

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Enjambre de drones



Jorge Juan de Gomar Pina
Alberto García González
Iván Torá Martínez

ÍNDICE:

Introducción

Estado del arte

Definición

Enjambre de drones

Metodología básica de un enjambre de drones

Necesidades del piloto

Resumen / conclusión

Bibliografía

Introducción

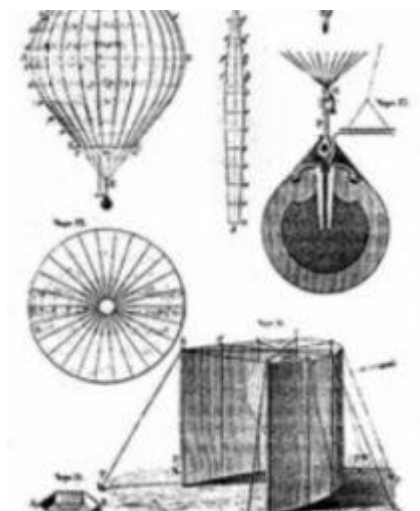
En el presente trabajo se abordará el tema de los drones enjambre para un mayor conocimiento sobre el mismo. Primero, para contextualizar y poner en situación, se hablará sobre el estado del arte de los drones, sus orígenes, su evolución y su papel en la historia. A continuación se procederá a definir y clasificar los tipos de drones que existen en la actualidad. Luego, se tratará de hablar sobre drones, pero haciendo énfasis en la rama de los drones enjambre. Dado que no hay un protocolo bien definido para los enjambres de drones, se verá un modelo propuesto para el desarrollo de éstos. Se verán algunas de sus aplicaciones, la programación, los costos que suponen, problemas que puedan tener, impacto medioambiental, el futuro que les espera... Se verá que es lo que se requiere para ser un piloto de drones y se concluirá con una reflexión general sobre el trabajo.

Estado del arte

Para entender mejor qué es un dron y su impacto hasta la fecha, es necesario remontarse tiempo atrás y hacer un análisis de sus orígenes.

El origen de los drones se remonta tiempo atrás y su creación es producto de la innovación en el arte de la guerra. La finalidad de este, sería la de crear un arma que no pusiera en peligro a ningún soldado o persona aliado.

La historia del dron se remonta a 1849 cuando el ejército austriaco envió globos no tripulados repletos de bombas para atacar Venecia.



En 1915 el ejército británico utilizó la captura de imágenes aéreas para la elaboración de más de 1500 mapas en los que cartografiaron las trincheras alemanas. En 1930, la marina de los Estados Unidos, comenzó a experimentar con las primeras aeronaves controladas por radio. En 1937 dieron a conocer el drone Curtiss N2C-2.

En 1941, en las primeras etapas de la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos fabricó el primer avión no tripulado controlado por radio, llamado RadioPlane OQ2.



En 1962, la Royal Artillery británica presentó el sistema de vigilancia SDI, utilizado para extender la observación sobre el campo de batalla y localizar objetivos.

Aunque el potencial de los drones era alto, en 1982, los vehículos no tripulados se veían como juguetes poco fiables y caros. Sin embargo, esta percepción cambió radicalmente gracias a la victoria de la Fuerza Aérea de Israel sobre la de Siria.

En 1986, un proyecto entre Estados Unidos e Israel, da lugar al RQ2 Pionner, un dron de reconocimiento con unas dimensiones medias que podía volar durante más de 5 horas ininterrumpidas.



En 1990, los UAV (Vehículo aéreo no tripulado) en miniatura van desde micro vehículos aéreos (MAV) que pueden ser manejados por un soldado de infantería, hasta vehículos aéreos no tripulados que se piden transportar y lanzar como un sistema de defensa aérea. En el 2000, nace el General Atomics MQ-1 Predator. Un avión de control remoto (RPA) construido por General Atomics, que fue utilizado principalmente por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y la CIA.



Un UAV británico de vigilancia en la principal base británica de la provincia de Helmand, Afganistán. Estos drones fueron utilizados durante la Operación Herrick XVI. Fue operado por la Artillería Real para Inteligencia, vigilancia, adquisición de objetivos y reconocimiento (ISTAR)

En 2012, aparecen los primeros drones comerciales. 3D Robotics es la empresa pionera en la creación y comercialización de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Fue fundada en el 2009 por Chris Anderson y Jordi Muñoz. En 2017 dejaron de fabricar drones y actualmente se dedican sólo al desarrollo de software.



En la actualidad, los drones están suponiendo una revolución en ciertos sectores, principalmente el transporte y reparto de mercancía gracias a su rapidez y su capacidad para llegar a zonas de difícil acceso.

El proyecto de los drones de reparto, uno de los ejemplos más conocidos, fue presentado en 2013 por Jeff Bezos, fundador y consejero delegado de Amazon.

Se trata de Amazon Prime Air, que está desarrollando un servicio de reparto mediante este tipo de drones, entregando paquetes de menos de 2,25 kg en menos de media hora, desde entonces, la compañía está desarrollando prototipos de pequeños vehículos capaces de realizar entregas. En 2018 se hizo posible esta idea con los primeros modelos en funcionamiento.

Sin embargo, estas aeronaves tienen ciertas limitaciones de carga máxima que pueden transportar o de autonomía de vuelo, entre otros. Es por eso que el concepto de enjambre cobra importancia. El vuelo en enjambre permite que los drones cubran una mayor superficie o que puedan transportar una mayor carga.

Estos enjambres ya se emplean en la actualidad en diferentes sectores. Por ejemplo, en agricultura se emplean para medir la humedad del terreno o el nivel de clorofila de los cultivos, gracias a las imágenes del terreno que pueden tomar, así como para controlar plagas en dichos cultivos, además de que podemos hacer uso de drones como hobby e incluso de manera deportiva en las carreras profesionales de drones.



Definición

¿Qué es un drone?

Un dron, en términos tecnológicos, es un avión que no está tripulado. Los drones son conocidos más formalmente como “vehículos aéreos no tripulados” (UAV) o también denominados sistemas de aviones no tripulados (UAS).

El dron es un robot volador que se puede controlar de forma remota a una distancia considerable o volar de forma autónoma a través de un software de vuelo integrado en su sistema, que trabaja en conjunto con el GPS y con los sensores a bordo.

Tipos de drones

La principal clasificación entre los tipos de drones está en función de la forma de sustentarse en el aire. De esta característica también variará el tipo de habilitación práctica que el piloto tendrá que hacer para habilitarse. Existen dos tipos en la actualidad: drones de ala fija y drones multirrotor.

- **Drones de ala fija.** Estas aeronaves necesitan de una velocidad de vuelo inicial para que se puedan sustentar en el aire. No son capaces de realizar un despegue por sí solos, sino que necesitan de una persona o mecanismo que los lance. Estéticamente son lo más parecido a un avión normal. La aerodinámica de este tipo de drones les ofrece una gran autonomía de vuelo; son capaces de estar varias horas volando, por lo que son ideales para sobrevolar y mapear grandes superficies.



- **Drones de ala rotatoria o multirrotores.** Son las aeronaves no tripuladas más conocidas y vendidas en el mercado. Estos drones consiguen la sustentación gracias a las hélices que llevan incorporadas en los extremos de cada brazo. Cada hélice está impulsada por un motor y permite una gran estabilidad durante el vuelo. A diferencia de los drones de ala fija, los multirrotores pueden permanecer quietos sobrevolando en un mismo sitio. Dentro de los drones de ala rotatoria, podemos organizarlos en subcategorías según el número de brazos o motores con los que cuentan.



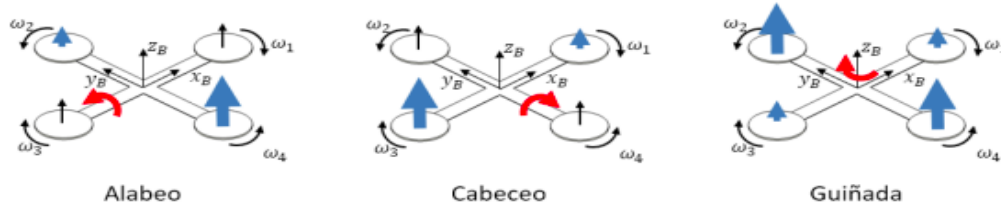
Otros tipos de dron según el medio por el que se mueven:

- **Marítimos:** Al igual que los aéreos, podemos encontrar drones capaces de moverse sobre y bajo el agua. En este último caso, los hay que van con un cable guía y los que se mueven completamente de forma autónoma. Pueden ser utilizados como método de salvamento pero sobre todo son muy útiles para llegar a ciertas profundidades y reparar tuberías o cables. Eso por no olvidarnos de las tareas de limpieza y estudio que permiten hacer en el fondo del mar.
- **Terrestres:** Con similares objetivos pero un diseño distinto para adaptarse a las necesidades del terreno, están también los drones terrestres. Equipos utilizados para explorar ciertas zonas donde no puede llegar el hombre o dónde pondría en riesgo su vida y que son capaces de llegar a sitios donde el ser humano no puede.

Tipología por número de brazos

La clasificación de los drones en función del número de brazos que poseen es la más común y fácil de reconocer. Cada brazo del drone suele tener un motor, aunque en algunos casos pueden presentar más:

- **Tricóptero**. Estos drones están compuestos por tres brazos y tres motores: los dos delanteros giran en dirección opuesta para contrarrestarse entre sí, y el trasero trabaja con un servomotor y aporta estabilidad en el vuelo.
- **Cuadricóptero**. Estos tipos de drones se componen de cuatro brazos y cuatro motores, uno por brazo. Son los más habituales y los más extendidos en el mercado.



- **Hexacópteros**. Los drones de seis brazos son los más comunes entre los drones profesionales. Tienen muy buena estabilidad para realizar tomas aéreas de vídeo y fotografía. Además, son muy seguros porque es posible aterrizarlos aunque pierdan uno de los motores durante el vuelo.
- **Octocópteros**. Cuantos más brazos y más motores tenga un drone, más estabilidad y más potencia permitirá. Aún así, debemos tener en cuenta que será más pesado y difícil de manejar entre espacios pequeños.
- **Coaxiales**. La característica principal de estos drones no es el número de brazos, sino la cantidad de motores por brazo. Los drones coaxiales tienen dos motores en cada brazo, por lo que son capaces de aguantar más peso que los normales. Son la mejor opción para trabajos profesionales.

Tipo de Control:

Se denominan drones Radio-Controlados a aquellos que necesitan ser guiados permanentemente por un piloto en tierra que los opera mediante un sistema de control remoto. Por otro lado, se conocen como drones autónomos o Robóticos a los que pueden realizar misiones autónomas que reciben por algún medio, procesan y ejecutan, navegando sin necesidad de contar con un piloto operando en tiempo real. Generalmente, los drones autónomos cuentan con un sistema de radio-control en caso de emergencia.

Enjambre de drones

En la naturaleza, el enjambre es un comportamiento de “trabajo colectivo” en la que insectos, animales o entidades trabajan de manera colectiva con un fin común. El concepto de enjambre ha sido de interés en diversos campos de la ciencia como la física, la psicología, las matemáticas, la computación. Los cuales pretenden recoger los mayores beneficios de este concepto para su interés propio. En el campo de naves aéreas, el término *enjambre* también lo podemos encontrar en el concepto de enjambre de drones.

El enjambre de drones es un grupo de vehículos no tripulados o UAV's que trabajan de forma colectiva, siendo controlados y monitorizados desde un 'único mando'.

En el caso de los drones radio-Controlados, el enjambre recibe información uno a uno acerca de su posición actual y su futura posición mediante un algoritmo computacional o bien se hace uso de la técnica 'FollowMe', que indica cómo los drones de un enjambre deben seguir a un dron maestro pilotado manualmente. Para ello se emplean algoritmos de predicción de la posición, así como controladores PID, sin embargo, para el caso de los drones autónomos, generalmente hacen uso de la técnica 'FollowTheLider', donde para un único dron se pre-establece la trayectoria y el resto simplemente deben de mantener una conducción autónoma manteniendo una cierta distancia de sus 'vecinos', la cual no debe ser ni muy alejada ni muy cercana a ellos para evitar colisiones (Flocking Behavior).

Flocking Behavior: Muchas especies de aves viajan en bandadas las cuales consiguen disminuir el esfuerzo del vuelo y aumentar así la autonomía del mismo. El algoritmo mediante el cual permanecen en una formación, establecen turnos y evitan chocar unos con otros, es bastante simple. Cada ave trata de mantener una separación determinada respecto a las aves más próximas y mantener su misma velocidad de vuelo. Con esta conducta consiguen formar bandadas que actúan de forma coordinada. Este mismo tipo de problemas aparecen en el control de tráfico aéreo o marítimo y probablemente se puedan encontrar algoritmos para su gestión siguiendo procedimientos similares.

Coordinación en Enjambre Drones:

La coordinación es el tema central en el diseño de múltiples agentes, implica el obrar conjuntamente con otro u otros para un mismo fin, esta puede verse desde dos puntos de vista: Como mecanismo o como tipo de interacción.

Los agentes son rara vez independientes y por lo general implican más de un agente que trabaja en paralelo para lograr un objetivo común. Cuando se emplean múltiples agentes para alcanzar una meta, es necesario coordinar las acciones para garantizar la estabilidad.

La coordinación en drones aumenta las posibilidades de alcanzar una solución global óptima. Las principales razones por la cual se requiere la coordinación entre drones son: Para evitar colisión, para satisfacer las restricciones globales, para utilizar los recursos distribuidos, la experiencia y la información o para evitar conflictos entre drones con la finalidad de mejorar la eficiencia general del sistema

Seguimiento del Líder y Evasión ('FollowTheLider'):

En la dinámica de seguimiento del líder, se buscará que los seguidores mantengan cierta formación y eviten colisiones entre drones, es decir que solo los drones seguidores serán encargados de evitar colisiones, mientras que el líder puede desplazarse libremente.

Concretamente, mientras el líder está moviéndose con una velocidad con componente horizontal, encontrándose en una posición (x, y, z) , el seguidor busca mantener la formación manteniendo constante el ángulo θ , la distancia horizontal 'd' y la diferencia de altura Δh .

Es decir, que si se consideran las proyecciones en el plano xy, la posición del seguidor relativa al líder debe mantener un ángulo θ con la recta tangente a la trayectoria del líder, a una distancia horizontal deseada 'd' y en cuanto a la altura, se buscará mantener una diferencia $\Delta h = z - z_{Lider}$ constante con respecto al líder siempre que sea posible.

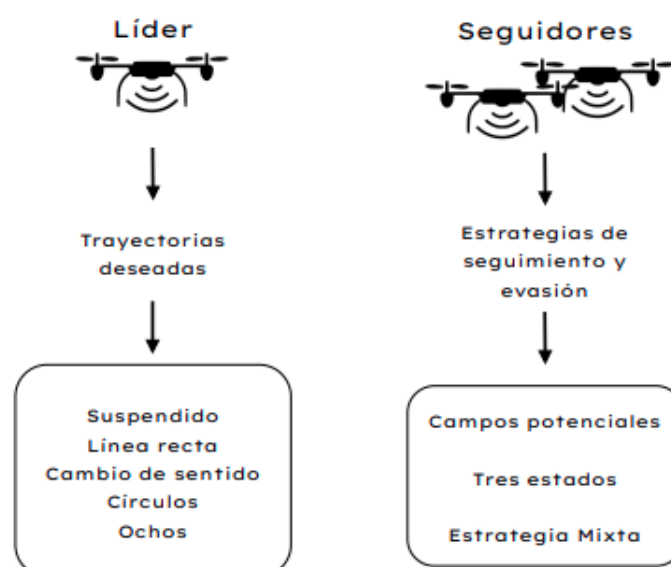
La primera estrategia que se usó para determinar la dinámica del enjambre, consistió en darle tres estados posibles a cada dron; "esquivar", "detenerse" y "seguir". Esta alternativa se implementó solamente entre un dron 'follower' y un dron líder. Dos seguidores pueden implementar esta estrategia al mismo tiempo, pero estos no se coordinarán entre sí, por lo que la estrategia no contempla las posibles colisiones entre seguidores.

La segunda estrategia está basada en la idea de campos potenciales, la cual se apoya sobre potenciales vectoriales. En la misma, se tiene que para cada dron los puntos objetivo (punto que se quiere alcanzar) generan campos atractores, y los objetos a esquivar (los otros drones) generan campos repulsores, la trayectoria a seguir se determina siguiendo el flujo dictado por la suma de estos campos. Es decir, que la suma de los campos determina la dirección instantánea neta de la trayectoria. Los campos que repelen tienen mayor magnitud a medida que disminuye la distancia con el obstáculo, de forma que si se está muy cerca de un choque, se le dé más prioridad a esquivar el obstáculo que a dirigirse a la posición objetivo.

Si se tomaran los campos repulsores puramente radiales (es decir, el campo es saliente desde el obstáculo de manera radial) existirían problemas en caso que el obstáculo se interponga entre el dron y el punto objetivo de manera que estén todos alineados (impidiendo bordear el obstáculo para alcanzar el objetivo).

Como se habían observado buenos resultados con la estrategia de Tres Estados para que un seguidor evite colisiones con el líder e intente seguirlo, se decidió unirla con la estrategia de Campos Potenciales, que arrojó buenos resultados en la evasión de colisiones entre seguidores, intentando mantener la formación deseada.

Para sacar el mejor provecho de cada estrategia, se utiliza la posición objetivo determinada por la estrategia de Tres Estados como centro para generar un campo potencial atractivo hacia ella. De esta manera, la posición atractiva contempla a su vez las posibles colisiones con el dron líder sin que el mismo deba generar un campo que lo repele.



ArduSim

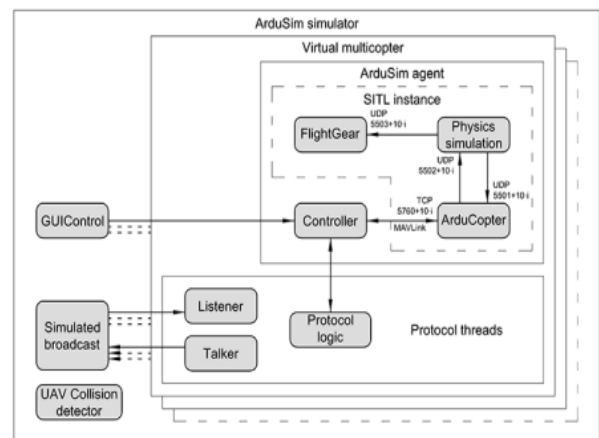
ArduSim es un novedoso simulador de vuelo en tiempo real, orientado al desarrollo de protocolos de coordinación de vuelo para drones, realizando misiones planificadas o formando un enjambre. Es capaz de simular múltiples drones simultáneamente, y la cantidad de drones que se pueden simular está restringida principalmente por el ordenador que se utiliza.

ArduSim simula una red inalámbrica Ad-hoc (red descentralizada) para comunicaciones dron a dron. Entre otras cosas, ArduSim genera la ruta seguida por cada dron para proporcionar trazas de movilidad, cuando se realiza una simulación, o incluso al ejecutar ArduSim en un dron real.

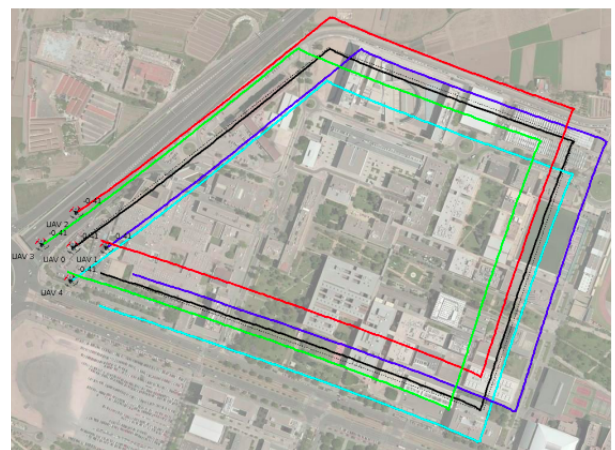
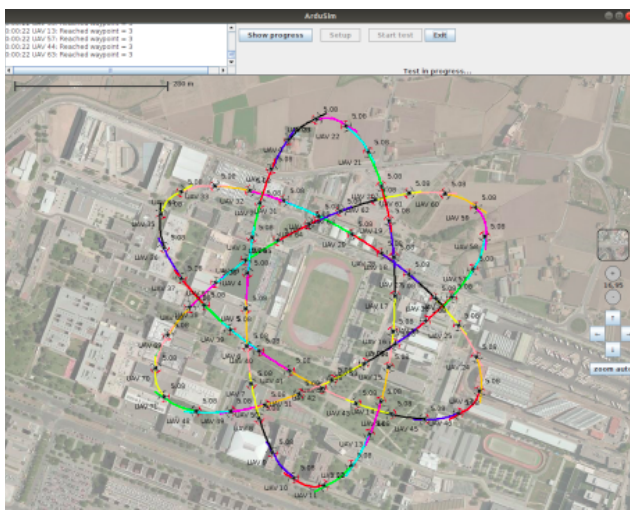
Para simular los drones, se utiliza la aplicación SITL como módulo de desarrollo básico. SITL contiene un código de control que se asemeja a un dron real, simulando sus propiedades físicas y de vuelo con gran precisión. Se ejecuta una instancia de SITL para cada dron virtual junto con su motor físico en un solo proceso.

La comunicación con los drones utiliza el protocolo MAVLink, un estándar de facto para los controladores de vuelo abiertos actuales, convirtiendo el despliegue de un nuevo protocolo en drones reales en una tarea trivial.

La comunicación entre drones emula un enlace de red WiFi Ad-hoc en la banda de frecuencia de 5 GHz, donde se difunden todos los paquetes de datos.



Este simulador funciona mediante la implementación y ejecución de protocolos, siendo el más sencillo el protocolo Mission en el cual se indican una formación y una serie de banderas o waypoints, y el conjunto de drones navega a través de ellas





Las principales características de los enjambres de drones son:

Robustos: Al contar con un gran número de aeronaves, en el caso de que uno de los drones falle, no supone un problema para la actividad a realizar, dado que otro dron puede sustituir y suplir a la aeronave dañada. Esta característica puede ser atribuida a la redundancia del sistema y la coordinación descentralizada.

Flexibles: Ya que pueden realizar un gran número de tareas y reducir tiempos.

Escalables: Según la actividad a realizar, se precisará un mayor o menor número de drones, por lo que se puede agregar una aeronave fácilmente al enjambre.

Económico: Gracias a la simplicidad de diseño y la producción en masa, el costo total de un enjambre de robots sería inferior al de un único robot complejo.

Descentralizado: Las reglas de comportamiento de cada robot le permiten al enjambre completar su tarea sin el uso de un control centralizado. Esto es especialmente útil en ambientes donde las comunicaciones pueden presentar interrupciones o retrasos de tiempo.

Arquitectura de un enjambre de robots:

Percepción: Es la forma en que cada miembro del enjambre obtiene información del ambiente que lo rodea. Por lo general esta información es obtenida por medio de sensores que miden diversas magnitudes físicas, sistemas de visión computacional e inclusive sistemas de comunicación entre los miembros del enjambre para intercambiar información. La etapa de percepción es la primera, ya que convierte el mundo real en información que puede ser usada por las demás etapas del modelo del enjambre.

Detección de miembros del enjambre: En esta etapa se utiliza la información de la etapa de percepción para determinar el conjunto de todos los robots en el rango de detección. Este conjunto de individuos detectados puede incluir información como posición y velocidad, entre otros, dependiendo de las necesidades de cada algoritmo.

Selección de vecinos: Tomando el conjunto de individuos detectados anteriormente, ahora se seleccionan sólo aquellos que influyen en el cálculo del movimiento del robot. Por ejemplo, en esta etapa se separarían los vecinos que están en la zona de repulsión o atracción, de acuerdo a las políticas establecidas por el modelo de comportamiento.

Cálculo de movimiento: Esta etapa se encarga de calcular el siguiente movimiento del robot, tomando como entradas los conjuntos de vecinos seleccionados en la etapa previa. Sólo se calcula la dirección que debe tomar el vehículo. El resultado es solo una representación, como puede ser un vector. El movimiento real del robot se ejecuta en la etapa final.

Movimiento físico: Tomando como entrada la dirección calculada previamente, se traduce para que pueda ser ejecutada dependiendo del sistema, por ejemplo en velocidades de los motores del vehículo.

Comportamientos colectivos básicos:

- **De organización espacial:**

- **Agregación:** Es el comportamiento más simple y consiste en agrupar un conjunto de robots muy cerca entre sí. Es de gran importancia al permitir la interacción entre los robots y ser la base para otros comportamientos como el movimiento en grupo.

- **Formación:** Consiste en que los robots mantengan cierta distancia entre ellos para formar un determinado patrón o figura repetible. Este comportamiento es útil en tareas en las que se puede requerir transportar objetos grandes.

- **Auto ensamblaje:** Se trata de las acciones que permiten a los robots conectarse entre sí físicamente, con el fin de obtener una estructura de mayor tamaño que permita realizar acciones más complejas.

- **De Navegación:**

- **Exploración colectiva:** El objetivo de este comportamiento es desplegar los robots en un ambiente desconocido con el fin de crear una malla o arreglo para realizar comunicaciones entre los robots y guiar a otros hacia determinado objetivo.

- **Movimiento coordinado.** Basado en el movimiento de las aves y peces, este comportamiento busca que los robots se muevan en formación, lo cual es de gran importancia para que los robots puedan navegar por un ambiente sin colisiones entre ellos.

- **Transportación colectiva.** Cuando un objeto es demasiado grande o pesado para ser movido por un solo robot, la transportación colectiva busca que un grupo de robots trabajen en conjunto para mover ese objeto. Es importante que exista coordinación entre los robots para que se muevan en la misma dirección.

Comportamientos de decisión colectiva:

Este comportamiento trata el problema de la influencia que tienen los robots entre sí al momento de tomar una decisión.

- **Consenso:** Cuando hay varias alternativas, el enjambre debe llegar a un consenso sobre la mejor opción para maximizar su desempeño. Esta es una tarea muy compleja ya que la solución óptima puede cambiar o no ser perceptible por las capacidades del robot.
- **Distribución de tareas:** En este comportamiento los robots se distribuyen para realizar diferentes tareas, con el objetivo de maximizar el desempeño del sistema.

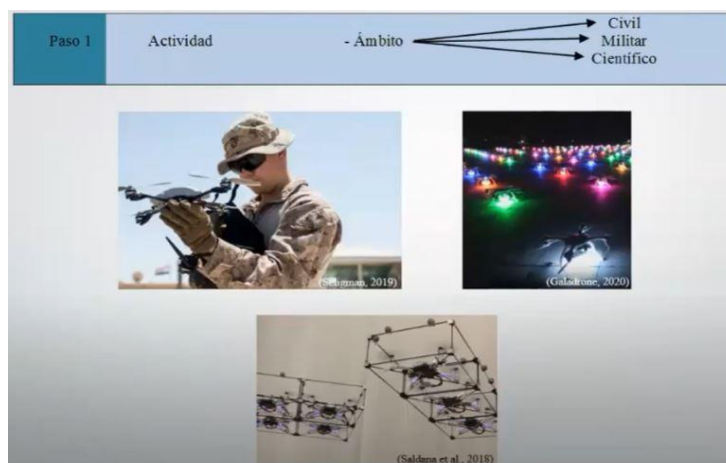
Metodología básica de un enjambre de drones

Hasta el momento de hoy, no existe una metodología estándar para el uso y manejo de los enjambre de drones, es por ello que en el siguiente apartado se va a exponer una propuesta de metodología a seguir para llevar a cabo una tarea con enjambre de drones.

Dicha propuesta está dividida en *cinco pasos* en los cuales hay diferentes aspectos que se deben considerar.

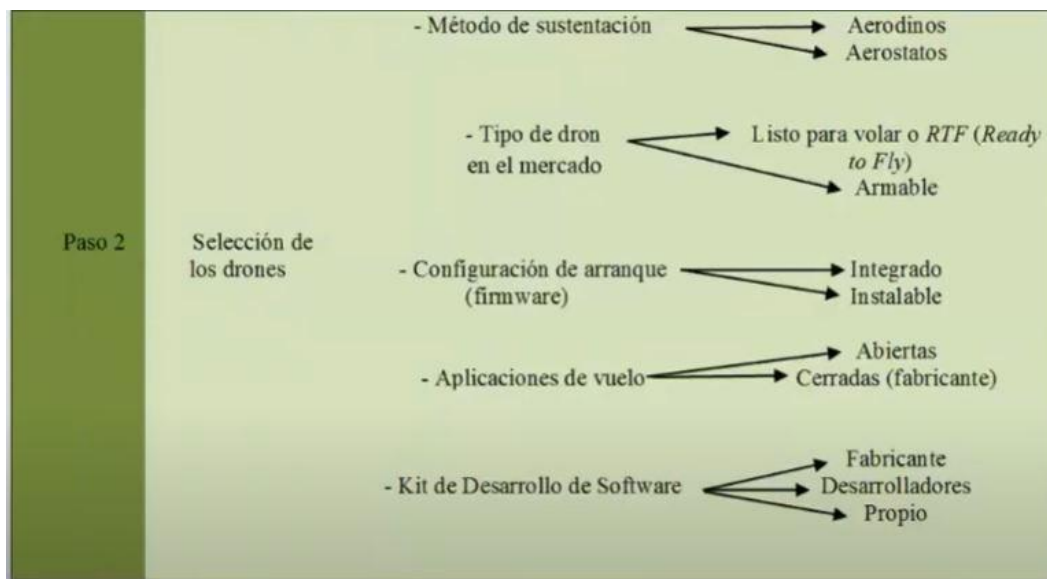
PASO 1: Actividad

Para elaborar y llevar a cabo una operación con enjambre de drones, el primer aspecto a tener en cuenta es la motivación. Debe existir un problema a resolver y se debe determinar en qué ámbito se va a desarrollar dicho ejercicio. Podemos diferenciar tres tipos de ambientes donde actuar: *Civil, militar o científico*.

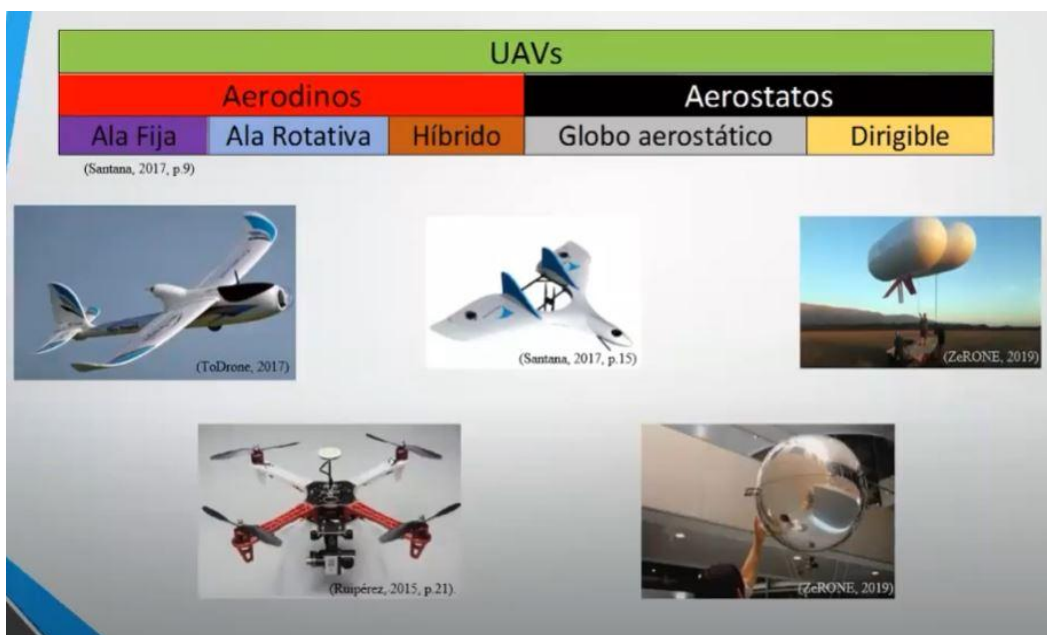


PASO 2: Selección de drones

Para la selección de los drones, debemos de tener en cuenta una serie de aspectos a seleccionar que mejor se ajusten a nuestro objetivo. Para ello, se debe tener en cuenta el método de sustentación, el tipo de dron en el mercado que mejor nos convenga, la configuración de arranque, las aplicaciones de vuelo, y su kit de desarrollo de software (SDK).



Ejemplo de drones según método de sustentación



Ejemplo de drones en el mercado

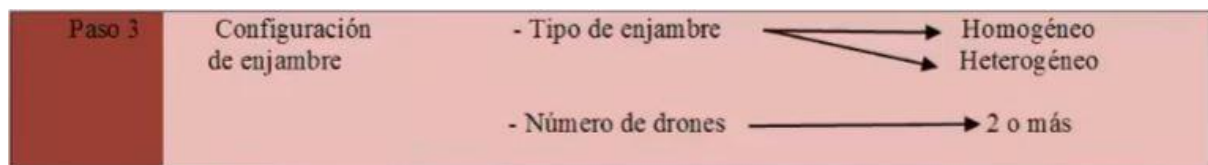


Ejemplo de aplicaciones / software de vuelo



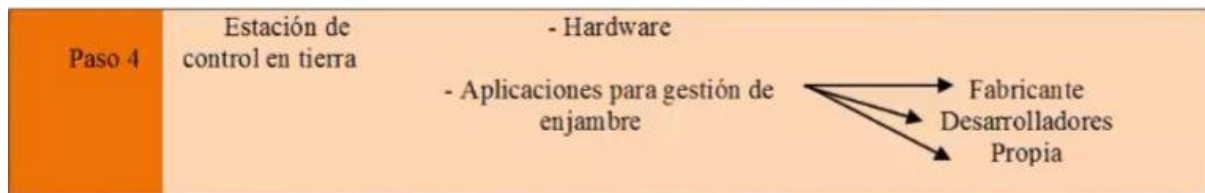
PASO 3: Configuración de enjambre

En este punto se debe determinar el tipo de enjambre que se va a utilizar (Homogéneo o Heterogéneo) y el número de drones. Esto va a estar relacionado con el paso 1, qué es la actividad y el presupuesto que se tenga para estas aeronaves. Hay que tener en cuenta que un mayor número de aeronaves no supone un mayor rendimiento, es más, puede retrasar el ejercicio y hacerlo todo más costoso.



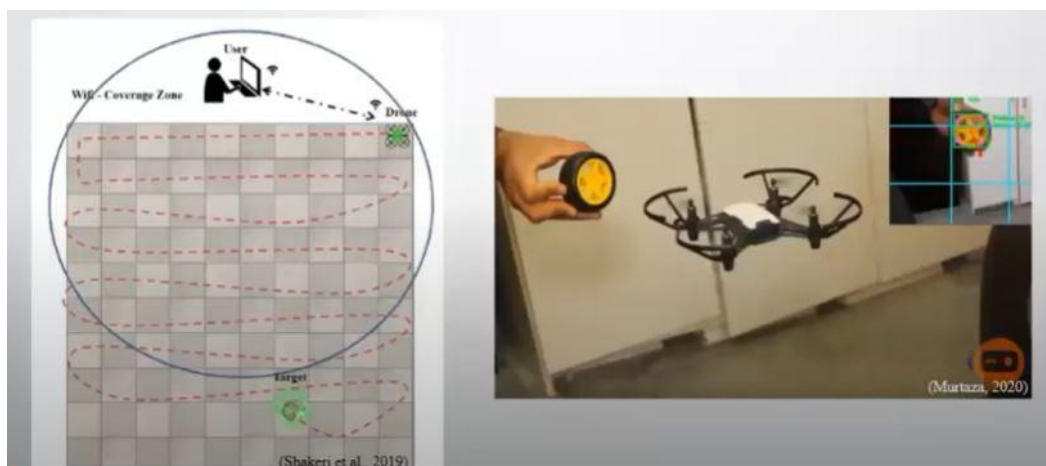
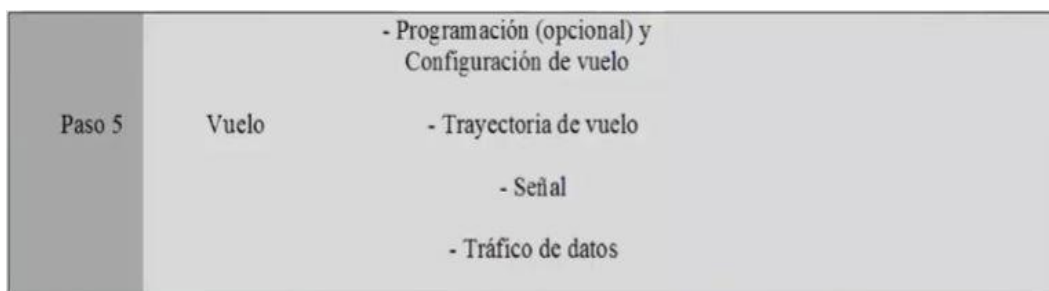
PASO 4: Estación de control

Para la estación de control en tierra, se debe tener en cuenta tanto el software como el hardware de los drones. Ya que estos van a ser la interfaz hombre-máquina para la configuración, control, monitorización del enjambre.

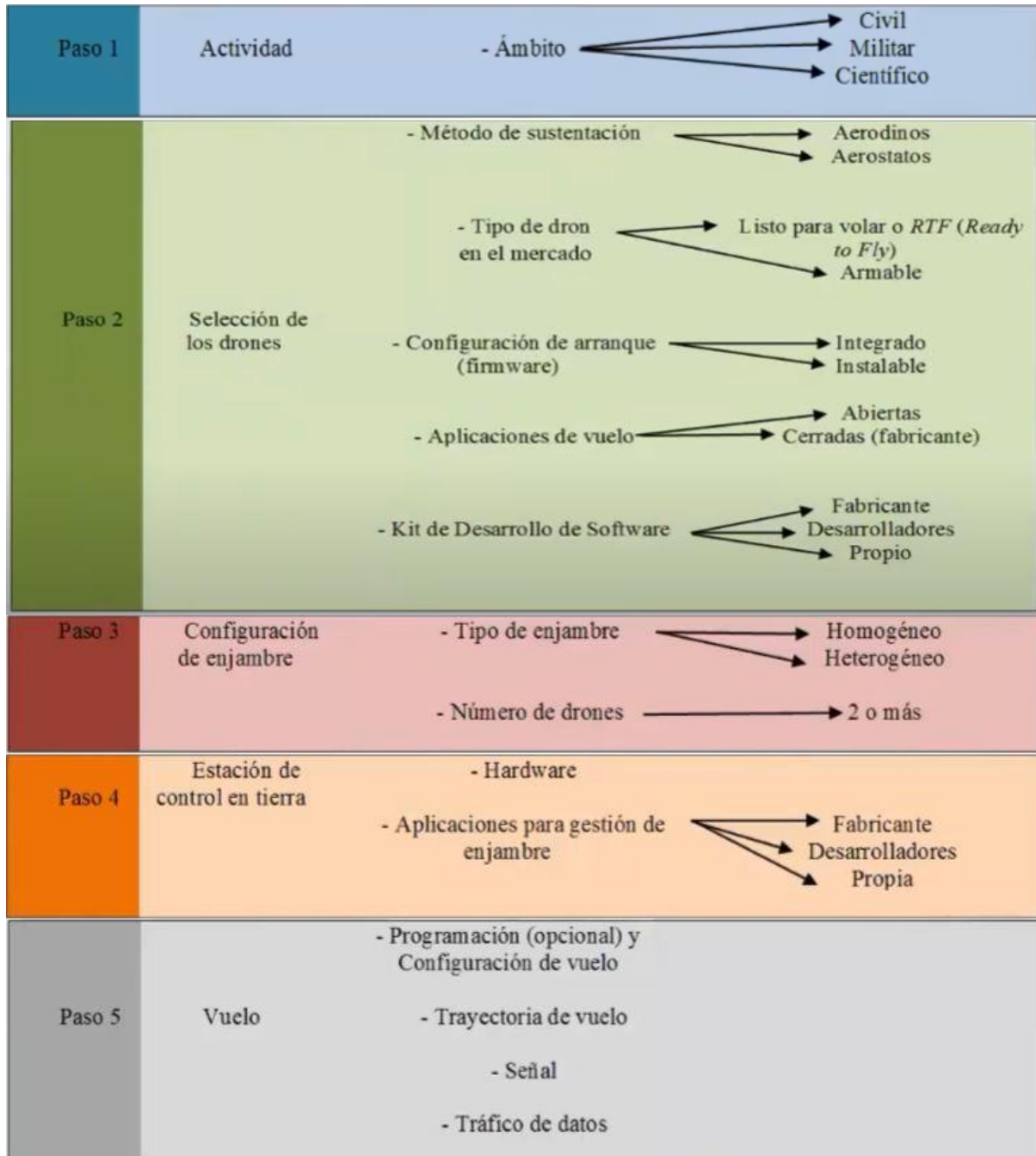


PASO 5: Vuelo

El último paso se centra en poner en vuelo el enjambre. Para ello se debe programar y configurar el vuelo a seguir. Cuál va a ser la trayectoria de vuelo, (puede ser mediante waypoints, reconocimiento de objetos, personas...). Además se debe tener en cuenta ciertos aspectos sobre el alcance que va a tener el enjambre, como son la señal y el tráfico de datos.



Resumen pasos a seguir según metodología



Necesidades del piloto

Formación para ser Piloto profesional de drones

La Agencia Estatal de Seguridad Aérea, AESA, exige una formación para todas aquellas personas que vayan a realizar trabajos o vuelos con drones con fines comerciales o profesionales. Entre los trabajos más comunes realizados con aeronaves no tripuladas se encuentran: inspecciones técnicas desde el aire, controles de seguridad y emergencias, análisis topográficos, fotografía y vídeo con drones, agricultura de precisión, tratamientos fitosanitarios aéreos... El mundo de los drones y los vuelos controlados por control remoto no para de crecer. Cada vez son más las actividades que cambian los medios tradicionales por el uso de drones.

Por este motivo, se ha tenido que crear una nueva normativa que controle el vuelo de drones sobre espacios públicos y exigir una capacitación a aquellas personas que los piloten.

¿Qué se necesita para ser Piloto profesional de drones?

- **Certificado Oficial de Piloto de drone.** Esta titulación se obtiene al superar el Curso oficial de Piloto de drones avanzado. Gasto aprox: 375€.
- **Habilitación práctica de drones de hasta 5 kg.** Para poder pilotar drones de hasta 5 kg, es necesario obtener un certificado de habilitación que asegure que ha realizado prácticas de vuelo. Necesitarás realizar las prácticas con un drone del mismo modelo o de iguales características a tu drone. Gasto aprox: 375€.
- **Habilitación práctica de drones de entre 5 kg y 15 kg.** Gasto aprox: 600 €.
- **Habilitación práctica de drones entre 15 kg y 25 kg.** Certificado homologado para volar drones de hasta 25 kg especializados para tratamientos aéreos. Gasto aprox: 990 €.

Resumen / conclusión

Los drones se originaron en el ejército y se comenzaron a utilizar en misiones consideradas altamente peligrosas para el ser humano. La historia del avión no tripulado se remonta a 1849, cuando Austria envió globos no tripulados repletos de bombas para atacar Venecia. Aunque estos artilugios nacieron de mano del ejército, el uso de estos dispositivos en aplicaciones comerciales, científicas, agrícolas, recreativas, y de todo tipo, se está expandiendo a una velocidad vertiginosa.

De hecho, según las cifras más recientes de un estudio en 2015, afirma que ahora hay más aviones no tripulados civiles que drones del ejército. En la actualidad, se están empleando en todo tipo de actividades cotidianas y la compra de estos dispositivos voladores se ha disparado, ya que los drones con cámara permiten hacer planos allá donde estemos de forma simple. Debido a este notable incremento, se ha tenido que implantar una legislación de drones en cada país.

El uso de los drones ya es una realidad presente en nuestro tiempo que cada vez toma más formas en su gran amplio abanico de posibilidades, como es el caso de los enjambres de drones. Como hemos analizado, este campo está todavía en proceso de desarrollo y tiene un potencial muy grande. Como no es de extrañar, el apoyo militar que recibe, incrementará su desarrollo por parte de los países como forma de ataque y defensa dentro de su arsenal armamentístico. Esto, sumado a grandes iniciativas comerciales, como la propuesta de Amazon en uso de drones, hará que en poco tiempo se haga normal ver este tipo de vehículos navegando por nuestros cielos.

Bibliografía

- [1] <https://www.compralobueno.com/drones/que-son-los-drones/>
- [2] <https://iberfdrone.es/tipos-drones-y-caracteristicas/>
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=gIU5vmg43gQ>
- [4] <https://www.heraldo.es/noticias/nacional/2021/10/24/enjambres-drones-alternativa-sostenible-fuegos-artificiales-congreso-drones-logrono-espana-1528757.html?autoref=true>
- [5] http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16086/1/ROSAS_MENC_HOLA_JOS_DRO.pdf
- [6] <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/28301>
- [7] <https://riunet.upv.es/handle/10251/173211>
- [8] <https://riunet.upv.es/handle/10251/173533>
- [9] **Cómo hacer tu propio dron de bajo coste:**
https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12091/39674_7.pdf?sequence=1
- [10] https://oa.upm.es/56835/1/TFG_ANGEL_RECAS_PINILLA.pdf
- [11] <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/107776>
- [12] <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2018/10/rgm102018cap07.pdf>
- [13] <http://eprints.uanl.mx/22021/1/1080315100.pdf>
- [14] <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/13560>
- [15] <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/23761>
- [16] <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2773>

