# Borrador Memoria TFG 2.0

***Entorno de simulación para el entrenamiento mediante Reinforcement Learning del vuelo autónomo de un cuadricóptero***

**Índice**

1. *Introducción*
2. *Objetivos*
3. *Resultados*
4. *Conclusiones*
5. *Bibliografía*

*Anexos:*

* *Estado del Arte*

## INTRODUCCION

Presentar los drones. Contextualizar su uso hoy en dia (y el que se dará mañana), e introducir la necesidad de tener sistemas para entrenar drones inteligentes.

Introducir el RL y explicar la necesidad de hacer pruebas “una y otra vez”

Una de las tecnologías que más destacan y llaman la atención en estos últimos años son los llamados drones, definidos formalmente como *aeronaves no tripuladas* por la RAE [http://dle.rae.es/?id=ED2QqnQ]. Estos aparatos se han convertido en una atracción para casi cualquier ámbito, comenzando en usos militares y llegando a ser juguetes de ocio, no sin pasar por usos comerciales como el transporte o relacionados con seguridad y defensa.

Su bajo coste, reducido tamaño y la posibilidad de manejarlos remotamente les da un potencial inmenso para una infinidad de usos, entre otras cosas, en tareas que debería hacer una persona pudiendo tener que asumir riesgos o peligros, como puede ser la vigilancia desde el aire en zonas de conflicto, la búsqueda de supervivientes tras una catástrofe natural o la actuación en incendios forestales.

Sin embargo, para algunas tareas los recursos humanos son limitados y no es viable ocupar a un operario pilotando un dron, apareciendo de esta forma la necesidad de diseñar aeronaves que puedan llevar a cabo su cometido de forma autónoma.

Volar de forma autónoma es una tarea muy compleja en la que pueden suceder innumerables situaciones diferentes e imprevisibles, a las que se debe dar respuesta de la forma más rápida y acertada posible. Es necesario dotar a los drones de inteligencia para que puedan desenvolverse por sí mismos y aprender de su propia experiencia.

Esta necesidad se puede satisfacer con técnicas de Reinforcement Learning (o Aprendizaje por Refuerzo), un área del Machine Learning que agrupa técnicas de aprendizaje automático basadas en la experimentación y la experiencia de la propia máquina. Estas técnicas comparten una etapa de entrenamiento basada en sucesivos episodios de prueba y error en los que la máquina debe procurar llegar a un objetivo. Durante estos episodios el aparato aprende de sus propias interacciones con el entorno que lo rodea.

En este trabajo fin de grado se pretende crear un freamwork de simulación, desarrollo y entrenamiento de sistemas RL orientado a su uso en drones.

## OBJETIVOS

Objetivo principal: crear un framework de simulación, desarrollo y testeo de sistemas RL realista, versátil y plug&play.

* El objetivo de este tfg es crear un framework de simulación y entrenamiento para drones. Es decir, un conjunto de herramientas que nos ayuden a diseñar y probar algoritmos, así como a entrenar el dron con esos algoritmos. De forma que una vez el dron esté preparado, solo haya que mover la lógica (incluyendo ese “conocimiento generado”) al dron real, y a volar.
* Ventajas de esto? Que no hay que modificar nada, lo que se entrena es lo mismo que va a llevar el dron real (filosofia plug&play)

REESCRIBIIIIIR

El objetivo final de este trabajo es la obtención de un freamwork de simulación, desarrollo y entrenamiento de sistemas RL, es decir, un conjunto de herramientas que faciliten el desarrollo y posterior entrenamiento (en simulación) de sistemas inteligentes (basados en RL) para drones.

Para ello se empleará AirSim como entorno de simulación por su gran realismo, el PX4 como controlador, se utilizará ROS por su versatilidad para programar todo tipo de algoritmos y para controlar el PX4 y se integrará la plataforma GYM para facilitar el desarrollo de los sistemas de entrenamiento.

## RESULTADOS

* Explicar los bloques que componen el sistema completo (airsim, px4, ros, gym) y cómo se integran.
* A continuación, explicar las implementaciones llevadas a cabo en cada uno de los bloques. (airsim con integración de ROS, px4 modificado para poder hacer el reset, ROS + GYM para unir todo y hacer el sistema de entrenamiento)
* Por último, mencionar las pruebas y el desarrollo en general que se llevó a cabo durante la implementación de esos módulos.

## CONCLUSIONES

Finalmente que hemos conseguido? Hemos creado un framework con X ventajas y Y inconvenientes. Soluciona estos problemas del estado del arte.

Recalcar que se ha creado algo nuevo que aporta valor, y que no existía previamente.

------- Puede que se aproveche algo de esto ------

La ventaja principal que aporta este framework es la facilidad de migración del sistema entrenado al dron real. Esto se debe a que, gracias a la compatibilidad del simulador con un controlador tan ampliamente utilizado como es el px4, cualquier implementación de software en el framework funcionará exactamente de la misma manera en el vehículo físico.

La ventaja principal de este framework pues, reside en que todas las implementaciones son migradas de la simulación al equipo real de forma casi directa, sin necesidad de hacer ningún cambio en la implementación. Esto se consigue gracias a la integración en la simulación de un firmware de autopiloto creado para equipos reales, por lo que el sistema desarrollado se programará para la simualción exactamente igual que se haría para el dron físico.

En concreto, una característica que diferencia notablemente este trabajo de cualquier otro mencionado en el estado del arte, es su filosofía plug&play. El AirSim es compatible con un autopilot ampliamente utilizado en drones autónomos, el PX4. Esto da una ventaja enorme, ya que cualquier código que funcione para este autopilot, funcionará exactamente igual para un dron real con el mismo controlador.

---

## ANEXOS

### ESTADO DEL ARTE

Dado que el objetivo es tener un framework de simulación, desarrollo y testeo de sistemas RL, podemos hablar de los diferentes frameworks que hay para simulación (aptdo simuladores).

Dentro de los frameworks hay que mencionar al final de todo, cuando ya nos centramos en airsim, que existe un freamwork similar al que hemos creado pero que utiliza el simple\_flight. La ventaja del nuestro esta en que utiliza el px4, ya que en las ultimas versiones de airsim, integra ros tb, cosa queno hacia al principio.

Acabar hablando de por que escogemos airsim? Si no, se puede meter en SIMULADOR, pero pienso que quedará mejor aquí.

Desarrollar y experimentar con algoritmos para vehículos autónomos es un proceso muy complejo que requiere tiempo y muchas pruebas que no siempre terminan bien. Además, para desarrollar sistemas inteligentes a menudo es necesario recopilar una gran cantidad de datos de entrenamiento en diferentes condiciones y entornos. Realizar este proceso en el mundo real no es viable, por ello para llevarlo a cabo se utilizan entornos de simulación, sistemas informáticos que procuran imitar lo más fielmente posible el comportamiento que tendría el vehículo en un entorno real. Este tipo de software nos permite experimentar, analizar y entrenar a nuestros aparatos evitando los importantes inconvenientes que implican hacer lo propio en la realidad: accidentes, golpes, costosas roturas, desajustes, etc.

Cabe destacar que no solo el entorno de simulación es importante, sino también su compatibilidad e integración con otras tecnologías tales como los **controladores de vuelo**, que son dispositivos encargados de controlar los diferentes componentes del vehículo; los **protocolos de comunicación** para interconectar el simulador y el controlador, así como también otros componentes; o los **frameworks de programación** para desarrollar el software que definirá el comportamiento del dron.

Debido a que el interés de este trabajo reside en encontrar un sistema que agrupe todas estas tecnologías para facilitar la implementación de vehículos autónomos, es esencial hacer un análisis del estado del arte al respecto:

*Datos comparativos entre simuladores sacados del paper de AirSim* ***[*** <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2017/07/1705.05065.pdf> ***]***

A día de hoy existen variedad de entornos de simulación para drones, y entre ellos, uno de los más utilizados es Gazebo. [WEB <http://gazebosim.org/tutorials?tut=guided_b1&cat=#WhatisGazebo?> ] Un simulador de código abierto para todo tipo de robots, capaz de simular ambientes interiores y exteriores complejos con alto grado de fidelidad. Provee una amplia biblioteca de robots y entornos, gran cantidad de sensores y plugins para integrar muchas otras tecnologías, tales como controladores de vuelo, frameworks de programación, sistemas de entrenamiento, etc. Algunas de las grandes ventajas que tiene utilizar Gazebo son la amplia comunidad de usuarios que participan activamente generando conocimiento y la gran cantidad de documentos académicos basados en la experimentación con este simulador.

La principal desventaja de Gazebo es su falta de realismo en la simulación, debido a su orientación a robots genéricos y a la complejidad que implica crear entornos realistas a gran escala y con gran cantidad de detalles que simulen mejor el mundo real.

Una alternativa que pretende solventar la falta de realismo es Hector [PAPER <https://pdfs.semanticscholar.org/3ed3/948827e0949770e8583b51bd0fedf4fd73fe.pdf>], un trabajo orientado específicamente a cuadricópteros, y que integra el simulador Gazebo junto al middleware robótico ROS [ Referencia (anexo? Web?) ] . Lo que ofrece Hector [ fuente <http://wiki.ros.org/hector_quadrotor> ] es una simulación más realista de la física del vuelo y el comportamiento del aparato, pero por el contrario carece de soporte para la integración de controladores de vuelo como PX4 y protocolos de comunicación estándares como MavLink [ WEB <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start> ].

De forma similar, RotorS [ PAPER <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26054-9_23> ] es un framework modular de simulación que permite diseñar drones y desarrollar algoritmos para controlar su comportamiento y estimar su estado de forma más precisa. Al igual que en el caso anterior, RotorS [ fuente <http://wiki.ros.org/rotors_simulator> ] se basa en ROS y Gazebo, pero en este caso sí se soporta la integración de controladores de vuelo.

Garantizando la compatibilidad de controladores de vuelo y alejándose de la simulación de Gazebo, existe otro software llamado jMAVSim [ WEB <https://pixhawk.org/dev/hil/jmavsim> ], un extremadamente sencillo entorno de simulación diseñado en el contexto del proyecto Pixhawk [ <http://pixhawk.org/> ] con el objetivo de experimentar con el firmware de la plataforma del propio proyecto. Se trata de un entorno muy ligero y fácil de utilizar que consta de un motor de renderizado muy simple, imposibilitando la generación de objetos en la escena. Además no aporta ningún tipo de integración con otras tecnologías.

Otro grupo de entornos de simulación es aquel basado en el potente motor de videojuegos creado por Epic Games [ WEB <https://www.epicgames.com/site/es-ES/home> ], el Unreal Engine [ WEB <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4> ]. Este grupo de frameworks se caracteriza por el alto grado de realismo tanto en gráficos como en física de comportamiento de los vehículos, debido a las avanzadas tecnologías desarrolladas por su creador. Notables ejemplos de este grupo son Sim4CV, DroneSimLab y Microsoft AirSim.

El primero de ellos, Sim4CV [ WEB <https://sim4cv.org> ] [ <https://arxiv.org/pdf/1708.05869.pdf> ] [ <https://www.youtube.com/watch?v=SqAxzsQ7qUU> ], se presenta como un simulador fotorrealista orientado claramente a la experimentación en campos muy avanzados de la visión artificial. Gracias al potente motor gráfico, consigue alcanzar un alto nivel de realismo en la física de los vehículos. Como desventaja está su limitación para integrar tecnologías externas al propio freamwork.

En contraste con el anterior, DroneSimLab [ <https://arxiv.org/abs/1708.01938> ][ <https://github.com/orig74/DroneSimLab> ] es un freamwork con énfasis en la modularidad y la flexibilidad. Tanto es así, que no solo integra varios controladores de vuelo y motores de simulación de sensores, además del motor gráfico aportado por Unreal, sino que facilita la integración de otros muchos componentes mediante el uso de contenedores. Este conjunto de herramientas tiene una orientación genérica, permitiendo experimentar en visión artificial, vehículos autónomos y otros muchos campos para gran cantidad de vehículos. Claramente, este freamwork es la alternativa más cercana e interesante al objetivo del presente trabajo.

Microsoft AirSim [ WEB <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2017/07/1705.05065.pdf> ] forma parte del proyecto *Aerial Informatics and Robotics Platform* [ WEB <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/aerial-informatics-robotics-platform/> ] desarrollado por Microsoft, y consiste en un entorno de simulación basado en el motor Unreal Engine y en un conjunto de herramientas para el desarrollo de sistemas autónomos. Se trata de una plataforma que cuenta con las tecnologías más avanzadas de simulación en cuanto a física de los vehículos y visualización del entorno, reduciendo al máximo la diferencia entre realidad y simulación, ayudando así a crear sistemas autónomos más avanzados, seguros y eficaces.

AirSim es un freamwork de código abierto en continuo desarrollo que pretende convertirse en una plataforma modular, altamente compatible y tecnológicamente avanzada para contribuír al desarrollo e investigación en vehículos autónomos, con la intención de crear “una comunidad de desarrolladores que impulse el estado del arte en este campo”. [Cita al paper de airsim, ultimas 2 lineas antes de Related Work]

La reciente novedad de AirSim y su apuesta por la muy alta fidelidad de la simulación, además de la creciente presencia de trabajos realizados con esta plataforma y el prestigio de la propia compañía, han sido los factores impulsores de la elección de este entorno de simulación para realizar este trabajo de fin de grado.

Existen muchos más entornos de simulación, pero la mayoría están orientados a robots de tipo genérico (como ARGoS [WEB <http://www.argos-sim.info/index.php> ] o V-REP [WEB <http://www.coppeliarobotics.com/index.html> ]), por lo que no incorporan una simulación realista del comportamiento de un dron ni soportan compatibilidad con la mayoría de tecnologías necesarias, o bien no son de código abierto (como XPLANE [WEB <http://www.x-plane.com/> ] o RealFlight [WEB <https://www.realflight.com/> ]).

### TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

* SIMULADOR: centrarse en el airsim, hablar de sus ventajas y desventajas, compatibilidades e incompatibilidades.
* AUTOPILOTO: explicar qué es y para que sirve, cuál se ha utilizado y por qué.
  + HITL vs SITL: hablar también de la existencia de dos modos: HITL y SITL, y de cuál se ha utilizado y por qué.
* ROS: explicar qué es y por qué se ha utilizado.
* RL: explicar por encima lo que es y en qué se basa, por qué es útil en nuestro contexto, y cómo funciona el entrenamiento (hacer ver la necesidad de una función de reset). Además comentar que se usa el gym, decir que es y por que es útil.

En este proyecto se han empleado diversas tecnologías, de las cuales se explicará un poco más a continuación:

#### CONTROLADOR DE VUELO: PX4

REESCRIBIR Y HOMOGENEIZAR

El controlador de vuelo o “autopilot” es uno de los componentes base más esenciales de cualquier vehículo multi-rotor. Se trata de una placa electrónica a la que se conectan los sensores (GPS, barómetros, giroscopios, acelerómetros, etc) y los actuadores (motores) del vehículo. Esta placa lleva instalado un firmware que se encarga de controlar el comportamiento de los actuadores en función de las lecturas de los sensores y del estado deseado, con la finalidad de mantener la aeronave estable así como de cambiar la velocidad o la dirección de movimiento de la misma, de forma controlada. [ <https://www.tomshardware.com/reviews/multi-rotor-quadcopter-fpv,3828-2.html> ].

La labor principal del autopilot es tomar el estado o posición deseada del vehículo como entrada, estimar el estado real a partir de los datos de los sensores, y controlar el comportamiento de los actuadores de tal forma que el estado real sea lo más parecido posible al estado deseado. [ <https://github.com/Microsoft/AirSim/blob/master/docs/flight_controller.md> ]

Cuando se utilizan entornos de simulación, los sensores y los actuadores son emulados por la física del vehículo, de forma que el controlador de vuelo consumirá los datos simulados de los sensores, y generará unas señales que recibirán los actuadores del vehículo simulado como entrada. En estos casos, existen dos métodos diferentes para integrar el autopilot en el entorno de simulación: SITL y HITL.

[ <https://github.com/Microsoft/AirSim/blob/master/docs/flight_controller.md> ]

[ <https://wiki.paparazziuav.org/wiki/HITL> ]

[ <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1109&context=mae_facpub> ]

**SITL (Software In The Loop)** es una técnica que se basa en emular el hardware del controlador ejecutando directamente el firmware del autopilot sobre el equipo de desarrollo, de forma que interactúe con los sensores y actuadores del entorno de simulación.

**HITL (Hardware In The Loop)**, en cambio, se basa en conectar el hardware real del autopilot al equipo de desarrollo, de forma que el controlador de vuelo interactúe directamente con los sensores y actuadores del entorno de simulación.

El método HITL es el más cercano a lo real, pero la ventaja más significativa del método SITL es que elimina por completo la necesidad de adquirir una plataforma hardware. Además, con el método HITL pueden darse problemas de desincronización si el reloj del simulador y del controlador tienen velocidades y/o precisiones distintas, o si la conexión entre el autopilot y el equipo de desarrollo no es capaz de transferir los datos suficientemente rápido. Sin embargo, cuando se trabaja con equipos de desarrollo con recursos limitados, el método HITL evita la sobrecarga de trabajo del equipo, permitiendo emplear toda la potencia disponible en el entorno de simulación, que normalmente requiere gran cantidad de recursos.

El proyecto *Dronecode* [ <https://www.dronecode.org/> ] es una plataforma de código abierto que desarrolla diversas herramientas y tecnologías para drones, como protocolos de comunicación, controladores de vuelo (hardware y firmware), simuladores, etc. Su objetivo es crear una comunidad de desarrolladores que contribuyan al proyecto para ofrecer una plataforma tecnológicamente avanzada de herramientas para vehículos no tripulados.

*PX4 autopilot* [ <http://px4.io/> ] es un firmware de controlador de vuelo muy versátil y ampliamente utilizado, que forma parte de la *Dronecode Platform*. Sus características más destacables son la gran cantidad de vehículos que puede controlar (no solo todo tipo de aeronaves, sino también vehículos terrestres y submarinos), la variedad de modos de vuelo y características de seguridad, y especialmente su compatibilidad con multitud de sensores, periféricos y plataformas hardware. [ <https://docs.px4.io/en/getting_started/px4_basic_concepts.html> ]

En este trabajo fin de grado, se utilizará el PX4 en modo SITL.

La elección de este autopilot se debe a diversos factores: en primer lugar, es un autopilot compatible con el entorno de simulación de Microsoft; además utiliza el protocolo MAVlink (también soportado por AirSim), y es compatible con el middleware ROS para el desarrollo de algoritmos, el envío de comandos, etc; por otra parte, el hecho de que este autopilot se pueda ejecutar sobre diferentes plataformas [ <https://docs.px4.io/en/flight_controller/> ] (Pixhawk [ <https://pixhawk.org/> ], Qualcomm Snapdragon Flight [ <https://docs.px4.io/en/flight_controller/snapdragon_flight.html> ], Intel Aero Compute Board [ <https://software.intel.com/en-us/aero/compute-board> ], Raspberry Pi 2/3 Navio2 [ <https://docs.px4.io/en/flight_controller/raspberry_pi_navio2.html> ], etc) aporta flexibilidad y facilita que las implementaciones se migren directamente al dron.

La integración de PX4 con AirSim se realizará por el método SITL, ya que se pretende obtener un freamwork de simulación que no dependa de ningún elemento hardware más allá del propio equipo de desarrollo.

Meter ref al código: <https://github.com/PX4/Firmware>

#### FRAMEWORK DE PROGRAMACIÓN: ROS

Ros es un middleware que bla bla bla

Sirve para bla bla bla

Nosotros lo hemos utilizado porque es versátil, nos permite trabajar en Python o C++ y tiene una extensión llamada mavros que nos permite hablar mavlink y comunciarnos con el autopilot y con el simulador.

#### ENTORNO DE SIMULACIÓN: AIRSIM

Nota: en este apartado se mencionan conceptos como Controlador de vuelo, Autopilot, modo SITL, modo HITL, que se explican en el apartado siguiente. Se recomienda al lector ver el apartado “CONTROLADOR DE VUELO: PX4” antes de continuar con la lectura

Microsoft AirSim [ <https://github.com/Microsoft/AirSim> ] es un entorno de simulación desarrollado sobre el motor Unreal Engine que ofrece simulaciones física y visualmente realistas. Está implementado como un plugin multiplataforma para UE que se puede integrar en cualquier proyecto de Unreal.

{{ drone\_depth\_materials.png – imagen realista, multiples tipos de camara }}

Se trata de una plataforma modular en continuo desarrollo, con gran énfasis en la escalabilidad, dando la posibilidad de añadir nuevos vehículos, plataformas hardware y protocolos software. Además se trata de un proyecto de código abierto, por lo que cualquier desarrollador puede contribuir.

Incluye un conjunto de APIs [ <https://github.com/Microsoft/AirSim/blob/master/docs/apis.md> ] que permiten leer el estado del vehículo, de los sensores y de las cámaras, así como también enviar comandos al vehículo.

Este entorno de simulación provee 3 interfaces diferentes de uso [ <https://github.com/Microsoft/AirSim/blob/master/README.md> ]:

* **Control manual:** se trata de una interfaz en la que el usuario controla el comportamiento del vehículo con ayuda de un joystick control remoto conectado al simulador.
* **Control automático:** con esta interfaz, el usuario no tiene control directo sobre el vehículo. Con la ayuda de las diferentes APIs y frameworks disponibles, es posible crear algoritmos para experimentar con vehículos autónomos.
* **Modo Visión Artificial:** esta interfaz está contemplada para usuarios que solamente están interesados en la parte gráfica del entorno. En este modo el simulador elimina el vehículo y su física de comportamiento, y ofrece el uso de APIs de visión artificial para explorar el entorno y experimentar con algoritmos en este campo.

{{ overview.png – arquitectura del simulador }}

Actualmente AirSim ofrece la posibilidad de utilizar dos controladores de vuelo: Simple Flight en modo SITL o PX4 en modo SITL o HITL. En el futuro se pretende compatibilizar otros autopilots como ROSflight [ <http://docs.rosflight.org/en/latest/> ] y Hackflight [ <https://github.com/simondlevy/Hackflight> ]

Simple Flight es un controlador de vuelo desarrollado por Microsoft y entendido como un conjunto de algoritmos empaquetados en una librería de cabeceras C++ sin dependencias. La principal ventaja que ofrece es la posibilidad de utilizar este autopilot en simulación o sobre un hardware real indistintamente, al contrario que la mayoría de controladores, que requieren una complicada configuración para hacerlos funcionar en modo SITL. Actualmente Simple Flight está en desarrollo, y la intención es adaptarlo a diferentes controladores hardware ampliamente utilizados como son las placas Pixhawk V2 [ <https://docs.px4.io/en/flight_controller/pixhawk-2.html> ] y Naze32 [ <https://quadquestions.com/Naze32_rev6_manual_v1.2.pdf> ].

PX4 [ <https://github.com/Microsoft/AirSim/blob/master/docs/px4_setup.md> ] es un controlador de vuelo de código abierto ampliamente utilizado y con soporte para multitud de dispositivos hardware y sensores. AirSim proporciona soporte para integrar este autopilot en modo SITL o HITL. Pero ta difisil

En cuanto a compatibilidad con otras tecnologías, actualmente AirSim utiliza una librería propia [ <https://github.com/Microsoft/AirSim/tree/master/MavLinkCom> ] basada en MAVlink [ <https://mavlink.io/en/> ], un protocolo de comunicación para drones comúnmente utilizado, que permite la integración con PX4. Además también ofrece soporte para integrar el middleware ROS, permitiendo interactuar con los datos de la simulación directamente con este framework.

#### REINFORCEMENT LEARNING

El RL es una rama del ML que se basa en bla bla bla (el tocho de la versión anterior)

Es útil para los vehiculso autónomos porque aprenden solitos a base de probar y probar

Hay un freamwork que es el gym de openai (comentar quien es openai y por que es relevante) que es muy útil para esto y es sencillo de utilizar. Además aporta una capacidad comparativa, ya que se pueden implementar diferentes algoritmos y probarlos de la misma forma, comparando como se comporta cada uno.