



## GRADO EN INGENIERÍA DE ROBÓTICA SOFTWARE

Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada

Curso académico 2023-2024

### Trabajo Fin de Grado

Navegación Autónoma de drones basado en  
inteligencia artificial y aprendizaje por refuerzo

**Autor:** Bárbara Villalba Herreros

**Tutor:** Dr. Roberto Calvo Palomino



Este trabajo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional CC BY-NC-SA International License (Creative Commons AttributionNonCommercial-ShareAlike 4.0). Usted es libre de *(a) compartir*: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato; y *(b) adaptar*: remezclar, transformar y crear a partir del material. El licenciador no puede revocar estas libertades mientras cumpla con los términos de la licencia:

- *Atribución.* Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatante.
- *No comercial.* Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.
- *Compartir igual.* Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

# Agradecimientos

---

En primer lugar quería agradecer a todas las personas que han sido parte de este camino y trayectoria, agradezco a mis tres familias por apoyarme y no dejarme rendirme en ningún momento. Agradeciendo así a la madre de mi pareja por estar escuchandome tendida y aconsejando me.

Mención especial a mi pareja Renato Luigi por estar a pie de cañón en todo momento ayudando, apoyando, y escuchando, no me olvidaré de las charlas que teníamos en el coche mientras cenabamos. También quería agradecer a mi padre por sus charlas telefonicas de vuelta a casa, en donde me intentaba ayudar con sus ideas. Además de mi madre, mi hermana y abuelos por estar siempre a mi lado.

En segundo lugar, quiero mencionar a mi cuñado Angelo Vincenzo por ser compañero de carrera y poder haber compartido una variedad de recuerdos que nunca olvidaré.

Además de agradecer a mi tutor Roberto por la paciencia que ha tenido durante el desarrollo de este trabajo y brindarme ánimos en el camino.

Finalmente, dar las gracias a las personas que no pueden estar en estos momentos.

*A alguien especial,  
que esta en el cielo, Vincenzo Barra.*

*Bárbara Villalba*

# Resumen

---

La revolución tecnológica ha tenido un impacto sin precedentes en el mundo de la robótica, desde los robots industriales en las fábricas hasta tener robots capaces de entablar conversaciones con personas. Dentro del mundo de la robótica, la navegación autónoma emerge una de las áreas más emocionantes como la navegación autónoma de drones con sistemas de inteligencia artificial, permitiendo que los vehículos aéreos no tripulados no solo ejecuten tareas preprogramadas, sino que también sean capaces de aprender la adaptación de entornos dinámicos y cambiantes. Convirtiendo a estos pequeños vehículos en un gran desafío en el mundo de la robótica aérea. Los drones pueden ser programados para realizar tareas específicas por ejemplo mapear terrenos en aplicaciones cartográficas o entregar suministros médicos en zonas de difícil acceso.

A parte de la navegación autónoma, la inteligencia artificial permite a los drones por ejemplo ser entrenados para reconocer patrones y objetos en su entorno lo que les puede permitir realizar tareas como la identificación de personas en situaciones de búsqueda y rescate o la detección de anomalías en infraestructuras con algoritmos de aprendizaje automático. Sin embargo, a pesar de estos avances, la navegación autónoma e inteligencia artificial en drones sigue siendo un área de investigación debido a la necesidad de algoritmos de aprendizaje más robustos que en un futuro próximo se podrá llegar a cumplir con éxito.

Con este Trabajo de Fin de Grado demostraremos que la navegación autónoma de drones es capaz de tener un comportamiento autómato en entornos realistas y complejos de carreteras tomando decisiones en tiempo real para alcanzar sus objetivos de manera eficiente y segura. Para poder lograr esto, se explorarán y se implementarán técnicas de algoritmos de aprendizaje autómato y de inteligencia artificial con un enfoque en particular en el aprendizaje por refuerzo utilizando entornos de simulación de Airsim.

# Acrónimos

---

**UAV** *Unmanned Air Vehicle*

**UAS** *Unmanned Air System*

**IA** *Inteligencia Artificial*

**Airsim** *Aerial Informatics and Robotics Simulation*

**TFG** *Trabajo de fin de Grado*

# Índice general

---

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. La robótica . . . . .	1
1.1.1. Enfoques en la robótica . . . . .	2
1.2. Robótica aérea . . . . .	7
1.3. La inteligencia artificial en la navegación autónoma de drones . . . . .	14
1.4. Navegación autónoma en Airsim basada en inteligencia artificial y aprendizaje por refuerzo . . . . .	16
<b>A. Bibliografía</b>	<b>17</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>17</b>

# Índice de figuras

---

1.1.	Definición de robot.	2
1.2.	Sojourner Rover .	4
1.3.	Nereus .	5
1.4.	Spot de Boston Dynamics .	6
1.5.	Historia de los drones .	8
1.6.	El dron Ingenuity .	9
1.7.	Drones en inspección electrica en Galicia .	10
1.8.	El primer prototipo de dron de Prime Air .	11
1.9.	El dron MK27-2 .	12
1.10.	El dron MK30 .	12
1.11.	Ilustración de como serán los drones en un futuro creado con Copilot .	13
1.12.	Esquema de Reinforcement Learning .	15

# Listado de códigos

---

# Listado de ecuaciones

---

# Índice de cuadros

---

---

# **Capítulo 1**

## **Introducción**

---

En la última década, la evolución tecnológica ha provocado una transformación radical en nuestra forma de vivir, trabajar y relacionarnos desempeñando la tecnología un papel fundamental en el avance de la sociedad e impulsando una serie de innovaciones que se extienden desde la invención de la rueda hasta la era digital contemporánea. Por ejemplo, los ordenadores empezaron siendo grandes máquinas que ocupaban habitaciones enteras que requerían una gran cantidad de energía y mantenimiento. Hoy en día, los ordenadores son dispositivos ligeros y eficientes que pueden realizar múltiples cálculos por segundos que se utilizan en diferentes ramas de las ingenierías como la informática, telecomunicaciones y, por supuesto, la robótica.

La robótica, en particular, se destaca como una de las ramas de la tecnología que más impacto significativo ha tenido. Estos avances han facilitado numerosas tareas mejorando la eficiencia y la capacidad de enfrentar desafíos complejos dando pie a nuevas posibilidades en nuestro entorno. Dentro de las ramas de la robótica, la robótica aérea con el uso de los drones han demostrado ser desafiantes y valiosos en la inspección de áreas de difícil acceso, el mapeo de terrenos, la realización de entregas, la navegación autonómica o la captura de imágenes desde alturas elevadas. Su versatilidad y su capacidad para poder operar en entornos peligrosos o inaccesibles para los seres humanos los convierten en herramientas fundamentales en campos como la agricultura, la seguridad, la investigación medioambiental y la logística.

### **1.1. La robótica**

Como mencionamos anteriormente, entre las diversas ramas de la tecnología, la robótica se destaca como una de las más prometedoras. Apareciendo como disciplina durante la década de los años 60, la robótica ha tenido un cambio asombroso pasando de ser simples máquinas programables a sistemas inteligentes capaces de aprender y adaptarse a su entorno teniendo avances en diversas disciplinas de la ingeniería, como la

informática, la inteligencia artificial, la ingeniería de control, la mecánica y otras más. Los robots de hoy en día no solo tienen la capacidad de realizar tareas programadas y repetitivas, sino que también tienen la capacidad de interactuar con su entorno, tomar decisiones basadas en la información sensorial y aprender de sus experiencias. Este avance en la robótica nos ha permitido tener una definición más precisa de lo que es la robótica moderna, definiendo la robótica como ciencia interdisciplinaria encargada de la creación, funcionamiento, estructuración, fabricación y uso de los robots. Esta definición mencionada incluye no solo los componentes mecánicos y eléctricos, sino que también los algoritmos que los controlan, los sensores que les permiten recopilar datos de su entorno y los sistemas que procesan esta información y toman decisiones.

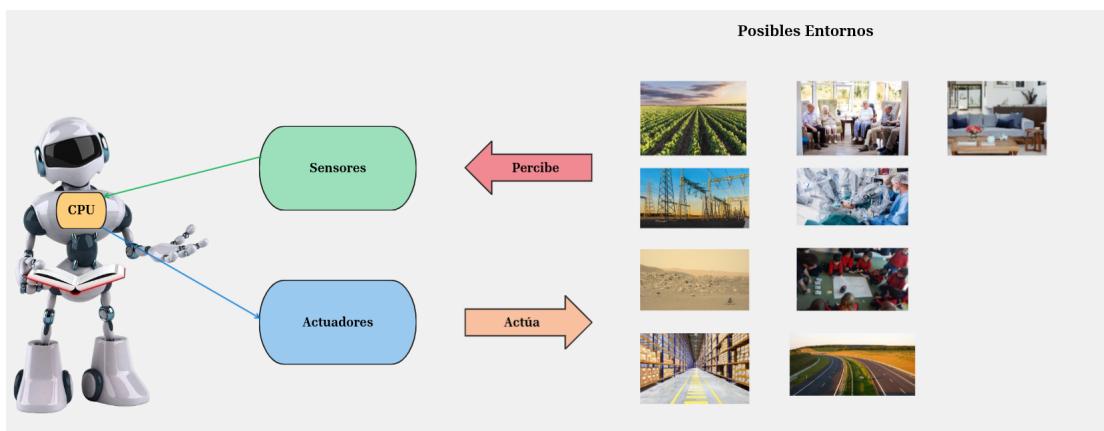


Figura 1.1: Definición de robot.

Lo que hace que un robot tenga la capacidad de aprender y adaptarse a un entorno abierto de nuevas oportunidades para la robótica, como la medicina, la exploración lunar, la asistencia personal, la automatización industrial y más. Además de abrir nuevas aplicaciones y tareas como puede ser la navegación autónoma, la detención de objetos o la manipulación de objetos con sensores táctiles y de fuerza, dichas tareas pueden realizar pueden ser peligrosas, delicadas, sucias o monótonas (conocidas como las 4D's: dull,dirty, dangerous and dear) <sup>1</sup>

### 1.1.1. Enfoques en la robótica

A lo largo de la evolución de la robótica, han surgido tres enfoques fundamentales para el diseño y la operación de robots, cada uno de estos enfoques presentan diferentes

<sup>1</sup>:<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/10/16/the-4-ds-of-robotization-dull-dirty-dangerous-and-dear/?sh=40bb6cec3e0d>

formas de interactuar y operar robots, con sus propias características y aplicaciones únicas.

## Teleoperación

La teleoperación surge de la necesidad de manipular objetos o realizar tareas en entornos complejos, peligrosos y distantes para el ser humano. Desde la historia, el ser humano ha utilizado una variedad de herramientas para ampliar su capacidad de manipulación como palos utilizados para caer la fruta madura de un arbol. Con el tiempo, se desarrollaron dispositivos más complejos, como pinzas que permitían manipular piezas o alcanzar objetos de difícil acceso facilitando el trabajo para el operario. En la era moderna, la teleoperación ha estado evolucionando hasta el punto de incluir sistemas robóticos robustos que pueden ser controlados a distancia, permitiendo al operario poder realizar tareas en entornos peligrosos e innaccesibles para el ser humano como puede ser la exploración espacial, la medicina o la inspección nuclear.

La intervención del operador humano en los sistemas de teleoperación de robots es imprescindible, debe ser capaz de poder intepretar los datos sensoriales que proporciona el robot, así como de tomar decisiones robustas y precisas dependiendo de la situación. Esto conlleva tener una capacidad de realizar múltiple tareas simultáneamente adaptándose a situaciones imprevistas.

Hoy en día, la teleoperación de robots tiene variedad de aplicaciones. Una de ellas puede ser la exploración espacial, en donde se utiliza la teleoperación como técnica de manipulación remota como el Sojourner Rover. El Sojourner Rover<sup>2</sup> es un pequeño robot móvil compuesto por 6 ruedas creado por los científicos de la NASA para estudiar la superficie de Marte con la capacidad de enviar imágenes en directo y realizar análisis del terreno del planeta. Gracias a sus ruedas podía moverse por terrenos rocosos y de difícil acceso ya que estaban equipadas materiales como de aluminio y acero inoxidable.

---

<sup>2</sup><https://www.astronomy.com/space-exploration/sojourner-nasas-first-mars-rover/>



Figura 1.2: Sojourner Rover

Con esta misión espacial se pudo probar como era el entorno marciano con técnicas realizadas en los laboratorios de la NASA demostrando que se podía realizar una teleoperación en el espacio abriendo el camino a futuros rovers como el Spirit, Opportunity y más <sup>3</sup>.

### Robótica Semiautónoma

Los robots pueden realizar tareas de forma independiente siguiendo instrucciones preprogramadas o tomando decisiones en tiempo real, este enfoque se le conoce como autonomía o semi-autonomía, siendo la diferencia que en el enfoque semiautónomo todavía existe parte de teleoperación en el robot. Este enfoque permite que los robots puedan ser autónomos para poder percibir su entorno y en la toma de decisiones pero con el handicap de que un operario humano puede controlarlo para poder ajustar parámetros, cambiar objetivos o intervenir en caso de emergencia.

Aunque los robots semiautónomos puedan tomar decisiones en tiempo real, a menudo siguen instrucciones preprogramadas o reciben órdenes de un operario humano, esta toma de decisiones puede incluir elegir la ruta más eficiente para navegar por un entorno peligroso como puede ser el robot submarino llamado Nereus. El Nereus<sup>4</sup> es un vehículo submarino semiautónomo que puede ser manejado por control remoto que entró en servicio en el año 2009, su propósito fue explorar la Fosa de las Marianas,

<sup>3</sup><https://spaceplace.nasa.gov/mars-spirit-opportunity/sp/>

<sup>4</sup>[https://www.bbc.com/mundo/ciencia\\_tecnologia/2009/06/090603\\_1541\\_nereus\\_robot\\_mar\\_mr](https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2009/06/090603_1541_nereus_robot_mar_mr)

especificamente el Abismo Challenger (es el punto más profundo conocido en los océanos). Fue manejado mediante control remoto por pilotos que se encontraban en un barco en la superficie aunque el Nereus también podía cambiar al modo de vehículo autónomo pudiendo navegar libremente adaptándose a las condiciones del entorno sin intervención humana directa.

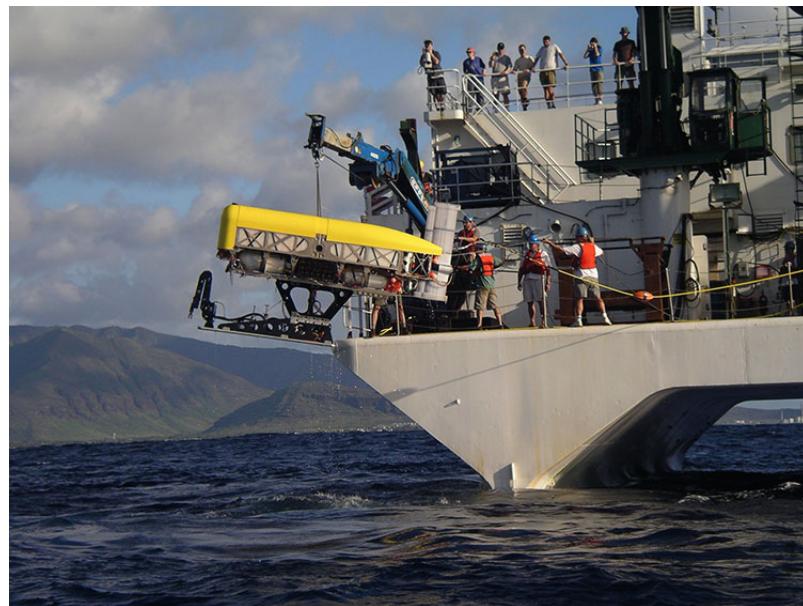


Figura 1.3: Nereus

Lamentablemente, en 2014 durante una misión, el robot Nereus sufrió un colapso estructural y se perdió en el fondo del océano. A pesar de esta pérdida, los datos que se pudieron recopilar en este robot submarino siguen siendo una fuente de conocimiento sobre las profundidades marinas. Este ejemplo de robot semiautónomo demuestra que se pueden realizar tareas en entornos peligrosos sin poner en riesgo la vida humana aunque tenga control por un operario<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup><https://www.elperiodico.com/es/ciencia/20140512/famoso-sumergible-nereus-pierde-fondo-mar-3271389>

## Robótica Autónoma

La robótica autónoma consiste en tener robots que sean capaces de operar y realizar tareas de forma independiente sin la intervención de un ser humano. En contraste con los robots teleoperados, este tipo de robots necesitan un comportamiento más robusto y preciso para realizar tareas independientes basándose en la percepción del entorno y en la toma de decisiones autónomas.

El concepto de automía en los sistemas robóticos se está convirtiendo en un área de investigación activa y en rápido desarrollo.

Los avances en inteligencia artificial (IA), visión artificial, aprendizaje automático han facilitado la creación de robots autónomos capaces de llevar a cabo amplias variedades de tareas en entornos no estructurados y cambiantes [8].



Figura 1.4: Spot de Boston Dynamics

## 1.2. Robótica aérea

Dentro del campo de la robótica aérea tenemos los drones. Podemos definir un dron, como vehículo aéreo no tripulado (UAV), es un tipo de aeronave que puede operar sin la necesidad de un piloto humano a bordo. Estos dispositivos pueden ser controlados remotamente por un operador humano o navegar autonomamente incoporando software en su sistema. El origen de los drones se remonta a la Primera Guerra Mundial con el biplano Kettering Bug. Este era un torpedo no tripulado de 240 kg (con una envergadura de 4,5 m, una longitud de 3,8 m y una altura de 2,3 m)<sup>6</sup> era propulsado por un motor alternativo. Podía volar de forma autónoma hasta un punto específico, donde soltaba sus alas y caía en “caída libre”<sup>7</sup>. Avanzando en la historia, en 1935 se desarrolló el DH.82 Queen Bee<sup>8</sup>. Este era un blanco aéreo sin piloto que era controlado por radio. De hecho, parece que el término “dron” se originó a partir del nombre, que se refiere a la abeja macho que realiza un vuelo en busca de la abeja reina y luego fallece.

Durante la Segunda Guerra Mundial, quizás el más conocido fue el V-1 ”Flying Bomb”<sup>9</sup>, el primer misil de crucero operativo del mundo, en donde su sistema de guía preestablecido incluía una brújula magnética que monitoreaba un autopiloto con giroscopios. También en este periodo, destacaremos el *Project Aphrodite* [3], fue un programa que tenía como objetivo convertir bombarderos en bombas voladoras no tripuladas que eran controladas por radio. Más adelante estos bombarderos no tripulados se utilizaron para volar a través de nubes de hongo después de las pruebas nucleares.

Destacando más UAVs, tenemos la familia Teledyne Ryan Firebee/Firefly<sup>10</sup>, estos sistemas generalmente se lanzaban desde el aire y se recuperaban mediante una combinación de paracaídas y helicópteros. El Lockheed D-21 fue uno de los sistemas más impresionantes durante la Guerra Fría. Este UAV fue impulsado por estatorreactor con velocidades mayores que Mach 3<sup>11</sup>. En la Edad Moderna, destacamos El Condor [1], fue el primer UAS en utilizar navegación GPS y tecnología de aterrizaje automático y

---

<sup>6</sup><https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/198095/kettering-aerial-torpedo-bug/>

<sup>7</sup><https://daytonunknown.com/2023/06/30/the-kettering-bug-the-worlds-first-drone/>

<sup>8</sup><https://dronewars.net/2014/10/06/rise-of-the-reapers-a-brief-history-of-drones/>

<sup>9</sup><https://migflug.com/jetflights/the-v1-flying-bomb/>

<sup>10</sup><https://www.designation-systems.net/dusrm/m-34.html>

<sup>11</sup><https://www.marchfield.org/aircraft/unmanned/d-21-drone-lockheed/>

el Predactor<sup>12</sup>. En la época dorada, gracias a los avances anteriores se pudo desarrollar sistemas militares esenciales que han demostrado su valor y el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados pequeños (small UAV). Este ultimo ha despertado un gran interés significativo resaltando como puntos de entrega al mercado civil ya que con sus cargas útiles reducidas pueden ser portátiles y tener un coste menor .



Figura 1.5: Historia de los drones

Cada vez es más común que los drones sean más sofisticados y accesibles. Por ejemplo, el dron Ingenuity de la NASA se ha convertido en el primer vehículo aéreo autónomo en poder volar sobre la superficie de otro planeta. Fue transportado a Marte mediante el rover Perseverance de la NASA, una vez fue posicionado el dron se elevó cerca de 3 metros realizando diferentes giros y desplazamientos tomando fotos a la superficie, teniendo la capacidad de escoger de forma autónoma los sitios de aterrizaje en el terreno marciano <sup>13</sup>. Este dron operaba de manera autónoma, controlado por

<sup>12</sup><https://www.airforce-technology.com/projects/predator-uav/?cf-view>

<sup>13</sup><https://ciencia.nasa.gov/sistema-solar/finaliza-la-mision-del-helicoptero->

sistemas de guía, navegación y control a bordo ejecutando los diferentes algoritmos desarrollados por la NASA.

Uno de los grandes retos de este proyecto era demostrar la viabilidad del vuelo en la atmósfera de Marte, ya que su atmósfera está compuesta por el 1% de la densidad terrestre dificultando el vuelo del dron. Sin embargo, gracias a su diseño ligero y a sus hélices especialmente diseñadas para crear suficiente sustentación en la atmósfera del planeta, el Ingenuity fue capaz de superar este desafío<sup>14</sup>.



Figura 1.6: El dron Ingenuity

Además, en su última fase, el Ingenuity realizó pruebas de vuelo experimentales para ampliar el conocimiento sobre cuáles eran sus límites aerodinámicos<sup>15</sup>.

Otro ejemplo de uso de drones podemos tener control y mantenimiento de redes eléctricas y otras infraestructuras. Algunas construcciones constan de grandes alturas y tamaños, lo que puede dificultar el trabajo y su correcto mantenimiento. No obstante, estas tareas con los drones se agilizan y se vuelven más eficientes y robustas, porque permiten poder inspeccionar dichas infraestructuras desde cerca sin poner en peligro a la seguridad de los operarios. Hay drones que se encargan en la monitorización de infraestructuras eléctricas.

---

<sup>14</sup>[ingenuity-en-marte/](https://www.bbc.com/mundo/noticias-56738201)

<sup>15</sup><https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/ingenuity-mars-helicopter/>

Unión Fenosa, la distribución eléctrica en España de Naturgy, en 2018 incorporó drones a sus instalaciones eléctricas para realizar labores de supervisión. Estos drones aportan soluciones optimizadas y eficientes en costes. Si tenemos en cuenta la longitud que puede tener las redes eléctricas, el uso de estos vehículos autónomos facilita las tareas de supervisión equipados de cámaras de última generación permitiendo al operario observar en tiempo real el estado de las infraestructuras. Además de que los drones podrían acceder a zonas de difícil acceso para comprobar daños y poder repararlos<sup>16</sup>.

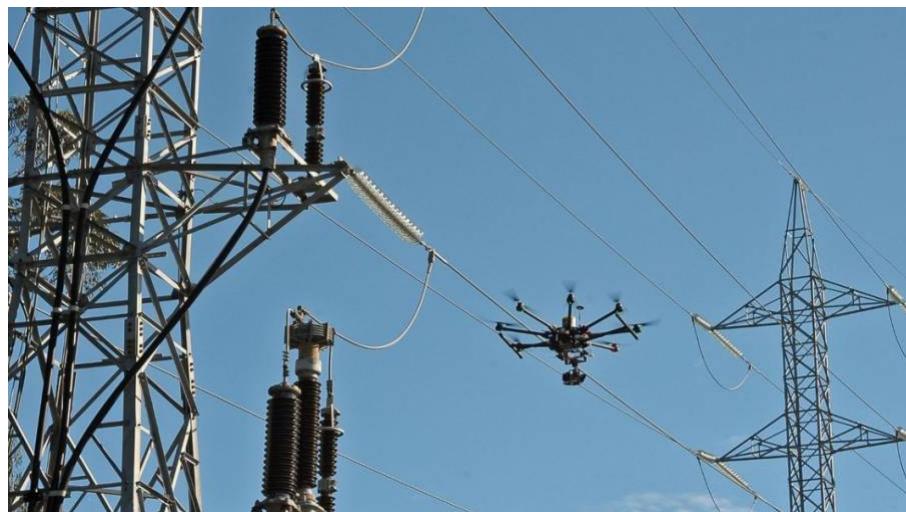


Figura 1.7: Drones en inspección electrica en Galicia

Asimismo, Amazon ha estado trabajando en el desarrollo de drones para la entrega de paquetes durante varios años denominado así Prime Air[5], que consiste en un sistema de entrega de paquetes utilizando estos vehículos. Durante este programa, han realizado diferentes pruebas de reparto de paquetes a clientes en 60 minutos o menos. Estas entregas se realizan desde sitios preparados con esta modalidad, el proceso de entrega de los drones empezaría en los centros de preparación de pedidos en donde los empleados seleccionarían el artículo, lo llevarían a la estación de embalaje y cuando este preparado su embalaje se deslizaría por una rampa hacia la fase de entrega. En la fase de entrega los empleados preparan el paquete y la batería del dron para su destino. Cuando el dron halla realizado el despegue seguirá una ruta prestablecida con supervisión de un operador para garantizar su entrega.

Estos drones están automatizados para que logren volar a velocidades de 65 kilómetros por hora, al llegar el dron a su destino, se detendrá y descenderá lentamente

<sup>16</sup><https://www.ufd.es/blog/primer-vuelo-de-un-dron-mas-allá-de-la-línea-visual/>

para dejar el paquete en un área designada. Una vez el paquete haya sido entregado, el vehículo regresará al centro de preparación de pedidos para realizar la siguiente entrega<sup>17</sup>.



Figura 1.8: El primer prototipo de dron de Prime Air

A lo largo de los años, Amazon ha seguido investigando y diseñando nuevos modelos de drones como el dron MK27-2<sup>18</sup>. Fue el primer dron que utilizó Amazon para las primeras entregas dentro del programa Prime Air durante el año 2023, se basaba en un dron eléctrico capaz de entregar paquetes con un peso máximo de 1,5 kilogramos a los clientes en menos de una hora y capaz de realizar vuelos evitando obstáculos como puede ser las chimeneas o las torres de telefonía aunque no puede realizar entregas durante tormentas, vientos fuertes, temperaturas extremas o cualquier situación climatológica desfavorable.

Este servicio solamente está disponible para domicilios que tengan patios traseros que dispongan de espacio suficiente para que el dron pueda realizar el aterrizaje y la entrega del pedido.

<sup>17</sup><https://logistica.cdecomunicacion.es/e-commerce/140453/prime-air-amazon-entregas-drones>

<sup>18</sup><https://www.europapress.es/portaltic/gadgets/noticia-amazon-prime-air-comienza-entregar-pedidos-drones-estados-unidos-20221229115034.html>



Figura 1.9: El dron MK27-2

Sin embargo, Amazon Prime Air será más eficiente gracias al dron MK30 creado y diseñado por Amazon. Este pequeño dron será capaz de volar en diferentes condiciones climatológicas y constará de un sistema capaz de identificar y evitar obstáculos en el área de entrega. Será capaz de volar en situaciones de lluvia ligera y poder realizar vuelos generando un 25 % menos de ruido que el anterior modelo. Una novedad de este dron en comparación con los anteriores modelos es que será capaz de aterrizar en espacios más reducidos lo que conlleva a que este tipo de servicio pueda llegar a más vencidarios.

Se tiene previsto que se llegue a probar en el año 2024 empezando por ciudades como Texas y California en Estados Unidos <sup>19</sup>.



Figura 1.10: El dron MK30

---

<sup>19</sup><https://www.forbesargentina.com/innovacion/asi-nuevo-asombroso-dron-amazon-mk30-n42612>

En un futuro cercano, puede que los drones sean más eficientes para las aplicaciones civiles y científicas incluyendo protección contra incendios forestales, misiones agrícolas, ayuda en catástrofes y más. Las demostraciones actuales del uso de los drones han revelado el potencial que pueden tener pero aun así el acceso al espacio aéreo sigue siendo un factor limitante. Con el paso del tiempo, se irán desarrollando nuevas tecnologías prácticas para poder permitir una integración segura en el espacio aéreo [7].

En resumen, los drones son una tecnología emergente con un potencial significativo para transformar una variedad de industrias. Sin embargo, también plantean desafíos únicos que deben ser abordados a medida que se integran más plenamente en nuestra sociedad. Con el desarrollo continuo de la tecnología de los drones y la evolución de las regulaciones, es probable que veamos un aumento en la variedad de las aplicaciones de los drones en el futuro.

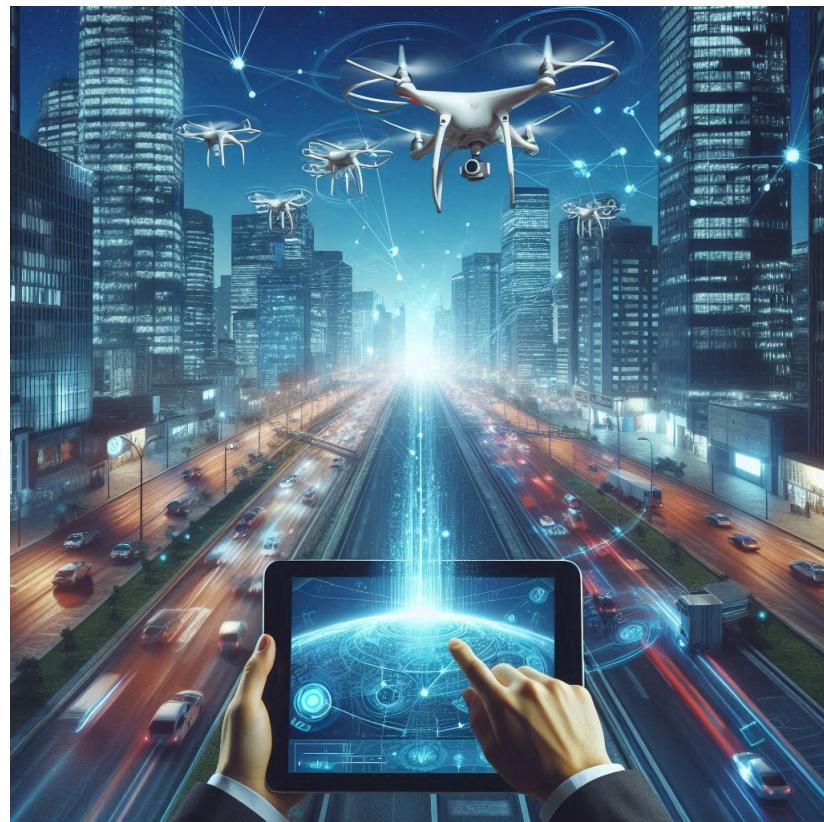


Figura 1.11: Ilustración de como serán los drones en un futuro creado con Copilot

### 1.3. La inteligencia artificial en la navegación autónoma de drones

La incorporación de inteligencia artificial en el mundo de los drones desempeña un papel crucial en la navegación autonómica, permitiéndoles tomar decisiones en tiempo real y adaptarse a entornos cambiantes de manera eficiente. Permitiendo a los drones poder aprender de sus experiencias y entender e interactuar con el entorno en el que se encuentran de una manera más natural.

Los drones que están equipados con IA pueden realizar vuelos de precisión, mantener la estabilidad incluso en condiciones adversas como fuertes vientos, y evitar obstáculos de forma dinámica. Esto es posible gracias a la combinación de datos sensoriales junto con los algoritmos de IA, lo que permite al dron interpretar su entorno y tomar decisiones en tiempo real.

Uno de los enfoques más destacados en la navegación autonómica de drones es el aprendizaje automático. Este enfoque permite a los drones mejorar su objetivo a través de la experiencia y los datos recopilados durante el vuelo.

Los algoritmos de aprendizaje automático, como las redes neuronales convolucionales (CNN), son utilizados para la detección y clasificación de objetos. Por ejemplo, las CNN son capaces de analizar imágenes capturadas por las cámaras a bordo del dron para identificar obstáculos, peatones o vehículos. Un tipo de aplicación de uso de redes neuronales puede estar en la detección y clasificación de malas hierbas [4]. Mediante el sensor de la cámara, el dron es capaz de capturar imágenes en tiempo real para más adelante usar la red neuronal CNN YOLOv8<sup>20</sup> para detectar y clasificar las diferentes hierbas que puede haber en un campo de cultivo. Este tipo de aplicación es bastante útil para la inspección agrícola ya que los drones pueden crear mapas detallados que permiten a los agricultores aplicar herbicidas de manera más eficiente y precisa, también este tipo de aplicación puede ser útil para tener una monitorización general sobre la salud del cultivo.

Por otro lado, el reinforcement learning (RL) [9] es una técnica dentro del aprendizaje automático que promete bastante en la navegación autonómica de drones. Esta metodología permite a los drones aprender a realizar trayectorias y planificar rutas de forma autonómica, mejorando su desempeño a mediante un esquema de penalizaciones y recompensas permitiendo así al dron poder tomar decisiones decisivas en situaciones

---

<sup>20</sup><https://github.com/ultralytics/ultralytics>

puntuales. En este artículo [10] precisamente se utiliza un algoritmo de RL para la evitación de obstáculos en un espacio continuo y se llega a conseguir que con estos tipos de algoritmos que un dron pueda llegar aprender comportamientos y tomar decisiones por él mismo.

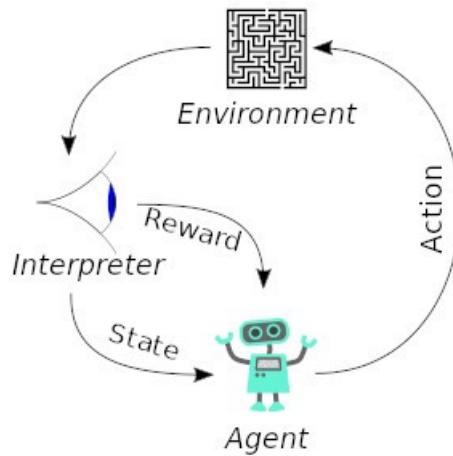


Figura 1.12: Esquema de Reinforcement Learning

En conclusión, la inteligencia artificial puede ser fundamental en la navegación autónoma de drones al permitirles percibir su entorno, podemos tomar decisiones y planificar acciones de manera anticipada y autónoma. A medida que vayamos avanzando, se espera que los drones tengan más sistemas de inteligencia artificial abordo para cubrir una amplia gama de tareas de manera autónoma, lo que abriría nuevas fronteras en campos como el rescate, la vigilancia, la logística y la exploración, y que promete seguir transformando la forma en que interactuamos con el espacio aéreo en un futuro.

## 1.4. Navegación autónoma en Airsim basada en inteligencia artificial y aprendizaje por refuerzo

En este trabajo realizaremos una navegación autonómica en entornos de simulación por Airsim mediante redes neuronales, algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje por refuerzo. Demostrando así que un dron es capaz de tomar decisiones por si mismo dependiente de la situación en la que se pueda encontrar en un entorno de carreteras.

---

## Apéndice A

# Bibliografía

---

- [1] Alavarez, D. A. R. (2016). The condor uav system.
- [2] Dong, W., Man-Wen, L., Wei-Tian, Z., Xing-Gang, W., Xiang, B., Wen-Qing, C., and Wen-Yu, L. (2012). Yolop: You only look once for panoptic driving perception. *Machine Intelligence Research*, 19:253–266.
- [3] Frisbee, J. L. (1997). Proyect aphrodite.
- [4] Gustavo Mesías-Ruiz, J. P., Ana de Castro, I. B.-S., and Dorado, J. (2024). Detección y clasificación de malas hierbas mediante drones y redes neuronales profundas: creación de mapas para tratamiento localizado. pages 1–5.
- [5] Jung, S. and Kim, H. (2017). Analysis of amazon prime air uav delivery service. *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, 12:253–266.
- [6] Kalashnikov, D., Irpan, A., Pastor, P., Ibarz, J., Alexander Herzog, E. J., Quillen, D., Holly, E., Kalakrishnan, M., Vanhoucke, V., and Levine, S. (2018). Qt-opt: Scalable deep reinforcement learning for vision-based robotic manipulation. pages 1–23.
- [7] Krejci Garzon, E. (2014). Drones el futuro de hoy. *ashtag*, pages 96–103.
- [8] Loja Romero, J. D. (2022). Exploración autónoma en interiores para el robot spot basado en la red yolo. No Publicado.
- [9] Qiang, W. and Zhongli, Z. (2011). Reinforcement learning model, algorithms and its application. In *2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, pages 1143–1146.
- [10] Xue, Z. and Gonsalves, T. (2021). Vision based drone obstacle avoidance by deep reinforcement learning. 2:366–380.