital del drone en Gazebo.

Además, el paquete incluye un ejecutable que controla cada motor mediante un PID, y otro controlador PID para mantener estable cada ángulo de giro, Roll, Pitch y Yaw, sobre los tres ejes principales de la nave.

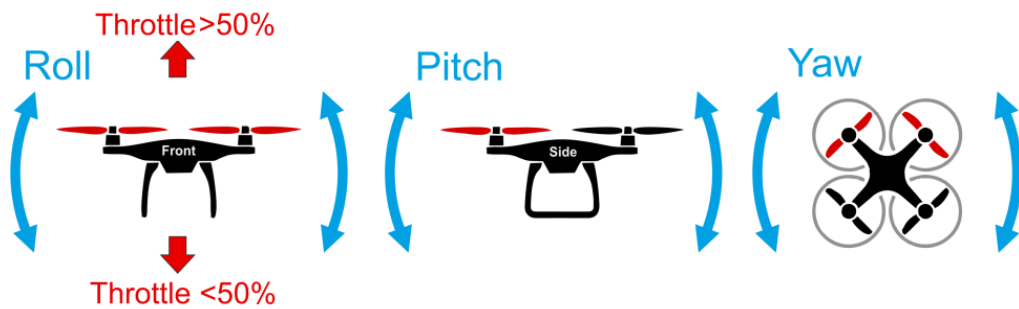


Figura 8. Gráfico que muestra los ángulos sobre los ejes principales de un drone

Pero este paquete de github sólo sirve para que el robot ascienda verticalmente mientras se estabiliza, por lo que hemos desarrollado un programa que mantiene el dron a una altitud fija y es capaz de guiar la aeronave por una serie de waypoints mediante la variación controlada de los ángulos Roll y Pitch. Cuando el ángulo Pitch es positivo, el morro del drone baja y este se mueve hacia adelante, cuando el ángulo Roll es positivo, el ala derecha del drone se inclina hacia abajo y por lo tanto el drone se desplaza hacia su derecha. De esta forma, variamos estos ángulos consiguiendo que el drone se mueva en la dirección necesaria en cada momento con un control proporcional para llegar a los distintos waypoints que hemos definido sobre un entorno creado en gazebo con tres hileras de árboles que sobrevolará el drone simulando su fumigación.

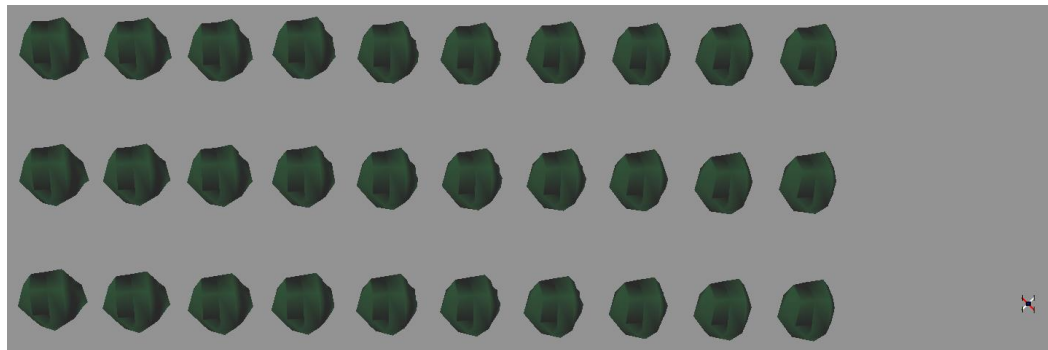


Figura 9. Vista aérea de Gazebo con la plantación de árboles simulada

## 7 Referencias

- [1] Universidad Internacional de Valencia (3 de Marzo de 2018), [«¿Qué es un dron y cómo funciona»](#)
- [2] Esenziale, [«Todas las partes de los drones»](#)
- [3] Dron profesional (23 de Marzo de 2018), [«¿Cuáles son las partes de un Dron?»](#)
- [4] Guía Drones, [«Tecnología FPV de la cámara en drones»](#)
- [5] PennState College of Earth and Mineral Sciences, [«Classification of the Unmanned Aerial Systems»](#)
- [6] Juguetrónica, [«Drones para empezar a surcar los cielos»](#)
- [7] Aerial insights, [«¿Cuántos tipos de drones existen en el mercado»](#)
- [8] Microdrones, [«La venta aérea para la agricultura»](#)
- [9] ToDrone, Pablo G. Bejerano (22 de Febrero de 2015), [«El uso de drones en la agricultura»](#)
- [10] DigitalCameraWorld, Adam Juniper, [«Los 10 mejores drones con cámara en 2021»](#)
- [11] Aerial Insights, [«Topografía con drones: qué es y cómo realizarla»](#)
- [12] EbreDrone, [«Emergencia y rescate»](#)
- [13] ToDrone, Jaime Montero (10 de Mayo de 2016) [«Ni China ni EEUU, el país que más invierte en drones es europeo»](#)
- [14] El Mundo, Javier Espinosa (10 de Enero de 2018) [«Patrulla de drones para frenar la 'epidemia' de suicidios en Japón»](#)
- [15] El País, J.N (13 de Diciembre de 2017) [«Drones contra tiburones»](#)
- [16] HardwareLibre, Juan Luis Arboledas. [«BioCarbon asegura que sus drones ya pueden plantar hasta 100.000 árboles en una hora»](#)
- [17] Ministerio de Agricultura, 2018, [«Nota informativa sobre normativas de drones para fumigar»](#)
- [18] Agroptima, Mario González, [«Drones para fumigar. ¿Son viables para nuestros cultivos»](#)