



Universidad Politécnica
de Madrid

**Escuela Técnica Superior de
Ingenieros Informáticos**



Grado en Ingeniería Informática

Trabajo Fin de Grado

**Diseño y Desarrollo de un Prototipo de
Simulación para Robots Aéreos basado
en Unreal 5, ROS2 y Gazebo (Informe
Intermedio)**

Autor: Daniel Corrales Falco
Tutor(a): Santiago Tapia Fernandez

Madrid, Abril 2023

Este Trabajo Fin de Grado se ha depositado en la ETSI Informáticos de la Universidad Politécnica de Madrid para su defensa.

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Informática

Título: Diseño y Desarrollo de un Prototipo de Simulación para Robots Aéreos basado en Unreal 5, ROS2 y Gazebo

Madrid, Abril 2023

Autor: Daniel Corrales Falco

Tutor: Santiago Tapia Fernandez

Dpto. Lenguajes de Sistemas Informáticos e Ingeniería del Software
ETSI Informáticos
Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

Los drones son vehículos aéreos no tripulados que se crearon en un inicio con fines militares, sin embargo, hemos sido capaces de adaptarlos a una amplia variedad de funciones tanto en el ámbito militar como civil.

La simulación de drones es un campo relativamente nuevo que, sin embargo, ha experimentado un desarrollo exponencial en los últimos años. Durante este tiempo se han realizado significativos avances en el estudio de la física del movimiento de los drones, un aspecto esencial para su posterior simulación en entornos virtuales, que permiten explorar las posibles aplicaciones de estas versátiles máquinas.

Como objetivo principal este trabajo pretende establecer una base para la creación de un simulador de vuelo de drones en el entorno gráfico de Unreal Engine 5 haciendo uso de la librería de comunicación de robots popularmente conocida como ROS2. Así pues, se ha desarrollado un visualizador de vuelo, un concepto similar al simulador, solo que en este caso, el dron realizará un recorrido preestablecido y mostrará el movimiento en un entorno tridimensional. Otro de los objetivos marcados en este trabajo es dividir en dos módulos principales los objetos más importantes dentro del simulador: el dron y el escenario.

Para cumplir este segundo objetivo se ha realizado un desarrollo dividido en dos partes principales, la primera consiste una fase de prototipado en la que se investigan formas en las que poder estructurar el programa deseado acorde con los requisitos establecidos, y la segunda en la que se desarrolla el visualizador de vuelo.

En la fase de desarrollo mencionada, se realizan 3 pruebas de concepto. En la primera se explora una forma de impartir movimiento a objetos creados dentro del entorno de Unreal. En la segunda se realiza una importación de un modelo tridimensional de un dron con el fin de comprender el funcionamiento de este proceso. Y finalmente una tercera en la que se realiza la implementación de una prueba de concepto de un control diferencial de la velocidad, con el fin de realizar el código necesario para realizar los cálculos característicos de este tipo de controladores.

La fase de desarrollo del visualizador también se divide en 3 partes. En la primera se habla de la creación de un sistema publicador/suscriptor que gestionará el envío de coordenadas entre un ordenador base y el ordenador de a bordo del dron; en este caso, el dron ejecutará las funciones del suscriptor dentro de Unreal, mientras que se ejecutará el publicador en un terminal externo. La segunda fase consiste en hacer que el dron se mueva de acuerdo a las coordenadas recibidas siguiendo el esquema probado en la fase de prototipado. Esta fase de

desarrollo concluye con un ejemplo explicado del proceso de importación de un escenario tridimensional de la ciudad de Londres.

Todo el código fuente aquí descrito y explicado se puede encontrar en la página de github[referencia al git] además de en la propia memoria.

Agradecimientos

Gracias

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Descripción General	1
1.2. Unreal Engine 5	2
1.3. ROS 2	2
2. Desarrollo	3
2.1. Descripción General	3
2.2. Fase de prototipado	3
2.2.1. Pruebas de movimiento de actores:	3
2.2.2. Prueba de importación de mallas:	10
2.2.3. Prueba de implementación de un control diferencial de la velocidad:	11
2.3. Desarrollo final	18
2.3.1. Desarrollo de un sistema pub/sub de ROS2:	18
2.3.2. Desarrollo del peón en UE5:	23
2.3.3. Importación de escenarios a UE5:	29
3. Resultados	31
3.1. Caso de uso	31
4. Análisis de impacto	33
A. Anexos	35
A.1. Overview	35
Bibliografía	37

1. Introducción

1.1. Descripción General

La simulación de drones es un campo relativamente nuevo que, sin embargo, ha experimentado un desarrollo exponencial en los últimos años. Durante este tiempo se han realizado significativos avances en el estudio de la física del movimiento de los drones, un aspecto esencial para su posterior simulación en entornos virtuales, que permiten explorar las posibles aplicaciones de estas versátiles máquinas. Como por ejemplo, cabe destacar su uso en seguridad[2], mantenimiento de campos de placas solares[3] e incluso entretenimiento con enjambres de cientos de estos pequeños robots[1] .

Los drones son vehículos aéreos no tripulados que se crearon en un inicio con fines militares. Sin embargo, con el paso del tiempo se han encontrado una amplia variedad de usos. Por ello, simular el comportamiento de una máquina de este tipo se ha vuelto esencial, tanto para prever que movimientos será capaz de realizar según en que condiciones se encuentre como para poder hacer pruebas sin el equipamiento real, evitando así posibles daños y costes. Con esto en mente, se crean los simuladores, que son entornos virtuales tridimensionales los cuales pueden recrear una gran variedad de situaciones.

En referencia a los simuladores, los últimos avances tecnológicos han potenciado su gran diversificación en multitud de aplicaciones como, aprender a controlar un dron, videojuegos de simulación de carreras de drones[4], etc, básicamente orientadas a fines lúdicos. A nivel más profesional podemos encontrar algunos como AirSim[5], simulador de vuelo creado por Microsoft en el motor de juego de Unreal Engine (UE), o Flightmare[6], un simulador desarrollado para el motor de juego de Unity, más enfocados en aplicaciones industriales. Sin embargo, este tipo de simuladores basan sus físicas en el sistema Gazebo, que presenta ciertas limitaciones operativas en referencia al sistema de colisiones, lo que hace necesario nuevos desarrollos que mejoren estos aspectos.

La mayoría de los simuladores previamente descritos hacen uso de 2 SDK (Software Development Kit) externos, Gazebo y ROS/ROS2. El primero es un motor de físicas que gestiona todo lo relacionado con la física que interacciona con el dron, ya sea su movimiento, velocidad...etc. El segundo, ROS, es un software que se centra en el intercambio de mensajes, más concretamente, se encarga de enviarle las instrucciones al controlador del dron para manejar al mismo. Le envía datos como por ejemplo el modo de vuelo, velocidad y demás. Estos modos de vuelo y datos pueden variar dependiendo de que tipo de dron y sobre que tipo de software este construido.

Así pues, este trabajo tiene como objetivo crear un prototipo de un simulador de vuelo de drones en el entorno gráfico de Unreal Engine 5 realizando una integración con la librería de comunicación de C, ROS2, para así crear un sistema de manejo automático de la trayectoria del dron. La implementación de la gran mayoría del proyecto se realizará en C++. Al mismo tiempo, al crear este simulador en UE5, se pretende resolver algunas de las limitaciones asociadas al uso de Gazebo como motor de físicas, aprovechando la infraestructura proporcionada por UE5.

1.2. Unreal Engine 5

Como se ha mencionado previamente, el simulador se va a desarrollar para el motor de juego Unreal Engine 5 (UE5) desarrollado por la compañía Epic Games. Esta herramienta es muy reciente y cuenta con unos avances gráficos enormes, pudiendo llegar a generar entornos que parecen casi idénticos a la realidad dando la impresión de ser grabaciones del entorno natural y no simulaciones generadas por ordenador. Asimismo cuenta con un sistema de físicas y colisiones integrado, lo que facilitará las tareas de implementación más adelante. Como añadido, este entorno también cuenta con herramientas de Inteligencia Artificial, que se pueden usar para controlar los actores, refiriendonos a los drones, que podamos llegar a tener en la escena.

El principal motivo para realizar el desarrollo en este motor, es su gran proyección de futuro, gracias a la capacidad gráfica que proporciona y la oportunidad de hacer uso de IA para entrenar drones in silico para luego poder aplicarlo en máquinas reales.

1.3. ROS 2

ROS 2, también conocido como *Robot Operating System 2*, es un SDK (*System Development Kit*) open source, el cuál ofrece una plataforma estándar para desarrollar software de cualquier rama de la industria que implique el uso de robots. Este framework se desarrolló en 2007 por el Laboratorio de Inteligencia Artificial de Standford y su desarrollo ha continuado desde entonces.

La versión de este framework con la que estamos trabajando es la versión Humble, la última versión publicada a la fecha de realización de este trabajo. Entrando a describir más específicamente en que consiste este software, ROS se compone de 2 partes básicas, el sistema operativo ros, y ros-pkg, un conjunto de paquetes creados por la comunidad que implementan diversas funcionalidades como puede ser: localización, mapeo simultáneo, planificación, percepción y simulación...etc. Sin embargo, el uso principal de este conjunto de librerías es la transmisión de mensajes entre un controlador y la máquina en cuestión.

En este trabajo, nos planteamos hacer uso de ROS 2 para realizar el control del dron de forma “externa” y así simular un vuelo real.

2. Desarrollo

2.1. Descripción General

Como se mencionó en la introducción, el desarrollo de esta aplicación será principalmente en C++ dado que es el lenguaje en el que se escribe en Unreal Engine 5 y ROS2. La fase de desarrollo se basa en 2 partes principales. Una primera de puesta a punto, o de prototipado, donde se ha experimentado con el motor de juego para descubrir la mejor forma de implementar los requisitos pedidos. Y una segunda fase en la que se desarrolla un visualizador de vuelo.

2.2. Fase de prototipado

Esta ha sido la primera fase del desarrollo del simulador, en la cual se han realizado algunas pruebas para definir la forma más eficaz de implementar un dron y su movimiento en el *sandbox* proporcionado por Unreal. Las pruebas realizadas han sido un total de 3 en relación a los elementos que personalmente he considerado más importantes para crear un simulador: el movimiento, tener una malla, o *mesh*, con la forma del dron y finalmente el control de la velocidad que usaremos para controlar la posición del dron.

2.2.1. Pruebas de movimiento de actores:

Para comenzar, se analizaron las posibilidades de movimiento de actores dentro de Unreal. En este aspecto cabe destacar que Unreal ofrece una serie de clases propias que nos permiten crear elementos que situar en la escena a los cuales añadirles componentes. Estas clases son: actor, peón y personaje, donde cabe decir que las dos últimas heredan de actor, lo cual nos indica que todas las funciones de actor se encuentran disponibles tanto en peón y personaje. Estos elementos son los objetos que podemos añadir a un nivel o escena creado en Unreal, es decir son los elementos que interactuarán con el entorno y el usuario una vez comienza el juego. A pesar de que todas sean clases casi hermanas, las principales diferencias entre ellas son en relación a qué utilidad de Unreal son capaces de acceder. Los actores son los objetos más limitados ya que no ofrecen opción a que los maneje la IA ni permiten tener inputs de teclado. Los peones son el siguiente paso en la cadena, los cuales permiten ser controlados por la IA de Unreal y permiten inputs de teclado, sin embargo no tienen físicas integradas. Finalmente, los personajes son actores creados principalmente para simular personas, estos incluyen todo lo mencionado previamente y además, integran las físicas necesarias para simular un humano.

En cuanto a los componentes que se pueden añadir a estos actores, son elementos que suman funcionalidad a los mismos. Podemos encontrar 2 tipos de componentes: componentes de actor y componentes de escena. El componente de actor no hace nada esencialmente, sin embargo es imprescindible dado que es la base de la jerarquía del resto de componentes. Los componentes de escena son aquellos que podemos usar como apoyo para incluir funcionalidades a los actores.

Ahora, todos estos elementos se integran en el editor de Unreal mediante jerarquías donde predominan las acciones que tome el componente raíz de la misma.

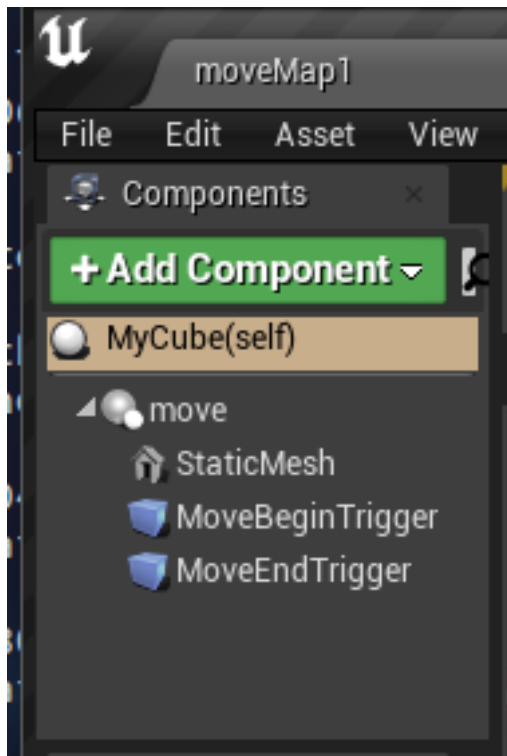


Figura 2.1.: Jerarquías de componentes en un blueprint

Haciendo uso de estos componentes diseñamos un primer prototipo para estudiar el movimiento en los actores y planificar la futura implementación del movimiento de un dron. Tras investigar y revisar tutoriales de diversas fuentes[tutorial de youtube y página de Unreal] decidí crear un componente de escena que se encargara de modificar la localización de una *mesh* (malla). Es decir, crear un componente de escena que fuera el raíz de la jerarquía que moviera un modelo 3D. En este caso, un cubo cuyo movimiento se basa en un vector de posición al que se le pueden ajustar las componentes tanto desde el editor, desde un *blueprint* como desde el propio código fuente.

A continuación abordamos la cuestión de las colisiones, añadiendo la propiedad comunmente conocida como *Hitbox* (caja de colisiones). Para esto simplemente se añade un componente de escena de tipo hitbox, se ajusta al tamaño de la

2.2 Fase de prototipado

mesh elegida y se configura un gráfico de eventos para que cuando el jugador entre en contacto con el objeto este empiece a moverse. Asimismo se incluye otra Hitbox para delimitar un área amplia alrededor de la malla para que en el caso de que detectara que el jugador abandona el área el objeto volviera a su posición original.

A continuación se adjuntan los ficheros “move.h” y “move.cpp” que contienen el código generado para este componente:

Listing 2.1: Header del componente de escena move

```
1 //Daniel Corrales 2023
2 //TFG UPM
3
4 #pragma once
5
6 #include "CoreMinimal.h"
7 #include "Components/SceneComponent.h"
8 #include "move.generated.h"
9
10 UDELEGATE(BlueprintAuthorityOnly)
11 DECLARE_DYNAMIC_MULTICAST_DELEGATE_OneParam(FOnMoveReachEndPointSignature, bool,
12     IsTopEndpoint);
13
14 UCLASS( ClassGroup=(Custom), meta=(BlueprintSpawnableComponent) )
15 class MOVETEST_API Umove : public USceneComponent
16 {
17     GENERATED_BODY()
18
19 public:
20     // Sets default values for this component's properties
21     Umove();
22
23     UFUNCTION(BlueprintCallable)
24     void EnableMovement(bool shouldMove);
25
26     UFUNCTION(BlueprintCallable)
27     void ResetMovement();
28
29     UFUNCTION(BlueprintCallable)
30     void SetMoveDirection(int Direction);
31
32 protected:
33     // Called when the game starts
34     virtual void BeginPlay() override;
35
36 public:
37     // Called every frame
38     virtual void TickComponent(float DeltaTime, ELevelTick TickType,
39         FActorComponentTickFunction* ThisTickFunction) override;
40
41 private:
42     //Offset to move
43     UPROPERTY(EditAnywhere)
44     FVector MoveOffset;
45
46     //Speed
47     UPROPERTY(EditAnywhere)
48     float Speed = 1.0f;
49
50     //Enable the movement of the component
51     UPROPERTY(EditAnywhere)
```

```

53     bool MoveEnable = true;
54
55     //On extreme reached event
56     UPROPERTY(BlueprintAssignable)
57     FOnMoveReachEndPointSignature OnEndpointReached;
58
59     //Computed locations
60     FVector StartRelativeLocation;
61     FVector MoveOffsetNorm;
62     float MaxDistance = 0.0f;
63     float CurDistance = 0.0f;
64     int MoveDirection = 1;
65
66 };

```

Listing 2.2: Código fuente del componente de escena move

```

1 //Daniel Corrales 2023
2 //TFG UPM
3
4
5 #include "move.h"
6
7
8 // Sets default values for this component's properties
9 Umove::Umove()
10 {
11     // Set this component to be initialized when the game starts, and to be
12     // ticked every frame. You can turn these features
13     // off to improve performance if you don't need them.
14     PrimaryComponentTick.bCanEverTick = true;
15     // ...
16 }
17
18 void Umove::EnableMovement(bool shouldMove)
19 {
20     // Assing value and set correct tick enable state
21     MoveEnable = shouldMove;
22     SetComponentTickEnabled(MoveEnable);
23 }
24
25 void Umove::ResetMovement()
26 {
27     //Clear distance and set to origin
28     CurDistance = 0.0f;
29     SetRelativeLocation(StartRelativeLocation);
30 }
31
32 void Umove::SetMoveDirection(int Direction)
33 {
34     MoveDirection = Direction >= 1 ? 1 : -1;
35 }
36
37 // Called when the game starts
38 void Umove::BeginPlay()
39 {
40     Super::BeginPlay();
41
42     // Set start location
43     StartRelativeLocation = this->GetRelativeLocation();
44
45     //Compute normalized movement
46     MoveOffsetNorm = MoveOffset;
47     MoveOffsetNorm.Normalize();
48     MaxDistance = MoveOffset.Size();

```


Posteriormente, tras este primer acercamiento a los actores y componentes, decidí realizar pruebas para intentar implementar un modo de vuelo típico de los drones, el modo *Hover*. Este modo es un modo simple en el que el dron se eleva hasta una altura pre establecida y la mantiene hasta que se le envíe una señal para moverse o volver a su posición original.

Esta prueba es muy similar a la anterior dado que también se basa en un componente de escena, sin embargo, hay algún cambio respecto al funcionamiento. El código para modificar la posición sigue siendo el mismo, solo que en este caso, podemos modificar únicamente la altura máxima que queremos que alcance el dron y la velocidad del mismo. También se implementaron dos funciones, una para comenzar el vuelo y otra para resetearlo y cabe mencionar que esta vez no se ha implementado ningún grafico de eventos dado que la interacción de esta prueba se basa en mandar la señal de activación o de reset.

Se adjunta tanto el header como el código del componente en cuestión “*HoverComponent*”:

Listing 2.3: Header del componente de escena HoverComponent

```

1 //Daniel Corrales 2023
2 //TFG UPM
3
4 #pragma once
5
6 #include "CoreMinimal.h"
7 #include "Components/SceneComponent.h"
8 #include "HoverComponent.generated.h"
9
10
11 UCLASS( ClassGroup=(Custom), meta=(BlueprintSpawnableComponent) )
12 class HOVERTEST_API UHoverComponent : public USceneComponent
13 {
14     GENERATED_BODY()
15
16 public:
17     // Sets default values for this component's properties
18     UHoverComponent();
19
20     //Funcion para poder setear el hover con una tecla
21     void InputHover(UInputComponent* PlayerInputComponent);
22
23     //Funcion para hacer true el hover
24     void SetHover();
25
26     //Funcion Hover
27     void Hover(float DeltaTime);
28
29     //Funcion para volver a la posicion de inicio
30     void ResetPosition();
31
32 protected:
33     // Called when the game starts
34     virtual void BeginPlay() override;
35
36 public:
37     // Called every frame
38     virtual void TickComponent(float DeltaTime, ELevelTick TickType,
39                               FActorComponentTickFunction* ThisTickFunction) override;
40 private:

```


2.2 Fase de prototipado

```
41
42     //Toggle para saber si iniciar el hover o no
43     UPROPERTY(EditAnywhere)
44     bool TriggerHover = true;
45
46     //Toggle para saber si resetear el hover
47     UPROPERTY(EditAnywhere)
48     bool Reset = true;
49
50     //Altura en la que queremos el dron
51     UPROPERTY(EditAnywhere)
52     float Height = 500.0f;
53
54     //Velocidad a la que queremos que se mueva
55     UPROPERTY(EditAnywhere)
56     float Speed = 120.0f;
57
58     //Ubicaciones computadas o a computar
59     FVector StartRelativeLocation;
60     FVector HeightNorm; //Variable para
        normalizar el vector de la posicion final y poder mover el dron de "
        poco en poco"
61     float MaxHeight = 0.0f;
62     float ActualHeight = 0.0f;
63
64 };
```

Listing 2.4: Código fuente del componente de escena HoverComponent

```
1 //Daniel Corrales 2023
2 //TFG UPM
3
4
5 #include "HoverComponent.h"
6
7
8 // Sets default values for this component's properties
9 UHoverComponent::UHoverComponent()
10 {
11     // Set this component to be initialized when the game starts, and to be
        ticked every frame. You can turn these features
12     // off to improve performance if you don't need them.
13     PrimaryComponentTick.bCanEverTick = true;
14
15     // ...
16 }
17
18 void UHoverComponent::InputHover(UInputComponent *PlayerInputComponent)
19 {
20     PlayerInputComponent->BindAction("Hover", IE_Pressed, this, &
        UHoverComponent::SetHover);
21 }
22
23 void UHoverComponent::SetHover()
24 {
25     TriggerHover = true;
26 }
27
28 void UHoverComponent::Hover(float DeltaTime)
29 {
30     //Establecemos la altura actual
31     ActualHeight += DeltaTime * Speed * 1;
32     //Computamos y actualizamos la ubicacion en caso de no haber llegado a la
        altura maxima
33     if(ActualHeight <= MaxHeight || ActualHeight <= 0.0f){
34         SetRelativeLocation(StartRelativeLocation + HeightNorm *

```

```

        ActualHeight);
35     }
36 }
37
38 void UHoverComponent::ResetPosition()
39 {
40     FVector start;
41     start.X = 0;
42     start.Y = 0;
43     start.Z = 40.0f;
44     SetRelativeLocation(start);
45 }
46
47
48 // Called when the game starts
49 void UHoverComponent::BeginPlay()
50 {
51     Super::BeginPlay();
52
53     //Obtenemos la ubicacion inicial del dron
54     StartRelativeLocation = GetRelativeLocation();
55
56
57     //Computamos el movimiento normalizado y la ubicacion final del dron
58     HeightNorm = StartRelativeLocation;
59     HeightNorm.Z += Height;
60     HeightNorm.Normalize();
61     MaxHeight = Height;
62 }
63
64 // Called every frame
65 void UHoverComponent::TickComponent(float DeltaTime, ELevelTick TickType,
66     FActorComponentTickFunction* ThisTickFunction)
67 {
68     Super::TickComponent(DeltaTime, TickType, ThisTickFunction);
69
70     if(TriggerHover && !Reset)
71     {
72         Hover(DeltaTime);
73     }
74
75     if(Reset && !TriggerHover)
76     {
77         ResetPosition();
78     }
79 }

```

2.2.2. Prueba de importación de mallas:

Durante el desarrollo de la prueba anteriormente descrita, se buscaron formas de poder integrar un modelo 3D, conocido como *mesh*, de un cuadricóptero en el editor de Unreal y como hacer que los componentes lo movieran.

Para empezar busqué en internet un modelo 3D gratuito de un cuadricóptero[referencia a la página del modelo 3D del dron]. Una vez descargado faltaba importarlo a la carpeta de contenidos de Unreal Engine para su uso. Cabe mencionar que estos modelos 3D han de ser exportados de sus respectivas aplicaciones en formato .fbx ya que este es el que reconoce Unreal. El proceso de importación es muy simple, consiste en arrastrar el archivo al editor y tras una simple ventana de configuración ya estaría disponible el modelo para su uso. El

2.2 Fase de prototipado

modelo seleccionado fue el siguiente:

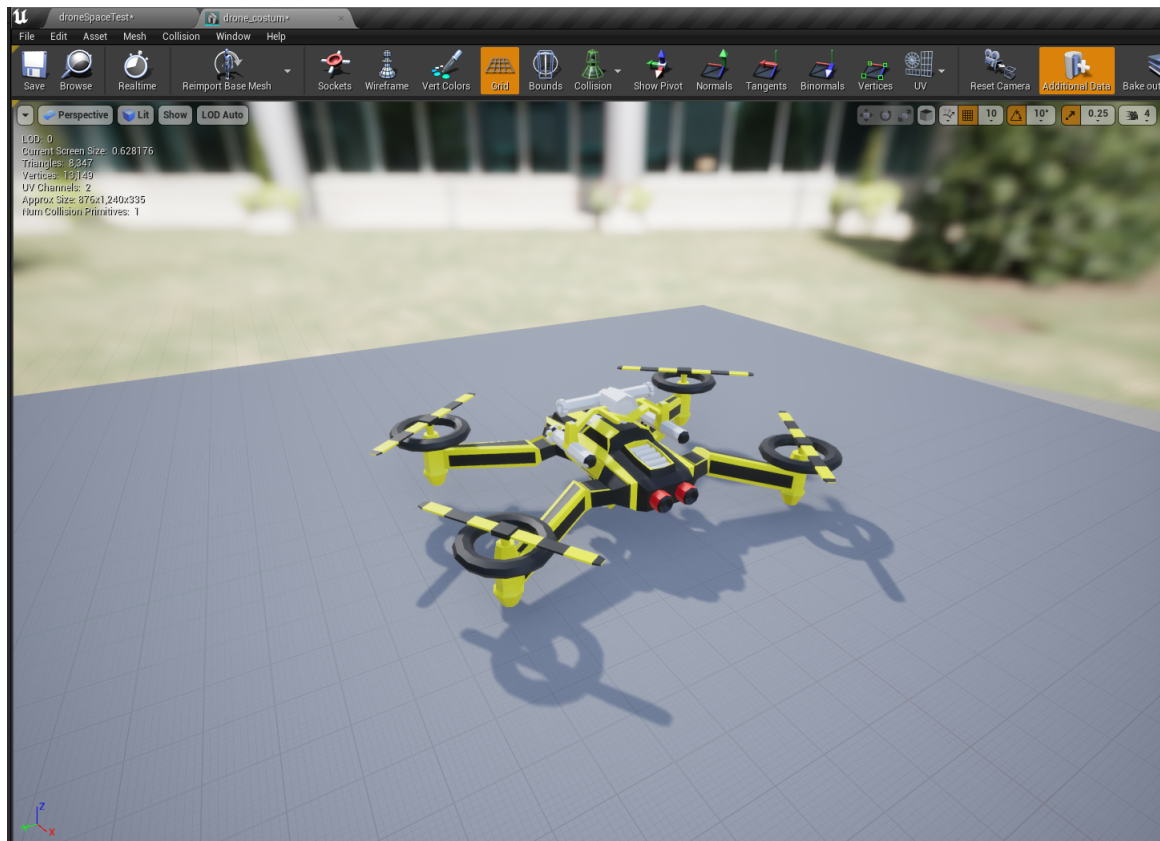


Figura 2.3.: Mesh del dron en el entorno de Unreal

Si se desea, Epic Games también cuenta con una plataforma en la que los usuarios pueden subir sus modelos 3D ya sea de niveles u objetos a una tienda on-line. La desventaja es que la mayoría del contenido es de pago.

Con esto quedaba solventado el problema de poder disponer de un modelo tridimensional de un dron. Un objetivo de futuro será determinar si Unreal genera las colisiones automáticamente al proporcionarle una *hitbox* al modelo o si estas han de ser programadas desde 0.

2.2.3. Prueba de implementación de un control diferencial de la velocidad:

Finalmente y tras las primeras pruebas de movimiento decidimos crear un peón ya que este es el objeto ideal sobre el que crear un dron. Así pues, tras crear una clase en C++ de un peón, implementamos en la misma un control diferencial de la velocidad, un concepto simple basado en 3 vectores, uno para establecer la velocidad deseada, otro para definir la velocidad real del dron y un tercero que se encarga de calcular un delta con la velocidad real actual del dron, la velocidad objetivo y el tiempo transcurrido.

Es relevante considerar que Unreal proporciona una función *tick* dentro de to-

das sus clases, la cual se ejecuta a cada fotograma generado por el motor y ejecuta las instrucciones descritas en la misma. Al mismo tiempo, esta función nos proporciona una variable *DeltaTime* la cual lleva la cuenta del tiempo que pasa dentro del editor durante la ejecución del programa. Esta función será la que más carga computacional tenga al final, dado que es la que utilizaremos para poder generar un movimiento fluido en un futuro.

Otra función generada automáticamente y que merece la pena considerar es *BeginPlay*, esta se ejecuta en el primer instante en que se entra al nivel creado y solo esa vez. Resulta útil para establecer variables iniciales o si se desea almacenar la posición inicial de algún objeto.

Una vez explicados los conceptos anteriores pasamos a la implementación del control en cuestión, una implementación simple y que nos permite configurar una velocidad máxima, una mínima y una constante para ajustar la velocidad en el calculo del delta de la velocidad. La implementación quedaría así:

Listing 2.5: Header del peón DronePawn

```

1 //Daniel Corrales 2023
2 //TFG UPM
3
4 #pragma once
5
6 #include "CoreMinimal.h"
7 #include "GameFramework/Pawn.h"
8 #include "DronePawn.generated.h"
9
10 UCLASS()
11 class ADronePawn : public APawn
12 {
13     GENERATED_BODY()
14
15 public:
16     // Sets default values for this pawn's properties
17     ADronePawn();
18
19     //Functions to modify the speed on each axis
20     void ModifySpeedX();
21     void ModifySpeedNegativeX();
22     void ModifySpeedY();
23     void ModifySpeedNegativeY();
24     void ModifySpeedZ();
25     void ModifySpeedNegativeZ();
26     void CalculateDelta();
27     void CalculateVelocity();
28
29 protected:
30     // Called when the game starts or when spawned
31     virtual void BeginPlay() override;
32
33 public:
34     // Called every frame
35     virtual void Tick(float DeltaTime) override;
36
37     // Called to bind functionality to input
38     virtual void SetupPlayerInputComponent(class UInputComponent*
39         PlayerInputComponent) override;
40 private:
41
42     //Variables for speed control

```

2.2 Fase de prototipado

```
43     UPROPERTY(EditAnywhere)
44     FVector realVelocity;
45
46     UPROPERTY(EditAnywhere)
47     FVector deltaVelocity;
48
49     UPROPERTY(EditAnywhere)
50     FVector targetVelocity;
51
52     UPROPERTY(EditAnywhere)
53     float velocityConstant = 0.5f;
54
55     UPROPERTY(EditAnywhere)
56     float upperLimit = 1000.0f;
57
58     UPROPERTY(EditAnywhere)
59     float lowerLimit = -1000.0f;
60
61
62 };
```

Listing 2.6: Código fuente del peón DronePawn

```
1 //Daniel Corrales 2023
2 //TFG UPM
3
4 #include "DronePawn.h"
5
6 // Sets default values
7 ADronePawn::ADronePawn()
8 {
9     // Set this pawn to call Tick() every frame. You can turn this off to
10    // improve performance if you don't need it.
11    PrimaryActorTick.bCanEverTick = true;
12 }
13
14 // Called every frame
15 void ADronePawn::Tick(float DeltaTime)
16 {
17     Super::Tick(DeltaTime);
18
19     realVelocity = GetActorLocation() * DeltaTime;
20     CalculateDelta();
21     CalculateVelocity(); //CalculateVelocity
22     FVector pos = GetActorLocation();
23     pos += DeltaTime*realVelocity;
24     SetActorLocation(pos);
25 }
26
27 // Called when the game starts or when spawned
28 void ADronePawn::BeginPlay()
29 {
30     Super::BeginPlay();
31
32     targetVelocity = {0.0f, 0.0f, 0.0f};
33 }
34
35 // Called to bind functionality to input
36 void ADronePawn::SetupPlayerInputComponent(UInputComponent* PlayerInputComponent)
37 {
38     Super::SetupPlayerInputComponent(PlayerInputComponent);
39
40     //Setting up bindings to add or subtract from the targetVelocity
41     PlayerInputComponent->BindAction("XPositive", IE_Pressed, this, &ADronePawn
        ::ModifySpeedX);
```

```

42     PlayerInputComponent->BindAction("XNegative", IE_Pressed, this, &ADronePawn
      ::ModifySpeedNegativeX);
43     PlayerInputComponent->BindAction("YPositive", IE_Pressed, this, &ADronePawn
      ::ModifySpeedY);
44     PlayerInputComponent->BindAction("YNegative", IE_Pressed, this, &ADronePawn
      ::ModifySpeedNegativeY);
45     PlayerInputComponent->BindAction("ZPositive", IE_Pressed, this, &ADronePawn
      ::ModifySpeedZ);
46     PlayerInputComponent->BindAction("ZNegative", IE_Pressed, this, &ADronePawn
      ::ModifySpeedNegativeZ);
47 }
48
49
50 //Functions to set the speed with keyboard presses
51 void ADronePawn::ModifySpeedX()
52 {
53     targetVelocity.X += 10.0f;
54 }
55
56 void ADronePawn::ModifySpeedNegativeX()
57 {
58     targetVelocity.X -= 10.0f;
59 }
60
61 void ADronePawn::ModifySpeedY()
62 {
63     targetVelocity.Y += 10.0f;
64 }
65
66 void ADronePawn::ModifySpeedNegativeY()
67 {
68     targetVelocity.Y -= 10.0f;
69 }
70
71 void ADronePawn::ModifySpeedZ()
72 {
73     targetVelocity.Z += 10.0f;
74 }
75
76 void ADronePawn::ModifySpeedNegativeZ()
77 {
78     targetVelocity.Z -= 10.0f;
79 }
80
81 /*
82 Function to calculate the change needed in the velocity in order to
83 get the drone to the target velocity
84 */
85 void ADronePawn::CalculateDelta()
86 {
87     deltaVelocity = (targetVelocity - realVelocity) * velocityConstant;
88 }
89
90 /*
91 Function to add to the realVelocity the values needed
92 to make the drone reach the intended velocity
93 */
94 void ADronePawn::CalculateVelocity()
95 {
96     if(deltaVelocity.X >= upperLimit)
97     {
98         deltaVelocity.X = upperLimit;
99     }
100    if(deltaVelocity.X <= lowerLimit)
101    {
102        deltaVelocity.X = lowerLimit;
103    }

```



```

4
5 #include "CoreMinimal.h"
6 #include "DronePawn.h"
7 #include "GameFramework/GameModeBase.h"
8 #include "droneSimGameModeBase.generated.h"
9
10 /**
11  *
12  */
13 UCLASS()
14 class DRONESIM_API ADroneSimGameModeBase : public AGameModeBase
15 {
16     GENERATED_BODY()
17
18     //Creamos un constructor para que nos cargue el dronePawn como el default
19     //pawn del juego
20 public:
21     ADroneSimGameModeBase();
22 };

```

Listing 2.8: Código fuente del modo de juego droneSimGameModeBase

```

1 // Copyright Epic Games, Inc. All Rights Reserved.
2
3
4 #include "droneSimGameModeBase.h"
5 #include "DronePawn.h"
6 #include "DronePawnCom.h"
7
8
9 ADroneSimGameModeBase::ADroneSimGameModeBase()
10 {
11     //Instanciamos que el default pawn sea el dron
12     static ConstructorHelpers::FClassFinder<APawn> DronePawnComBP(TEXT("/Game/
13     Blueprints/DronePawnComBP"));
14     if(DronePawnComBP.Class != NULL)
15     {
16         DefaultPawnClass = DronePawnComBP.Class;
17     }
18     //DefaultPawnClass = ADronePawnCom::StaticClass();
19 }

```

Una vez realizados todos estos cambios veremos que aparece la siguiente información en el editor al ejecutar y seleccionar el peón:

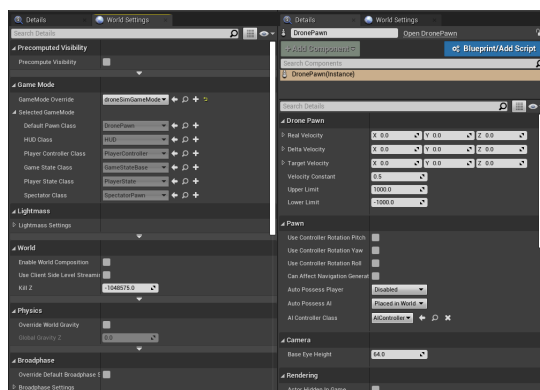


Figura 2.5.: Valores del editor del modo de juego y los vectores asociados al peón

2.2 Fase de prototipado

Ya configurado y testado el correcto funcionamiento de las funciones previamente descritas, el siguiente paso es modificar la posición del propio peón con las velocidades calculadas. Tras esta última prueba concluimos que el movimiento del dron basado en este control diferencial es lo necesario para simular correctamente el movimiento y poder realizar una integración con ROS 2 ya que pretendemos que el movimiento se rija mediante la velocidad que se enviará mediante los servicios de mensajería ofrecidos por este framework.

2.3. Desarrollo final

A la vista de los resultados de las pruebas anteriormente descritas, se realizó un reajuste de los objetivos planteados en un principio. Finalmente, este trabajo ha consistido en la realización de un visualizador de vuelo de un dron en un entorno tridimensional. Esto sentará las bases para futuros trabajos en los cuales se itere sobre los programas aquí desarrollados y completar así el simulador.

El desarrollo del visualizador de vuelo consistirá de tres partes: el desarrollo de un sistema publicador subscritor de ROS2 para poder comunicar el dron dentro del entorno de UE5, el desarrollo del movimiento de un dron en base a las coordenadas publicadas en el publicador y la importación de escenarios tridimensionales en UE5 y sus capacidades.

2.3.1. Desarrollo de un sistema pub/sub de ROS2:

En la realidad, el control remoto de un dron es posible gracias a la biblioteca de C previamente descrita ROS2. Esta permite el intercambio de todo tipo de mensajes entre un publicador y un subscritor, los cuales se pueden desarrollar libremente para cada caso particular. Para este visualizador de vuelo la intención es poder leer coordenadas de la entrada estándar, que el publicador lo convierta en un vector y lo publique para ser recibido posteriormente por el subscritor. Este subscritor va a ser un tanto especial puesto que ha de ser accesible desde un peón dentro de Unreal para poder moverlo más adelante.

Este último detalle mencionado es muy importante puesto que, para conseguirlo, habremos de hacer del subscritor una librería que se pueda abrir en Unreal y permita usar sus funciones para recibir los mensajes del publicador. Esta tarea fue ampliamente simplificada gracias al trabajo de Juan Pares Guillen[link de su github] y Santiago Tapia, quienes desarrollaron un subscritor para su trabajo el cual he podido importar a mi proyecto y hacer uso del mismo puesto que la funcionalidad que buscaba implementar es similar. Este subscritor cuenta con 3 funciones, `start()`, `update()` y `end()`. Cada una de estas funciones tiene un propósito y son las que más adelante importaremos en el peón de UE5:

- `start()`: Esta función se encarga de inicializar el subscritor y subscribirse al canal (*topic*) creado por el publicador. Asimismo configurará su función de *callback* a `update()`, encargada de recibir los mensajes.
- `update()`: Esta es la función de *callback*, la cual recibirá los mensajes que se vayan publicando. Esta función será ejecutada según el intervalo de tiempo puesto en su inicialización dentro de la función `start()`.
- `end()`: Se encarga de destruir el subscritor y liberar la memoria ocupada.

Esta clase hace uso del tipo de mensaje `Vector3`, tipo propio de ROS2 el cual necesita que se incluya en la clase y posteriormente ha de indicarse en el CMAKE para su correcta compilación.

A continuación, en lo relacionado al publicador de ROS2 se toma como base el

2.3 Desarrollo final

publicador de ejemplo que ROS2 propone en sus tutoriales[ros2 tutoriales]. La base es la misma, solo que se hace uso de un tipo de mensaje diferente, el Vector3, igual que en el subscriber. Una vez hecho esto, el otro cambio importante a realizar es la lectura de los datos, para lo cual se hace uso de la lectura por entrada estandar. Este método es simple, solo que hemos de tener en cuenta que hay que transferirle los datos en la línea de ejecución. En este caso se hace mediante el comando “cat” y el uso de una tubería para pasar las coordenadas redactadas en un fichero “coordinates.txt” que se encuentra en la carpeta de ejecución del publicador.

Con esto tenemos creados los ficheros fuente tanto del publicador como del subscriber:

Listing 2.9: Header de subscriber ueSub

```
1 #ifndef __cplusplus
2 extern "C"
3 {
4 #endif
5
6     struct vector3_transfer
7     {
8         float x, y, z;
9     };
10    typedef struct vector3_transfer vector3_transfer;
11
12    void start();
13
14    int update(vector3_transfer *);
15
16    int dummy(int num);
17
18    void end();
19 #ifndef __cplusplus
20 }
21 #endif
```

Listing 2.10: Código fuente del subscriber ueSub

```
1 // Copyright 2016 Open Source Robotics Foundation, Inc.
2 //
3 // Licensed under the Apache License, Version 2.0 (the "License");
4 // you may not use this file except in compliance with the License.
5 // You may obtain a copy of the License at
6 //
7 //     http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0
8 //
9 // Unless required by applicable law or agreed to in writing, software
10 // distributed under the License is distributed on an "AS IS" BASIS,
11 // WITHOUT WARRANTIES OR CONDITIONS OF ANY KIND, either express or implied.
12 // See the License for the specific language governing permissions and
13 // limitations under the License.
14
15 #include <memory>
16 #include <deque>
17 #include <unistd.h>
18
19 #include "subscriber_member_function.h"
20
21 #include "rclcpp/rclcpp.hpp"
22 #include "geometry_msgs/msg/vector3.hpp"
```

```

23
24 using std::placeholders::_1;
25
26 class MinimalSubscriber : public rclcpp::Node
27 {
28 public:
29     MinimalSubscriber()
30         : Node("minimal_subscriber")
31     {
32         subscription_ = this->create_subscription<geometry_msgs::msg::Vector3>(
33             "topic", 10, std::bind(&MinimalSubscriber::topic_callback, this, _1));
34     }
35     std::deque<geometry_msgs::msg::Vector3::SharedPtr> deque;
36
37 private:
38     void topic_callback(const geometry_msgs::msg::Vector3::SharedPtr msg) // const
39     {
40         RCLCPP_INFO(this->get_logger(), "I heard: '%f' '%f' '%f'", msg->x, msg->y, msg
41             ->z);
42         deque.push_back(msg);
43     }
44     rclcpp::Subscription<geometry_msgs::msg::Vector3>::SharedPtr subscription_;
45 };
46 typedef rclcpp::executors::SingleThreadedExecutor Executor;
47
48 std::shared_ptr<Executor> executor;
49 //The node as a global variable
50 std::shared_ptr<MinimalSubscriber> node;
51
52 void start()
53 {
54     int argc = 1;
55     char name[] = "subscriber";
56     char *argv[] = {name};
57
58     rclcpp::init(argc, argv);
59     executor = std::make_shared<Executor>();
60     node = std::make_shared<MinimalSubscriber>();
61     executor->add_node(node);
62 }
63 // PILA
64 // OPCION 1: devolver void* en start, recibirlo en el update y hacer cast a
65     MinimalSubscriber
66 // OPCION 2: cola como atributo general, al principio del fichero
67
68 int update(vector3_transfer *ptr)
69 {
70     executor->spin_some();
71     if (!node->deque.empty())
72     {
73         auto msg = node->deque.front();
74         node->deque.pop_front();
75         ptr->x = msg->x;
76         ptr->y = msg->y;
77         ptr->z = msg->z;
78         return 1;
79     }
80     return 0;
81 }
82 void end()
83 {
84     node.reset();
85     rclcpp::shutdown();
86 }
87

```

2.3 Desarrollo final

```
88 int dummy(int num)
89 {
90     return num;
91 }
92
93 int main(int argc, char *argv[])
94 {
95     start();
96     vector3_transfer data;
97     for (int i = 0; i < 5; i++)
98     {
99         update(&data);
100         sleep(1);
101     }
102     end();
103     return 0;
104 }
```

Listing 2.11: Código fuente del publicador CoordinatesPublisher

```
1 #include <chrono>
2 #include <memory>
3
4
5 #include "rclcpp/rclcpp.hpp"
6 #include "geometry_msgs/msg/vector3.hpp"
7
8 using namespace std::chrono_literals;
9
10 class CoordinatesPublisher : public rclcpp::Node
11 {
12
13 public:
14
15     CoordinatesPublisher()
16     : Node("coordinates_publisher")
17     {
18         publisher_ = this->create_publisher<geometry_msgs::msg::Vector3>("
19             topic", 10);
20         timer_ = this->create_wall_timer(
21             500ms, std::bind(&CoordinatesPublisher::timer_callback,
22                 this));
23     }
24
25 private:
26
27     void timer_callback()
28     {
29         auto message = geometry_msgs::msg::Vector3();
30
31         while(3 == scanf("%lf %lf %lf", &(message.x), &(message.y), &(
32             message.z))){//loop to read coordinates from file and send them
33             as a message
34             RCLCPP_INFO(this->get_logger(), "Publishing: '%f' '%f' '%f
35                 '", message.x, message.y, message.z);
36             publisher_->publish(message);
37             sleep(5);
38         }
39     }
40
41     rclcpp::TimerBase::SharedPtr timer_;
42     rclcpp::Publisher<geometry_msgs::msg::Vector3>::SharedPtr publisher_;
```

```

42
43 int main(int argc, char* argv[])
44 {
45
46     rclcpp::init(argc, argv);
47     rclcpp::spin(std::make_shared<CoordinatesPublisher>());
48     rclcpp::shutdown();
49     return 0;
50 }

```

Ahora necesitamos poder compilarlos, para lo cual seguimos las indicaciones de la guía oficial de ROS2[guía de ROS2]. Puesto que nuestros programas son diferentes a los creados en el tutorial hemos de realizar modificaciones en el CMAKE para conseguir compilar con éxito. Dado que usamos un tipo de mensajes diferente al indicado en la guía, tenemos que indicar que se busque el paquete donde se encuentra el tipo de mensaje Vector3, el paquete “geometry_msgs”, además de tener que usarlo también en los “add_executable” del publicador y del suscriptor. Finalmente es necesario añadir también un “add_library” para crear así la librería del suscriptor que queremos utilizar en Unreal.

Listing 2.12: CMAKE del proyecto

```

1 cmake_minimum_required(VERSION 3.8)
2 project(droneCom)
3
4 if(CMAKE_COMPILER_IS_GNUCXX OR CMAKE_CXX_COMPILER_ID MATCHES "Clang")
5     add_compile_options(-Wall -Wextra -Wpedantic)
6 endif()
7
8 # find dependencies
9 find_package(ament_cmake REQUIRED)
10 # uncomment the following section in order to fill in
11 # further dependencies manually.
12 # find_package(<dependency> REQUIRED)
13
14 find_package(ament_cmake REQUIRED)
15 find_package(rclcpp REQUIRED)
16 find_package(std_msgs REQUIRED)
17 find_package(geometry_msgs REQUIRED)
18
19 add_executable(talker src/CoordinatesPublisher.cpp)
20 ament_target_dependencies(talker rclcpp geometry_msgs)
21
22 add_executable(listener src/subscriber_member_function.cpp)
23 ament_target_dependencies(listener rclcpp geometry_msgs)
24
25 install(TARGETS
26     talker
27     listener
28     DESTINATION lib/${PROJECT_NAME})
29
30 add_library(listenerlib SHARED src/subscriber_member_function.cpp)
31 ament_target_dependencies(listenerlib rclcpp geometry_msgs)
32
33 if(BUILD_TESTING)
34     find_package(ament_lint_auto REQUIRED)
35     # the following line skips the linter which checks for copyrights
36     # comment the line when a copyright and license is added to all source files
37     set(ament_cmake_copyright_FOUND TRUE)
38     # the following line skips cpplint (only works in a git repo)
39     # comment the line when this package is in a git repo and when
40     # a copyright and license is added to all source files

```

2.3 Desarrollo final

```
41 set(ament_cmake_cpplint_FOUND TRUE)
42 ament_lint_auto_find_test_dependencies()
43 endif()
44
45 ament_package()
```

Tras estos cambios al CMAKE, podemos compilar el proyecto con la herramienta *colcon* de ROS2 creando así la librería del subscriber y consecuentemente un ejecutable del publicador.

El siguiente paso es gestionar el uso de la librería dentro de un peón en Unreal.

2.3.2. Desarrollo del peón en UE5:

Para este desarrollo final, decidimos hacer uso de un peón, por las razones mencionadas en la parte de prototipado. Este peón cumplirá dos funciones clave para este visualizador, la primera y más obvia gestionará la recepción de coordenadas mediante el uso de la librería de ROS2 previamente creada, la segunda función será mover el dron en el entorno de Unreal acorde con las coordenadas recibidas desde el publicador.

Para conformar este peón haremos uso de una variedad de funciones, algunas previamente mencionadas pues son las generadas automáticamente por Unreal, otras auxiliares creadas por nosotros y otras importadas desde la librería del subscriber. Como en la fase de prototipado, nos encontramos una vez más con las funciones `BeginPlay()`, `Tick()`, el constructor del propio peón, en este caso `ADronePawnCom()` y además aparecerá una función propia de Unreal no mencionada previamente, el `EndPlay()` solo que esta ha de ser sobrescrita y normalmente no se genera de forma automática en el fichero del peón. En cada una de estas podremos encontrar otras 3 funciones auxiliares las cuales implementan las funcionalidades deseadas. Al mismo tiempo se hará uso de las funciones importadas en 3 de las 4 funciones mencionadas anteriormente.

En la función `BeginPlay()`, veremos la función `dllImport()`, la cual se encarga de gestionar la apertura de la librería dinámica que contiene las funciones necesarias para hacer uso del subscriber. Dentro de esta función veremos un “dlopen” con su respectivo control de fallos y la importación de las funciones de la librería a este fichero mediante el uso de las funciones “dlsym”. Como se puede observar[insertar referencia] estamos importando estas funciones como punteros a función puesto que esta es la única manera de poder hacer uso de las mismas. Para que este método sea operativo es necesario definir en el header del archivo[insertar referencia] estas funciones mediante un typedef y crear aquí las variables en las que almacenaremos posteriormente estos punteros.

En el constructor podremos encontrar el método `setComponents()` que como indica su nombre genera los componentes que irán colgados de este peón y podremos ver más adelante en la jerarquía dentro de su blueprint. Los componentes aquí generados son una cámara para poder ver la malla del dron, un `SpringArmComponent`, el cual nos ayudará a configurar la posición relativa de la cámara

respecto del dron y finalmente un `RootComponent`, del que colgar el resto de los componentes, y un `MeshComponent` para poder darle un cuerpo al dron.

A continuación, en la función de `Tick()`, veremos que se realiza una llamada a la función `move(FVector pos1)`, la cual precisa de un argumento de tipo vector para funcionar. Esta realizará la función de mover el dron en el entorno seleccionado siguiendo el modelo de movimiento que vimos en la fase de prototipado en la página 6, solo que simplificado.

Finalmente, la función `EndPlay()`. Esta función es propia de todo actor de Unreal, y por herencia lo es de las clases `peón` y `character`. Esta se ejecuta al quitar, el peón del nivel caso que se da también al terminar el nivel o juego. De normal esta función únicamente hace un log en la consola indicando que el peón ha sido eliminado del nivel y la razón. Sin embargo, esta función se puede sobrescribir, lo que quiere decir que como `BeginPlay()`, podemos crear una versión personalizada que será la que se ejecute. En nuestro caso la reescribimos y hacemos que ejecute una función de la librería y finalmente libere la memoria ocupada por la misma. Esto es necesario puesto que si no liberásemos la memoria cerrando la librería esto provocaría que el programa fallase si se trata de ejecutar 2 veces seguidas.

Esto concluye la estructura general del dron. Ahora es importante mencionar el uso de la biblioteca dinámica. Las 3 funciones de las que se compone y las cuales utilizamos en este peón son: `start()`, `update(vector3_transfer)` y `end()`. La funcionalidad de cada una se puede ver en en la página 19. Sin embargo aquí vemos que la función `update` lleva un argumento, este es un argumento de retorno en el cual se almacenará el mensaje recibido para luego poder utilizar el vector en el movimiento del peón. Las llamadas a estas funciones se encuentran en lugares específicos dada la naturaleza de la ejecución en Unreal.

Vimos previamente en la fase de prototipado que las funciones se ejecutan de forma específica. El constructor y `BeginPlay()` se ejecutan un única vez al comenzar la ejecución general del nivel que contenga el peón, es por esto que aquí se realizan las llamadas a las funciones `setComponents()` y `dllImport()` para realizar la configuración inicial del dron. Además de esas dos funciones aquí ya realizamos la primera llamada a una de las funciones de la librería, la función `start()` para inicializar el subscriptor. Prestando atención a la función de `Tick()`, esta se ejecuta en cada fotograma procesado por Unreal, por lo que en esta realizamos la segunda llamada funciones de librería, en este caso a `update()`, para recibir los mensajes con los vectores de posición a donde deseamos mover el dron. Es por este comportamiento de "bucle" por lo que aquí también llamamos a la función `move()`. Finalmente la función `EndPlay()` se ejecuta una sola vez al terminar la ejecución y aquí realizamos la tercera y última llamada a la librería con la función `end()` que se encarga de cerrar el subscriptor.

Con este desarrollo obtenemos el código fuente del peón "DronePawnCom"

Listing 2.13: Header de DronePawnCom.h

```
1 // Fill out your copyright notice in the Description page of Project Settings.
2
```


2.3 Desarrollo final

```
3 #pragma once
4
5 #include "CoreMinimal.h"
6 #include "GameFramework/Pawn.h"
7 #include "DronePawnCom.generated.h"
8
9
10 UCLASS()
11 class ADronePawnCom : public APawn
12 {
13     GENERATED_BODY()
14
15 public:
16     // Constructor
17     ADronePawnCom();
18
19 protected:
20     // Called when the game starts or when spawned
21     virtual void BeginPlay() override;
22
23     //Called when the game is finished, modified to execute the end() function
24     //of the
25     //ROS library to shut down the listener. After that, the library is closed
26     virtual void EndPlay(const EEndPlayReason::Type EndPlayReason) override;
27
28     //Sets up components, called inside the constructor
29     void setComponents();
30
31     //Function to open the dynamic library and import its functions called in
32     //the BeginPlay
33     void dllImport();
34
35     //Function that moves the drone called in the Tick() function
36     void move(FVector pos1);
37
38 public:
39     // Called every frame
40     virtual void Tick(float DeltaTime) override;
41
42     // Called to bind functionality to input
43     virtual void SetupPlayerInputComponent(class UInputComponent*
44         PlayerInputComponent) override;
45
46 private:
47     //Section 1: Here i'll define all the variables needed inside the pawn built to
48     //test the communication
49     void *handle;
50
51     //Start function, sets the listener up
52     typedef void (*fun_start)();
53     fun_start start;
54
55     //struct which holds the information needed in the update function
56     struct vector3_transfer
57     {
58         float x, y, z;
59     };
60     typedef struct vector3_transfer vector3_transfer;
61
62     //Update function will be called in the tick, used for recieving info from
63     //talker/publisher
64     typedef int (*fun_update)(vector3_transfer *);
65     fun_update update;
66
67     //End function for closing the library
68     typedef void (*fun_end)();
69     fun_end end;
```

```

65
66
67
68 //Section 2, here i'll declare the variables needed for moving the drone
69
70     //Arm component to have a static camera attached to it
71     UPROPERTY(VisibleAnywhere,BlueprintReadOnly,Category=Cam,meta=(
72         AllowPrivateAccess = "true"))
73     class USpringArmComponent* arm;
74
75     //To attach to the arm component and visualize the mesh
76     UPROPERTY(VisibleAnywhere,BlueprintReadOnly,Category=Cam,meta=(
77         AllowPrivateAccess = "true"))
78     class UCameraComponent* camera;
79
80     //Drone Mesh
81     UPROPERTY(EditAnywhere)
82     UStaticMeshComponent* MeshComponent;
83
84     //Starting location of the drone on each frame
85     FVector StartRelLocation;
86
87     //Normalized vector to set the movement each frame (for a fluid moving
88     //animation)
89     FVector MoveOffsetNorm;
90
91     //Coordinates wich will be recieved by the subscriptor and managed by the
92     //update function
93     vector3_transfer coordinates;
94
95     //Vector used to update the position of the pawn
96     UPROPERTY(EditAnywhere)
97     FVector pos;
98
99 };

```

Listing 2.14: Código fuente de DronePawnCom

```

1 // Fill out your copyright notice in the Description page of Project Settings.
2
3
4 #include "DronePawnCom.h"
5 #include <stdio.h>
6 #include <stdlib.h>
7 #include <dlfcn.h>
8
9 #include "Camera/CameraComponent.h"
10 #include "GameFramework/SpringArmComponent.h"
11 // Sets default values
12 ADronePawnCom::ADronePawnCom()
13 {
14     // Set this pawn to call Tick() every frame. You can turn this off to
15     // improve performance if you don't need it.
16     PrimaryActorTick.bCanEverTick = true;
17     //We call the setComponents function to set up all the pawns components
18     setComponents();
19 }
20 // Called when the game starts or when spawned
21 void ADronePawnCom::BeginPlay()
22 {
23     Super::BeginPlay();
24     //We call the dlImport to open the ros2 library
25     dlImport();
26     //Here since unreal only executes this begin play once and at the start of the

```

2.3 Desarrollo final

```

    level
28     //we call the start function which sets up the listener in order to recieve the
29     //coordinates from the ROS2 publisher/talker
30     start();
31
32 }
33
34 // Called every frame
35 void ADronePawnCom::Tick(float DeltaTime)
36 {
37     Super::Tick(DeltaTime);
38     //In here, we call the update function which will be constantly looking at the
    queue
39     //of published messages from the publisher in order to recieve the coordiantes
40     update(&coordinates);
41     //We store the vector mevement
42     pos.X=coordinates.x;
43     pos.Y=coordinates.y;
44     pos.Z=coordinates.z;
45     //And with the postition vector created, we call the move function
46     move(pos);
47
48 }
49
50 // Called to bind functionality to input
51 void ADronePawnCom::SetupPlayerInputComponent(UInputComponent* PlayerInputComponent
    )
52 {
53     Super::SetupPlayerInputComponent(PlayerInputComponent);
54
55 }
56
57 ///////////////AUXILIARY FUNCTIONS////////////////////
58
59 void ADronePawnCom::EndPlay(const EEndPlayReason::Type EndPlayReason)
60 {
61     Super::EndPlay(EndPlayReason);
62     UE_LOG(LogTemp, Warning, TEXT("Entrando en el end play"));
63     end();
64     dlclose(handle);
65     UE_LOG(LogTemp, Warning, TEXT("EndPlay completado"));
66 }
67
68 void ADronePawnCom::setComponents()
69 {
70     //setup rootcomponent
71     RootComponent = CreateDefaultSubobject<USceneComponent>(TEXT("RootComponent"));
72     //Setup StaticMeshComponent
73     MeshComponent = CreateDefaultSubobject<UStaticMeshComponent>(TEXT("DronMesh"));
74     MeshComponent->SetupAttachment(RootComponent);
75
76
77     //section for configuring the spring arm and camera attached to it
78     arm = CreateDefaultSubobject<USpringArmComponent>(TEXT("SpringArm"));
79     arm->SetupAttachment(RootComponent);
80
81     camera = CreateDefaultSubobject<UCameraComponent>(TEXT("CameraComponent"));
82     camera->SetupAttachment(arm,USpringArmComponent::SocketName);
83 }
84
85 void ADronePawnCom::dlImport()
86 {
87     //Here i'll set the call to the dinamic library created for the ros2
    communication
88     //And all the functions neccesary in order to set up the functioning
    listener
89     handle = dlopen("/home/daniel/ros2_ws/build/droneCom/liblistenerlib.so",
```

```

        RTLD_LAZY);
90
91     if (!handle)
92     {
93         /* fail to load the library */
94         fprintf(stderr, "Error: %s\n", dlerror());
95         return;
96     }
97
98     //Once the library is open, we take the finctions we want to use, in this case,
        start, update and end
99
100    void* temp1 = dlsym(handle, "start");
101    start = (fun_start)temp1;
102
103    if (!start)
104    {
105        /* no such symbol */
106        fprintf(stderr, "Error: %s\n", dlerror());
107        dlclose(handle);
108        UE_LOG(LogTemp, Error, TEXT("Error a la hora de cargar start"));
109        return;
110    }else{
111        UE_LOG(LogTemp, Warning, TEXT("Start importado"));
112    }
113
114    void* temp2 = dlsym(handle, "update");
115    update = (fun_update)temp2;
116
117    if (!update)
118    {
119        /* no such symbol */
120        fprintf(stderr, "Error: %s\n", dlerror());
121        dlclose(handle);
122        UE_LOG(LogTemp, Error, TEXT("Error a la hora de cargar update"));
123        return;
124    }else{
125        UE_LOG(LogTemp, Warning, TEXT("Update importado"));
126    }
127
128    void* temp3 = dlsym(handle, "end");
129    end = (fun_end)temp3;
130
131    if (!end)
132    {
133        /* no such symbol */
134        fprintf(stderr, "Error: %s\n", dlerror());
135        dlclose(handle);
136        UE_LOG(LogTemp, Error, TEXT("Error a la hora de cargar end"));
137        return;
138    }else{
139        UE_LOG(LogTemp, Warning, TEXT("End importado"));
140    }
141 }
142
143 void ADronePawnCom::move(FVector pos1)
144 {
145     StartRelLocation = GetActorLocation();
146     //We compute the normalized movement
147     MoveOffsetNorm = pos1;
148     MoveOffsetNorm.Normalize();
149     SetActorLocation(StartRelLocation + MoveOffsetNorm);
150 }

```

2.3.3. Importación de escenarios a UE5:

Uno de los objetivos de este trabajo es mantener una modularidad entre el entorno y el dron en si. Esto es bastante sencillo en Unreal Engine tanto para escenarios importados de internet como para los creados específicamente. El proceso solo requiere de ficheros en formato .fbx y normalmente basta con arrastrar dicho fichero al cajón de contenidos del editor de Unreal y esto provocará que aparezca una ventana de configuración. Esta ventana permite modificar varios campos de las mallas a importar. De normal no es necesario modificar nada y basta con importar el .fbx, guardar los contenidos importados, seleccionarlos y arrastrarlos al nivel en el que estemos trabajando.

Este método sirve cuando tenemos escenarios con pocas o ninguna textura o no requieran de cambios, es decir sean mallas simples. Para este trabajo he decidido hacer uso de un mapa de Londres[referencia a la página del modelo]. Este modelo cuenta con dos versiones, una texturizada y otra no.

La no texturizada sigue el método de importación descrito al principio, se selecciona el fichero, se arrastra, se guardan las mallas y ya está listo para ser añadido al nivel, generando el siguiente resultado

(fotografías del entorno)

Sin embargo, la texturizada necesita realizar algunas modificaciones. En el caso de este modelo 3D, de acuerdo a la guía proporcionada por su creador[referencia a la guía]. En esta se hablan de los pasos a seguir para la correcta importación del mapa con sus texturas.

Lo primero es crear un material base en Unreal, para poder realizar configuraciones específicas de algunas de las mallas que vamos a importar, como por ejemplo el agua, a la que le daremos reflejos más adelante. Este material no tiene ningún requerimiento específico. Ahora, hemos de modificar este material y en su gráfico crear un "Texture Sample" dándole un nombre propio, convertirlo en un parámetro y configurar su textura base a cualquier textura.

(insertar foto de la configuración del material)

Esta versión texturizada del mapa de Londres, ha sido distribuida en 4 carpetas dado su gran tamaño. Estas 4 representan cada una una zona de Londres, noreste, noroeste, sureste, suroeste, contando en su totalidad con casi 900 mallas. Las modificaciones que hemos de realizar en la ventana de importación se centran en su posición, pues hemos de modificar la x a $x = -53199840$ y la y a $y = 18100590$. Al mismo tiempo, hemos de hacer uso del material creado previamente; en la zona de MATERIAL hemos de seleccionar la opción de "crear nuevos materiales instanciados" en el campo "Material Import..." y seleccionar nuestro material con su textura base, la que creamos en su grafico (en mi caso BaseColor). Puesto que esta configuración es la misma para todos los ficheros basta con configurarlo una vez y esta se mantiene entre importaciones. Tras esto podemos importar todos los .fbx. Una vez tenemos todo en nuestro editor podemos seleccionarlos y arrastrarlos a la ventana del nivel para ver la ciudad de Londres a escala.

Una vez tenemos todas las mallas puestas en el mapa podemos añadir detalles al agua del río Támesis. Para esto hemos de modificar ese material base que creamos al principio. Hemos de añadirle un parámetro a su campo de "Roughness".

(foto del grafico)

Una vez añadido y compilado, podemos entrar en las mallas del agua y cambiar este valor para darle reflejos al agua y tener una textura más detallada.

(foto del agua antes y después)

El proceso de importado de escenarios puede variar según el creador del escenario y cómo se configuren los ficheros a importar. Asimismo, el nivel de detalle de las mallas y texturas puede mejorar mucho dependiendo del creador de las mismas y de la potencia de la máquina que las use. En este campo Unreal Engine 5 tiene un gran potencial pudiendo llegar a tener una calidad fotorrealística como puede ser ejemplo el juego UNRECORD[referencia al juego] que se encuentra en desarrollo por el estudio de videojuegos *Drama*[Referencia al estudio], que cuenta con visuales hiperrealistas, que asemejan a una grabación real.

3. Resultados

Con este desarrollo hemos conseguido crear un sistema que permite visualizar el movimiento de un dron en un entorno tridimensional de acuerdo a las coordenadas proporcionadas.

En este caso la modularidad es completa, lo que tiene la ventaja de que todos los elementos se pueden configurar de manera independiente, ajustandose de manera flexible a los diseños del usuario.

Para ilustrar la operatividad de la herramienta desarrollada se describe un caso de uso de los elementos creados.

3.1. Caso de uso

Como resultado del desarrollo final de este trabajo se ha producido una considerable cantidad de código: el código fuente de un peón de Unreal Engine y un publicador y subscriber de ROS2 así como una librería del subscriber. Dado que uno de los objetivos de este proyecto era conseguir una modularidad entre el objeto del dron (con su gestión del paso de mensajes y movimiento en el entorno) y el entorno, el dron se proporciona mediante su código fuente y requiere de una configuración específica de los ficheros fuente para poder hacer uso del mismo en un escenario. Esto nos permite poder mover el dron de proyecto en proyecto sin limitaciones, proporcionando total libertad para elegir el escenario.

La forma en la que un usuario debería de configurar el entorno para ejecutar el visualizador es la siguiente: lo primero es crear una clase de C++ de tipo peón en el proyecto de Unreal y darle el nombre que se desee (el nombre de la clase proporcionada es DronePawnCom, por lo que si el usuario elige uno distinto habrá de cambiarlo en su clase). Una vez esté creado ha de copiar el código que contienen los ficheros del dron (DronePawnCom.cpp y DronePawnCom.h) en sus respectivos ficheros dentro de su proyecto. Con esto ya tiene el código fuente del dron importado. El motivo de realizarlo de esta manera y no proporcionar lo comunmente conocido dentro de Unreal como “Blueprint” es para tener acceso directo al código fuente del peón. Ahora solo necesita crear un blueprint de esa clase de C++, para esto basta con hacer click derecho en la clase de C++ dentro de su carpeta de contenidos del editor y verá la opción de “create blueprint”. Finalmente necesita hacer un ajuste en el modo de juego, esta es una clase la cual contiene ajustes del “mundo” o nivel de Unreal que va a ejecutar. Aquí ha de establecer como peón predeterminado el blueprint que ha creado previamente, para ello ha de crear un constructor en el header y dentro del fichero

fuelle (el .cpp) habrá de crear la función y añadir la siguiente línea de código “DefaultPawnClass = nombreDeSuBlueprint.Class;”.

(foto de la línea del gamemodeBase)

Tras esto, si también tiene configurado el paquete de ROS2 con el publicador y la librería del subscriber (como se mencionaba en la página en la página 19), solo tiene que modificar en la clase del peón el path donde se encuentre la librería en la función dlopen() para configurar correctamente la apertura de la biblioteca dinámica.

(foto de la línea del dlopen)

Una vez configurado todo solo falta establecer la malla del dron. Para esto basta con entrar en el editor del blueprint creado previamente, seleccionar el componente de mesh en la jerarquía y seleccionar la malla que hayamos importado al proyecto que deseemos utilizar.

(foto de la configuración de la malla)

Si todo esto se realizó correctamente, solo falta compilar y el proyecto ya estaría listo para ejecutarse. La ejecución es muy simple, nada más tener todo compilado, basta con iniciar el nivel; inicialmente el dron no se moverá, pues está esperando a recibir mensajes del publicador. Para poder moverlo, es necesario ejecutar el publicador transfiriéndole por la entrada estándar los contenidos de un fichero que contenga coordenadas. El formato de estas ha de ser de 3 enteros separados por espacios y un salto de línea entre cada set de coordenadas. Como ejemplo está el fichero “coordinates.txt” que hace un recorrido simple.

Listing 3.1: Fichero de coordenadas de ejemplo

```
1 0 0 100
2 100 0 0
3 0 100 0
4 0 -100 0
5 -100 0 0
6 0 0 -100
7 0 0 0
```

Con esto se obtiene modularidad de la que se hablaba anteriormente, pues el dron y el escenario no comparten nada, siendo totalmente independientes uno del otro.

4. Análisis de impacto

Las aplicaciones basadas en el avance de la tecnología y, sobre todo, los avances en el campo de los drones van a tener un impacto muy importante en la sociedad entre otras, facilitar el mantenimiento en plantas industriales, como las energéticas, su uso en cartografía, servicio postal y reparto a domicilio, incluso pudiendo ser usados con fines recreativos, entre otras muchas posibilidades.

Es por este amplio espectro de aplicaciones que los desarrollos como el realizado en este trabajo va a tener una gran presencia en la vida cotidiana, tanto en aspectos laborales como personales. Asociado a este desarrollo tecnológico será necesario disponer de entornos en los que realizar experimentos con drones de forma segura y que no involucren el uso de máquinas reales arriesgando su integridad. Es en este ámbito donde son necesarios los simuladores. Los entornos virtuales tridimensionales son capaces de simular casi a la perfección el comportamiento de un dron real dentro de un entorno generado por ordenador, permitiendo así hacer tantas pruebas como se desee de manera rápida, eficaz y segura optimizando así el proceso de producción. Desde el punto de vista medioambiental y de sostenibilidad los simuladores permitirán optimizar los procesos de desarrollo minimizando la necesidad de fabricaciones de prototipos y piezas de repuesto con la consiguiente reducción de material potencialmente contaminante.

Los elementos desarrollados a lo largo de este trabajo fundamentan una base sobre la que futuros desarrolladores podrán iterar para crear programas más avanzados que permitan simular al cien por ciento la realidad. Esta simulación está cada vez más cerca de nuestro alcance viendo los últimos avances en simulación de físicas, colisiones y capacidades gráficas de los entornos de desarrollo como Unreal Engine 5.

Las capacidades de estos robots y de este tipo de software solo están limitadas por nuestra imaginación, pudiendo llegar a entrenar drones en entornos virtuales gracias a programas de inteligencia artificial que luego podremos pasar a máquinas reales. Esto por ejemplo se podría utilizar en la vigilancia y mantenimiento de bosques, para facilitar las tareas de los guardas forestales, por ejemplo minimizando el riesgo de incendios y por lo tanto ayudando así al mantenimiento de la vida de ecosistemas terrestres.

En conclusión, las herramientas presentadas, son una prueba de concepto de que es posible crear un sistema informático que nos ayude a mejorar la tecnología y el mundo que nos rodea.

Dentro de los siguientes pasos habría que contemplar la creación de objetos basados en la unión de componentes independientes que mejoren la modularidad

del dron y permitan gestionar más eficazmente la comunicación entre los componentes desde un actor propio. Para ello proponemos la creación de un peón e implementar en el mismo un control diferencial de la velocidad, prueba que describiremos más adelante.

A. Anexos

A.1. Overview

Bibliografía

- [ano22a] anon. Compite con los drones más veloces en el juego de carreras de drones, drl sim, ya disponible para descargar en epic gamesl. *epicgames*, 2022, <https://store.epicgames.com/es-ES/news/race-the-fastest-drones-in-the-drl-sim-drone-racing-game>.
- [ano22b] anon. Drones, la nueva herramienta imprescindible en seguridadl. *El blog de securitas*, 2022, <https://elblogdesecuritas.es/tecnologia/drones-herramienta-seguridad/l>.
- [Eng23] Unreal Engine. Unreal engine documentation. *Unreal Engine forum*, 2004-2023, <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/>.
- [Fus22a] Lötwig Fusel. Actors and components and custom move component | ue5 c++ tutorial. *Youtube*, 2022, <https://acortar.link/kn0dIH>.
- [Fus22b] Lötwig Fusel. Editor module and component visualisation | ue5 c++ tutorial. *Youtube*, 2022, <https://acortar.link/rSCfsR>.
- [Mic17] Microsoft. Airsim announcement: This repository will be archived in the coming yearl. *microsoft github*, 2017, <https://microsoft.github.io/AirSim/>.
- [Mol19] Pilar Sánchez Molina. Tso optimiza y repotencia plantas solares con dronesl. *pv magazine*, 2019, <https://www.pv-magazine.es/2019/11/05/tso-optimiza-y-repotencia-plantas-solares-con-drones/>.
- [org23a] ROS2 organization. Ros2 tutorials: Begginer:client libraries. *ROS2 Humble documentation*, 2023, <https://docs.ros.org/en/foxy/Tutorials/Beginner-Client-Libraries.html>.
- [org23b] ROS2 organization. Ros2 tutorials: Begginer:client libraries, creating a package. *ROS2 Humble documentation*, 2023, <https://docs.ros.org/en/foxy/Tutorials/Beginner-Client-Libraries/Creating-Your-First-ROS2-Package.html>.
- [org23c] ROS2 organization. Ros2 tutorials: Begginer:client libraries, creating a workspace. *ROS2 Humble documentation*, 2023, <https://docs.ros.org/en/foxy/Tutorials/Beginner-Client-Libraries/Creating-A-Workspace/Creating-A-Workspace.html>.
- [org23d] ROS2 organization. Ros2 tutorials: Begginer:client libraries, writing

- a simple publisher and subscriber (c++). *ROS2 Humble documentation*, 2023, <https://docs.ros.org/en/foxy/Tutorials/Beginner-Client-Libraries/Writing-A-Simple-Cpp-Publisher-And-Subscriber.html>.
- [Rus21] Cristian Rus. Con 3.281 drones, este impresionante espectáculo en shanghai ha establecido un nuevo récord mundial. *xataka*, 2021, <https://www.xataka.com/drones/3-281-drones-este-impresionante-espectaculo-shanghai-ha-establecido-nuevo-record-mundial>.
- [stu23a] Drama studio. Drama studio page. 2023, <https://studiosdrama.com/>.
- [stu23b] Drama studio. Unrecord game. *Steam*, 2023, <https://store.steampowered.com/app/2381520/Unrecord/>.
- [Tap23] Daniel Corrales ; Santiago Tapia. Tfg repository. *github*, 2023, <https://github.com/fjcorrales/TFG>.
- [yl21] slimeth ; Franco Fusco; Amaury Nègre; Huizerd; lukeopteran yun long. Flightmare repo. *github*, 2021, <https://github.com/uzh-rpg/flightmare>.