



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA


Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

MÁSTER EN INGENIERÍA AERONÁUTICA

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Desarrollo de un simulador de centro de mando para monitorización de flotas de drones y gestión de los mismos



Valencia
Curso académico
2020-2021

Alumno:

Bayona Salvador, Ricardo
ribasal@etsid.upv.es

Tutor:

Quintanilla García, Israel
iquinta@cgf.upv.es

Resumen

El objetivo inicial de este trabajo era el desarrollo de un simulador de centro de mando para la monitorización y gestión de flotas de drones. Como se verá, al no disponer del tiempo necesario por parte del departamento para enseñar al alumno a acceder a la tecnología que existe en el departamento para monitorizar drones, se optará por realizar un simulador que capte la señal de los aviones que capta la antena de la UPV. El proceso será similar a lo que se haría si se accediese a la tecnología necesaria en el departamento para la captación de la señal de los drones.

Para ponerse en contexto, se explican las operaciones *Very Low Level* con drones y el tipo de operaciones con drones según la visibilidad que tiene el operario del dron, además del ConOps y la división del espacio aéreo VLL. También se describen los servicios U-Space organizados según sus fases de implantación y la normativa aplicable a los proveedores de servicios.

Aunque, como se ha comentado, no se accede a la tecnología necesaria en el departamento para captar drones, en el documento se describen diversos métodos de detección y se centra en mayor medida en la tecnología RPS y en la captación de drones con esta tecnología mediante tarjetas SIM. Se explicará esta tecnología RPS, una posible estructura del montaje del sistema y un concepto para determinar la precisión de dicho sistema conocido como valor de confianza.

Palabras clave: Dron, U-Space, Very Low Level, SIM, Radio Positioning System, simulador.

Abstract

The initial objective of this work was the development of a command center simulator for the monitoring and management of drone fleets. As will be seen, since the department does not have the time necessary to teach the student to access the technology that exists in the department to monitor drones, it will be decided to carry out a simulator that captures the signal from the airplanes that the UPV antenna captures. The process will be similar to what you would do if the necessary technology in the department to capture the signal from the drones were accessed.

To put it in context, *Very Low Level* operations with drones and the type of operations with drones according to the visibility that the drone operator has of the drone are explained, in addition to the ConOps and the VLL airspace division. The U-Space services organized according to their development phases and the regulations applicable to service providers are also described.

Although, as mentioned, the necessary technology to capture drones in the department is not accessed, the document describes various detection methods and focuses more on RPS technology and on capturing drones with this technology using SIM cards. This RPS technology, a possible system mounting structure, and a concept to determine the accuracy of such a system, known as the confidence value, will be explained.

Key words: Drone, U-Space, Very Low Level, SIM, Radio Positioning System, simulator.

Resum

L'objectiu inicial d'aquest treball era el desenvolupament d'un simulador de centre de comandament per a la monitorització i gestió de flotes de drons. Com es veurà, al no disposar del temps necessari per part del departament per ensenyar a l'alumne a accedir a la tecnologia que hi ha al departament per monitoritzar drons, s'optarà per realitzar un simulador que capte la senyal dels avions que capta l'antena de la UPV. El procés serà similar al que es faria si s'accedira la tecnologia necessària en el departament per a captar la senyal dels drons.

Per a posar-se en context, s'expliquen les operacions *Very Low Level* amb drons i el tipus d'operacions amb drons segons la visibilitat que té l'operari del dron, a més del ConOps i la divisió de l'espai aeri VLL. També es descriuen els serveis U-Space organitzats segons les seves fases de implantació i la normativa aplicable als proveïdors de serveis.

Encara que, com s'ha comentat, no s'accedix a la tecnologia necessària en el departament per captar drons, en el document es descriuen diversos mètodes de detecció i se centra més en la tecnologia RPS i en la captació de drons amb aquesta tecnologia mitjançant targetes SIM. S'explicarà aquesta tecnologia RPS, una possible estructura del muntatge de sistema i un concepte per determinar la precisió d'aquest sistema conegut com a valor de confiança.

Paraules clau: Dron, U-Space, Very Low Level, SIM, Radio Positioning System, simulador.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Motivación del estudio	1
1.2. Objetivos del estudio	1
1.3. Organización del documento	1
2. Análisis Seguridad Operacional en vuelos VLL para servicios U-Space	3
2.1. Operaciones VLL	3
2.2. Servicios U-Space	4
2.2.1. Servicios fundacionales (U1)	6
2.2.2. Servicios iniciales (U2)	6
2.2.3. Servicios avanzados (U3)	9
2.2.4. Servicios completos (U4)	10
2.3. U-Space Concept of Operations para VLL	10
2.3.1. Volúmenes de espacio aéreo	10
3. Correlación entre la figura CIS y el USP	16
3.1. Common Information Service (CIS)	16
3.2. Unmanned Service Provider (USP)	17
3.3. Certificación de los proveedores de CIS y de los proveedores de servicios U-Space	19
4. Análisis y capacidades de dispositivos de identificación remota de drones	21
4.1. Sistemas de detección de drones	21
4.2. Comunicación por radio y sistema ADS-B	23
4.3. Comunicación por GPS y tecnología GSM	24
4.4. Protección de la privacidad para el Internet de los Drones	24
5. Análisis y viabilidad del dispositivo de identificación remota con tarjeta SIM	26
5.1. Tecnología RPS	26
5.2. Arquitectura del sistema	26
5.3. Servidor de cálculos RPS	28

5.4.	RPS y valor de confianza	28
5.4.1.	Radio Fingerprint Database	28
5.4.2.	Ubiquitous Mobile Network Information	29
5.5.	Valor de confianza del RPS	29
6.	Generación de una API para integrar los datos del identificador	31
6.1.	Introducción	31
6.2.	Simulador de vuelo de los aviones de la antena	31
6.2.1.	Mostrar los aviones en el mapa	32
6.2.2.	Mostrar el código de identificación de los aviones	34
6.2.3.	Contar el número de aviones captados por la antena	36
6.2.4.	Mostrar aviones captados y sus coordenadas	37
7.	Conclusiones y trabajos futuros	39
7.1.	Conclusiones	39
7.2.	Trabajos futuros	39
A.	Presupuesto	1
A.1.	Introducción	1
A.1.1.	Costes de la mano de obra	1
A.1.2.	Material bibliográfico	2
A.1.3.	Costes informáticos	2
A.2.	Presupuesto total de la elaboración del trabajo	3
B.	Pliego de condiciones	4
B.1.	Introducción	4
B.2.	Condiciones generales	4
B.2.1.	Condiciones del puesto de trabajo	4
B.2.2.	Condiciones del lugar de trabajo	5
B.3.	Especificaciones técnicas	7

Índice de figuras

1.	Operación E-VLOS [1]	3
2.	Fases de implantación del U-Space [2]	4
3.	Años estimados de implantación de cada fase del U-Space [3]	5
4.	Ejemplo de los volúmenes de espacio aéreo [4]	12
5.	Ejemplo de un volumen X [4]	12
6.	Ejemplo de un volumen Y [4]	13
7.	Ejemplo de un volumen Z [4]	14
8.	Un sistema típico del internet de los drones para vigilancia [5]	24
9.	Esquema del montaje para la prueba [6]	27
10.	Esquema del montaje comercial [6]	27
11.	Pantalla inicial del programa	31
12.	Simulador en pleno funcionamiento	32
13.	Main de la clase <i>MapSpain</i>	33
14.	Función <i>pintaFondo</i>	33
15.	Función <i>pintaAviones</i>	34
16.	Panel de elección de mostrar código de identificación	34
17.	Simulador en funcionamiento con los códigos de identificación de los aviones visibles en el mapa	34
18.	Simulador en funcionamiento con los códigos de identificación de los aviones no visibles en el mapa	35
19.	Código en Java de los botones Mostrar/No mostrar	35
20.	Función <i>pintaCodigoAviones</i>	36
21.	Panel donde se muestra el número de aviones captados por la antena	36
22.	Función <i>cuentaAviones</i>	36
23.	Desplegable donde se muestran los códigos de identificación de los aviones captados	37
24.	Panel donde se muestran las coordenadas del avión seleccionado	37
25.	Código del botón de <i>Actualizar los aviones de la antena</i>	38
26.	Código del botón de <i>Ver coordenadas del avión seleccionado</i>	38
27.	Función <i>comboAviones</i>	38

Siglas

AGL Above Ground Level.

AIRAC Aeronautical Information Regulation And Control.

ATC Air Traffic Controller.

CATEC Centro Avanzado de Tecnologías Aeroespaciales.

CIS Common Information Service.

ConOps Concept of operations.

CORUS Concept of Operations for EuRoPeAn UTM Systems.

ECAC European Civil Aviation Conference.

GCS Ground Control Station.

GSM Global System for Mobile.

IFR Instrumental Flight Rules.

NOTAM Notice To Airmen (Aviso a navegantes).

OACI Organización de Aviación Civil Internacional.

RPA Remotely Piloted Aircraft.

RPS Radio Positioning System.

UAS Unmanned Aircraft System.

USP Unmanned Service Provider.

UTM Unmanned Traffic Management.

VFR Visual Flight Rules.

VLL Very Low Level.

MEMORIA

1. Introducción

1.1. Motivación del estudio

Con la aprobación del Reglamento U-Space se ha abierto una importante puerta al futuro de las operaciones con drones. Con este marco reglamentario europeo se podrá diseñar y desarrollar la gestión del tráfico de drones en el espacio aéreo U-Space de forma que pueda proliferar la cantidad de estas aeronaves de forma segura en él [7].

Debido a esto se espera que en los siguientes años los drones vayan cobrando más importancia y que el número de operaciones que se lleven a cabo con drones aumente de forma notable.

Como el número de operaciones con drones es previsible que aumente de forma significativa en los años venideros, es muy probable que la monitorización y la gestión de las operaciones con drones sea una tarea que cobre una gran importancia en el futuro. Teniendo esto en cuenta, se ha optado por realizar un trabajo que abarque las operaciones con los drones, la importancia de los servicios U-Space en éstas y la monitorización y la gestión de los drones en el espacio aéreo U-Space.

1.2. Objetivos del estudio

El objetivo inicial del trabajo es el desarrollo de un simulador de centro de mando para monitorización de flotas de drones y gestión de los mismos. Como se explicará más adelante, al no acceder a la tecnología necesaria para dicha monitorización de los drones, se procederá a realizar un simulador que captará la señal de la antena de la UPV, de forma que se mostrarán los aviones que capta dicha antena. De tal forma se muestra un posible sistema de monitorización que, accediendo a la tecnología necesaria, sería utilizado para mostrar los drones que volasen en el entorno. No obstante, se explica en qué se basa la tecnología RPS (*Radio Positioning System*) y cómo se podría monitorizar los drones mediante una tarjeta SIM con esta tecnología.

Además de esto, también se desarrolla un poco el tipo de operaciones de los vuelos con drones, los servicios que se ofrecen en el U-Space y la normativa aplicable, entre otros temas. Esto servirá como base teórica para ver la importancia que tienen hoy en día las operaciones con drones y el nivel de regulación que presentan.

1.3. Organización del documento

El documento está estructurado en 2 partes: la memoria y los anexos (costes y pliego de condiciones). La memoria, la cual es la parte más extensa, incluye:

- En el Apartado 2 se describen las operaciones VLL (*Very Low Level*) y las distintas clases de operaciones VLL según la visibilidad que se tiene del dron. También se describen y se desarrollan los servicios U-Space, organizándolos según la fase de implantación. Finalmente, se explica el ConOps (*Concept of Operations*) explicando los principios por los cuales se ha guiado su desarrollo y explicando las diversas divisiones del espacio aéreo VLL que realizan mediante los volúmenes X, Y y Z.

- En el Apartado 3 se muestra la normativa del CIS (*Common Information Service*) y del USP (*Unmanned Service Provider*), y la normativa para la certificación de ambos proveedores de servicios. De esta forma se puede ver que los servicios que se proporcionan a los drones deben pasar por una estricta normativa.
- En el Apartado 4 se describen diversos sistemas de detección de drones. Entre ellos, se describe el sistema ADS-B y la comunicación por GPS con la ayuda de la tecnología GSM. También se explica brevemente el problema de la protección de la privacidad en el conocido como el Internet de los Drones.
- En el Apartado 5 se pasa a explicar la identificación remota de drones mediante el uso de una tarjeta SIM. Se explica en qué consiste la tecnología RPS (*Radio Positioning System*) desarrollada por Vodafone, la arquitectura del sistema en una prueba realizada por dicha compañía y el concepto de valor de confianza como dato objetivo de la efectividad de la aproximación de la localización mediante la tecnología RPS.
- En el Apartado 6 se explica la problemática con la imposibilidad de hacer uso por parte del alumno de la tecnología RPS del departamento para monitorizar drones. Al no disponer del tiempo para enseñar al alumno a hacer uso de este método de detección de drones, se opta por realizar un simulador que capte la señal de la antena de la UPV de forma que se muestran los aviones cercanos a la antena en dicho simulador.

2. Análisis Seguridad Operacional en vuelos VLL para servicios U-Space

2.1. Operaciones VLL

Según el apartado 10.6. *Special considerations for Very Low Level (VLL) operations of RPAS* del *Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)* del año 2015 [8], consideraciones especiales serán requeridas para operaciones VLL ya que los RPA (*Remotely Piloted Aircrafts*) en este entorno suelen operar por debajo de los 500 pies AGL (*Above Ground Level*). Las provisiones para facilitar las operaciones VLL no están en el programa de trabajo de la OACI según este manual.

Las operaciones VLL también se suelen llamar VFR (*Visual Flight Rules*) o IFR (*Instrumental Flight Rules*) no-estándar y son llevadas a cabo fuera del espacio aéreo reservado para aeronaves tripuladas y fuera de áreas pobladas o concentraciones humanas.

Dentro de las operaciones VLL se tienen distintas clases:

- **VLOS** (Visual Line of Sight): Se trata de operaciones en un radio menor a 500m, donde el piloto mantiene en todo momento contacto visual con la aeronave. La mayoría de drones hoy en día vuelan de esta forma.
- **E-VLOS** (Extended Visual Line of Sight): Se trata de operaciones en un radio mayor a 500m donde el piloto, con ayuda de observadores que mantienen el contacto visual de la aeronave, conoce la posición de la aeronave comunicándose con los observadores. En la Figura 1 se muestra una imagen donde queda más claro este tipo de operación. De todos modos, hay que resaltar que se podría disponer de más de un observador a parte del piloto, y cada observador debería estar a un radio como máximo de 500m de otro y siempre en comunicación entre ellos.

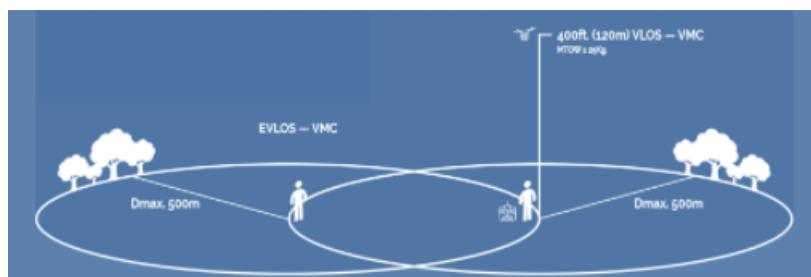


Figura 1: Operación E-VLOS [1]

- **B-VLOS** (Beyond Visual Line of Sight): Se trata de operaciones en un radio mayor a 500m donde no se mantiene contacto visual con la aeronave. Este tipo de operaciones hoy en día son relativamente raras (incluso prohibidas en muchas ocasiones). Sin embargo, los vuelos B-VLOS se espera que en el futuro sean la forma normal de operar para muchas actividades comerciales con drones como por ejemplo el reparto [4]. De acuerdo al *European ATM master plan* [9], para 2035 el espacio aéreo estará 10 veces más ocupado que hoy en día, con la mayoría de drones operando en B-VLOS.

2.2. Servicios U-Space

La Unión Europea ha desarrollado el U-Space para facilitar la introducción por fases de procedimientos y de una serie de servicios diseñados para permitir un acceso seguro (teniendo en cuenta ambos aspectos de la seguridad, tanto *safety* como *security*) y eficiente al espacio aéreo a un gran número de drones, y así motivar al crecimiento de la industria de UAS y al uso de estas aeronaves en Europa. Estos servicios y procedimientos están basados en un gran nivel de digitalización y automatización de funciones, tanto si están en el propio dron como si son parte del sistema U-Space en tierra.

Hay que destacar que el U-Space no es un volumen de espacio aéreo segregado para uso único de drones sino que se trata de un entorno que permite la operación de drones en todo tipo de entornos operativos y en todo tipo de espacio aéreo (particularmente VLL, pero no limitado únicamente a este)[4].

La introducción del U-Space se implementa de forma gradual y secuencial y se puede dividir en cuatro tipos de servicios [2]:

- Servicios fundacionales (U1): Están integrados por los servicios de registro electrónico, identificación electrónica y geofencing y son la base del U-Space.
- Servicios iniciales (U2): Dan apoyo a la gestión de operaciones de drones de forma que se permite la planificación, aprobación y seguimiento de los vuelos, y se proporciona información en tiempo real y las interfaces de control de tráfico aéreo necesarias.
- Servicios avanzados (U3): Dan apoyo a operaciones más complejas en áreas con alta densidad de tráfico. Pueden llegar a gestionar la capacidad del espacio aéreo y ayudar a la detección temprana de conflictos.
- Servicios completos (U4): Para permitir la integración completa de los drones en el espacio aéreo. En esta fase se deberá tener un alto nivel de automatización, conectividad y digitalización tanto de las señales UAS como del entorno U-Space.

En la Figura 2 se muestra de forma esquemática las fases de implantación del U-Space:



Figura 2: Fases de implantación del U-Space [2]

En la Figura 3 se muestran los años en los que se espera que se implante cada fase:

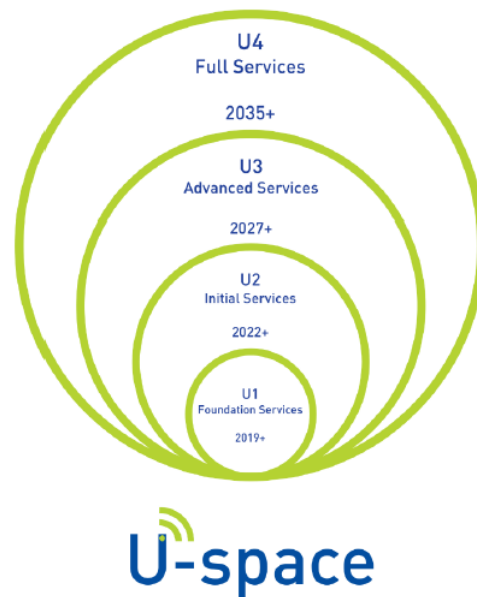


Figura 3: Años estimados de implantación de cada fase del U-Space [3]

En la Figura 3 se aprecia como los servicios fundacionales ya están siendo implantados, mientras que los servicios iniciales se espera que entren en funcionamiento en 2022, los servicios avanzados en 2027 y los servicios completos en 2035.

Los servicios principales del U-Space se enumeran a continuación:

1. Registro online de la aeronave.
2. Identificación online.
3. Geofencing dentro de planificación.
4. Geofencing durante el vuelo.
5. Rastreo.
6. Planificación de vuelo.
7. Información meteorológica.
8. UAS AIM.
9. Procedimientos ATC.
10. Asistencia para resolución de emergencias.
11. Asistencia para detección de conflictos.
12. Monitorización del espacio aéreo.
13. Información del tráfico aéreo.
14. Geofencing dinámico.

15. Interfaz colaborativa ATC.
16. Resolución de conflictos tácticos.
17. Gestión dinámica de la capacidad del sistema.

A continuación se pasa a desarrollar cada uno de los servicios separándolos según la fase de implantación en la que se llevarán a cabo [3].

2.2.1. Servicios fundacionales (U1)

Registro online de la aeronave

El servicio habilita el registro del operador, dron y piloto con la información apropiada según la regulación. Un nivel de seguridad del servicio será definido.

Identificación online

El servicio permite la identificación de un operador de dron a partir de un dron en operación. La identificación proporciona acceso a la información almacenada en el registro según un identificador emitido de forma electrónica por el dron. El servicio de identificación incluye la localización de los drones, tanto la posición como el instante temporal.

Geofencing dentro de planificación (Pretactical geofencing)

El servicio proporciona al operador con geo-información sobre áreas restringidas pre-definidas (como pueden ser, por ejemplo, prisiones, entre otras áreas) e información aeronáutica disponible (NOTAM, ciclo AIRAC...) que se usa durante la preparación del vuelo.

Este servicio requiere la identificación de fuentes acreditadas y la disponibilidad de geoinformación cualificada relacionada con áreas restringidas. El servicio proporciona información que permite al operador del dron hacer uso de la capacidad de geofencing del dron.

2.2.2. Servicios iniciales (U2)

Geofencing durante el vuelo (Tactical geofencing)

Comparado con el geofencing dentro de planificación de la fase U1, el geofencing táctico tiene la posibilidad de actualizar al operador con geoinformación incluso durante el vuelo. El sistema GNSS debe evitar que los drones entren áreas no autorizadas o aisladas. Debe solicitar la autorización al controlador del espacio U-Space. La solicitud puede ser procesada por un sistema automatizado sin intervención manual.

Rastreo (tracking)

Se refiere al proveedor de servicios que usa datos de vigilancia cooperativos y no cooperativos para mantener el rastro de drones individuales. Incluye sistemas de vigilancia terres-

tres y aéreos, además de sistemas de procesamiento de datos de vigilancia. Los requisitos de actuación variarán de acuerdo a los requisitos específicos de cada aplicación.

El servicio comprenderá mensajes de telemetría UAS con información real sobre el vuelo enviado desde la aeronave no tripulada, planes de vuelo e información de identificación de los operadores de UAS y otros proveedores de servicios espaciales UAS. Este servicio asociará observaciones de vigilancia consecutivas del mismo vuelo UAS con derrotas, incluida la posición actual, rumbo y velocidad, y si es necesario, generará alertas de cortes o degradación del servicio.

Planificación del vuelo (Flight Planning Management)

Este servicio cubre la recepción de notificaciones de vuelo o de un plan de vuelo y proporciona la respuesta adecuada de acuerdo a las características de la misión y a la regulación aplicable. Este servicio estará disponible para cualquier operador o usuario de drones con diferentes niveles de requisitos.

Se encarga de verificar todos los planes de vuelo activos existentes consultando el servicio de geofencing pre-táctico con lógica comercial interna, utiliza la información proporcionada por el usuario en la solicitud de aprobación para verificar posibles áreas restringidas en el área de operación y otra información aeronáutica disponible (como NOTAM) y la Interfaz para adquirir y procesar información de aviación. También calcula un nuevo plan de vuelo para evitar el área restringida y transmite el nuevo plan al controlador de U-Space.

Información meteorológica

El servicio proporciona a los operadores de drones con previsiones e información meteorológica antes y durante el vuelo. También puede recoger y hacer disponible información meteorológica de diferentes fuentes. Está conectado a los servicios meteorológicos de aviación y otras fuentes de información meteorológica local para transmitir las advertencias meteorológicas relevantes a la operación de drones.

Diferentes niveles de provisión de servicios pueden ser considerados como, por ejemplo:

- Información meteorológica para misiones en entornos rurales (basados en información aeronáutica existente).
- Información meteorológica mejorada para misiones en áreas urbanas.
- Información de micrometeorología para áreas urbanas (para vehículos autónomos).

UAS AIM (Drone aeronautical information management)

Este servicio proporciona al operador información aeronáutica relevante para operaciones con drones. Conectará con el servicio de información aeronáutica (AIS) para garantizar el suministro de información coherente para operadores de aeronaves pilotadas y autónomas.

Esta información se actualiza mediante el servicio de geo-fencing táctico. Se ocupa de recopilar cambios temporales y permanentes en el "mapa de vuelo" del dron que no son de interés para otros tipos de aviación y proporciona restricciones específicas de drones.

Procedimientos ATC

El servicio es una recopilación de procedimientos definidos para algunos tipos de misiones donde puede haber efecto sobre el ATC, por ejemplo el cruzar ciertos tipos de espacio aéreo controlado bajo condiciones prescritas. Los procedimientos aseguran la operación de los drones de forma clara y sin ambigüedades, y proporcionan un flujo de información apropiado entre los operadores de drones y los ATC. Dichos procedimientos permitirán a los drones volar en espacios aéreos controlados y cerca de aeropuertos con mayor flexibilidad y aprobación/rechazo procedimental basado en normas acordadas.

Asistencia para resolución de emergencias

El servicio recibe alertas de emergencia de operadores (como por ejemplo pérdida de control sobre la aeronave), e informa a los participantes relevantes del ecosistema. Estos pueden incluir operadores de drones operando drones cercanos, ANSPs (Air Navigation Service Providers), policía o autoridades aeroportuarias. El servicio también proporciona al operador/dron con información de asistencia para gestionar la situación de emergencia.

Asistencia para detección de conflictos (Strategic deconfliction)

El servicio proporciona asistencia para la detección y solución de conflictos al operador del dron a nivel estratégico (cuando el plan de vuelo es enviado, es comparado con otros planes de vuelo conocidos y se puede proponer una resolución de conflictos en el tiempo o en la ruta). Este servicio puede ser obligatorio u opcional de acuerdo al entorno operacional.

Tiene una base de datos que contiene todos los vuelos aprobados y planes de vuelo actuales en la zona. El servicio puede comparar el plan de vuelo planeado con el plan aprobado para determinar cualquier conflicto potencial confiando en un motor interno.

Una vez completadas con éxito todas las comprobaciones, se solicitará la autorización final del controlador U-Space. El controlador U-Space puede ser humano o un sistema de software. Si se da la autorización final, la notificación se envía al piloto del dron. En función del conflicto detectado, es posible realizar modificaciones en el plan de vuelo presentado para eliminar el conflicto.

Monitorización del espacio aéreo

Este servicio está sujeto a requerimientos de una apropiada calidad de los datos. El servicio recupera los datos del servicio de rastreo y los fusiona con información relacionada con los vehículos y obstáculos no cooperativos para así crear una situación aérea para las autoridades, los proveedores de servicios y los operadores. Este servicio puede incluir monitorización de conformidad.

Integra el código enviado por el servicio de seguimiento, con otras fuentes de datos relacionados con obstáculos y vehículos no cooperativos para proporcionar un informe de estado de la situación del aire para las autoridades, proveedores de servicios y operadores, incluidos los pilotos.

Información del tráfico aéreo

Este servicio proporciona información del tráfico de cualquier tipo de sistema de monitorización al operador del dron. Proporcionará al operador de UAS información sobre otro tráfico aéreo conocido u observado que pueda estar cerca de la posición o ruta prevista del vuelo del UAS para alertar y ayudar al operador de UAS a evitar una colisión. También incluye la posición 3D en tiempo real del tráfico aéreo conocido que puede incluir aeronaves tripuladas y no tripuladas.

2.2.3. Servicios avanzados (U3)

Geofencing dinámico

Comparado con el geofencing táctico de los servicios iniciales U2, el geofencing dinámico se centra en el dron y luego el servicio requiere conectividad de enlace de datos a un sistema geofencing que permite que los datos se actualicen durante el vuelo.

Interfaz colaborativa ATC

El servicio proporciona un mecanismo para asegurar una coordinación efectiva cuando las operaciones de drones que usan el U-Space afectan al ATC. Incluye conciencia situacional compartida y procedimientos para posibilitar un diálogo bidireccional que dé apoyo a la operación segura y flexible de drones en el espacio aéreo donde se proporciona ANS.

Resolución de conflictos tácticos (Tactical deconfliction)

Este servicio proporciona información a los operadores o a los drones para asegurar una correcta gestión de la separación durante el vuelo. Las diferencias con la resolución estratégica de conflictos descrito en los servicios iniciales U2 son dos: el dron puede recibir la información y la resolución del conflicto está fijada para la fase en vuelo. Será necesario definir de forma apropiada los límites de las capacidades de uso del "Detect & Avoid".

Gestión dinámica de la capacidad del sistema

En cuanto a la definición de umbrales de densidad de drones (que puede ser modificada dinámicamente), el servicio monitorea la demanda del espacio aéreo y gestiona el acceso a dicho espacio aéreo a medida que se reciben nuevas notificaciones de vuelos. Este servicio puede ser emparejado con el servicio de planificación del vuelo.

Debe haber una serie de reglas y prioridades para asignación de espacios (conocido en inglés por el término *slot allocation*) cuando una porción del espacio aéreo se espera que llegue a sus límites de capacidad.

A parte del balance entre la capacidad y la demanda, el servicio puede gestionar la capacidad en caso de que se produzcan incidentes como situaciones de emergencia o situaciones climáticas peligrosas.

2.2.4. Servicios completos (U4)

La fase U4 ofrece la integración completa con la aviación tripulada y con los servicios de tráfico aéreo, y da soporte a la completa capacidad operacional del U-Space, basada en un muy alto nivel de automatización.

Se espera que la necesidad de nuevos servicios se presentará con la introducción de la fase U3. Además, se espera que las aeronaves tripuladas puedan estar equipadas para aprovecharse de los servicios U-Space.

2.3. U-Space Concept of Operations para VLL

El ConOps (*Concept of Operations*) describe cómo se debe organizar el espacio aéreo VLL, qué normas y regulaciones deben establecerse para permitir la integración segura de los drones en el espacio aéreo junto a otros usuarios, y qué servicios U-Space deben estar disponibles para ayudar al usuario del dron a conseguirlo.

El U-Space es un entorno que permite actividades de negocios relacionadas con el uso de drones, manteniendo un adecuado nivel de seguridad y de aceptación pública, y que ha desarrollado el ConOps para VLL considerando los casos de uso del U-Space más prometedores.

El desarrollo del ConOps ha sido guiado por el mismo grupo de cinco principios de alto nivel que han inspirado el U-Space [4]:

1. Seguridad primero: La evaluación de seguridad se trata de forma completa con la nueva metodología propuesta.
2. Mercado abierto: Para así crear un entorno donde diversos negocios pueden operar, innovar, competir y entregar servicios con un coste eficiente.
3. Socialmente aceptable: Esta ha sido considerada desde el principio del diseño de ConOps [10]. Para balancear la presión comercial por el crecimiento de la utilización de drones con preservar la naturaleza, la salud de la gente, la privacidad y la seguridad Europea.
4. Acceso equitativo: Todos los usuarios del espacio aéreo deben ser tratados equitativamente siempre y cuando los requisitos de seguridad se cumplan. Sólo se aplicaran excepciones para vuelos de respuesta a emergencias.
5. A nivel europeo: El ConOps está diseñado para ser aplicado a través de los estados miembros de la *European Civil Aviation Conference* (ECAC), con adaptaciones menores.

2.3.1. Volúmenes de espacio aéreo

El CORUS (*Concept of Operations for European UTM Systems*) ha diseñado el concepto de operación para drones volando en el espacio aéreo VLL, el espacio aéreo por debajo del avión volando con VFR. a 500 pies según define la OACI. Aún así, este espacio

aéreo puede ser usado por planeadores, parapentes, aviones o helicópteros de emergencia (HEMS o *Helicopter Emergency Medical Service*) y aviones aterrizando y despegando, entre otros. CORUS ha propuesto dividir el espacio VLL en diferentes volúmenes, de acuerdo a los servicios U-Space que se ofrecen [11]:

- X: Sin servicio de resolución de conflictos.
- Y: Sólo se ofrece resolución de conflictos previos al vuelo.
- Z: Se ofrece resolución de conflictos previos al vuelo y separación durante el vuelo.

En la Tabla 1 muestra las principales características de cada volumen:

Volumen	Requisitos de acceso
X	Plan de operación no requerido
	Operaciones VLOS y E-VLOS
	Otros modos de vuelo requieren evaluaciones de mitigaciones de riesgos
Y	Plan de operación aprobado
	Operaciones VLOS, E-VLOS y B-VLOS
	Estación de pilotaje conectada al U-Space
	La posición puede ser declarada
	Resolución de conflictos estratégica
Z	Plan de operación aprobado
	Operaciones VLOS, E-VLOS y B-VLOS
	Piloto o dron automático aprobado para operaciones tipo Z
	Estación de pilotaje conectada al U-Space
	La posición debe ser declarada
	Requisitos técnicos específicos
	Resolución de conflictos táctica

Tabla 1: Volúmenes X,Y y Z del espacio aéreo VLL [11]

El volumen Z se divide a su vez en Zu y Za, donde la diferencia principal reside en la densidad de tráfico de aviones pilotados. En el caso del volumen Zu el tráfico va a ser principalmente de drones, mientras que en el caso del volumen Za será principalmente de aviación pilotada bajo control ATC con algunos drones incluidos.

En la Figura 4 se muestra un posible diseño de espacio aéreo utilizando los tres volúmenes explicados:

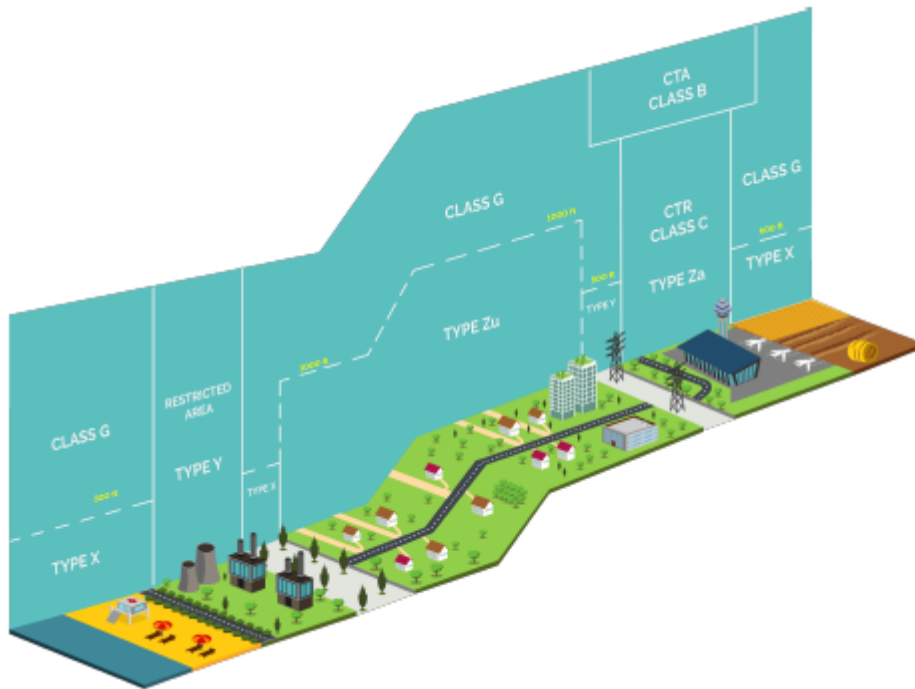


Figura 4: Ejemplo de los volúmenes de espacio aéreo [4]

A continuación pasará a explicar por separado cada uno de los tres volúmenes de espacio aéreo con más detalle.

Volúmenes X

Hay pocos requisitos previos en el operador y en el dron para acceder a un espacio aéreo de tipo X, con lo cual se ofrecen pocos servicios. En los volúmenes X, el piloto es el responsable en todo momento de mantener la separación. Los vuelos VLOS son fácilmente posibles en este tipo de volúmenes como se muestra en la Figura 5. Otros tipos de operaciones en los volúmenes X requieren una atención significativa para mitigar el riesgo aéreo.

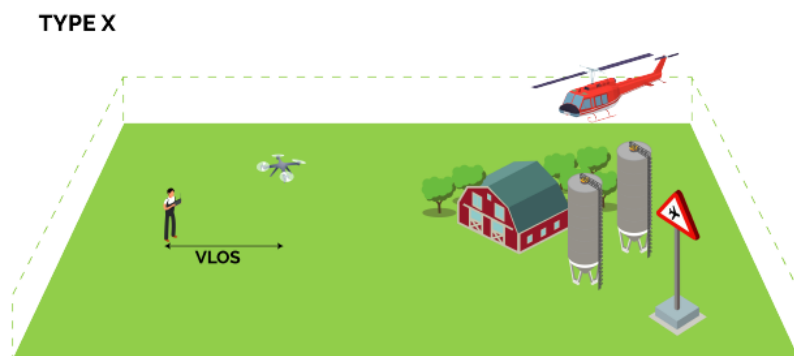


Figura 5: Ejemplo de un volumen X [4]

Los volúmenes X se esperan en regiones con baja demanda para servicios U-Space al haber pocos vuelos y bajo riesgo terrestre y aéreo. Por ejemplo, las regulaciones aplicables describen los requisitos terrestres y aéreos para operaciones de categoría abierta, y estas condiciones se espera que estén de forma común en los volúmenes X. En operaciones de categoría específica, los volúmenes X son más propensos a ser ARC-b y rurales de acuerdo a la evaluación del riesgo operacional específico (SORA). Sin embargo, los volúmenes X se definen en términos de servicios ofrecidos, con lo cual esto es solo una probabilidad más que una regla general.

Volúmenes Y

El acceso a los volúmenes Y requiere un plan de operaciones aprobado. Los espacios aéreos Y pueden tener requisitos técnicos específicos asociados a ellos, demostrando que cumplir estos requisitos es parte del proceso de aprobación del plan operacional. Estos requisitos técnicos normalmente incluirán una estación de pilotaje remota conectada al U-Space y un UAS capaz de propagar un informe de su posición.

Los volúmenes Y facilitan los vuelos VLOS y BVLOS. En los volúmenes Y hay medios de mitigación de riesgos proporcionados por el U-Space que no están disponibles en los volúmenes X. Un uso efectivo de estos servicios requerirá que el piloto esté apropiadamente entrenado. En el espacio aéreo Y, los conflictos entre vuelos se resuelven antes del despegue (ver Figura 6). Como no se ofrece un servicio táctico (durante el vuelo) de separación en este espacio aéreo, las resoluciones de conflictos previas al vuelo reducirán a un nivel muy bajo el riesgo residual de colisiones, lo cual resultará en aeronaves con grandes separaciones en tiempo y/o espacio. En el espacio aéreo Y hay información de tráfico, para lo cual hace falta que se monitoricen todas las aeronaves en el espacio aéreo Y. El espacio aéreo Y puede tener un requisito mínimo de actuación para la declaración de la posición (en algunas áreas la declaración del inicio del vuelo y del fin del vuelo puede ser suficiente).

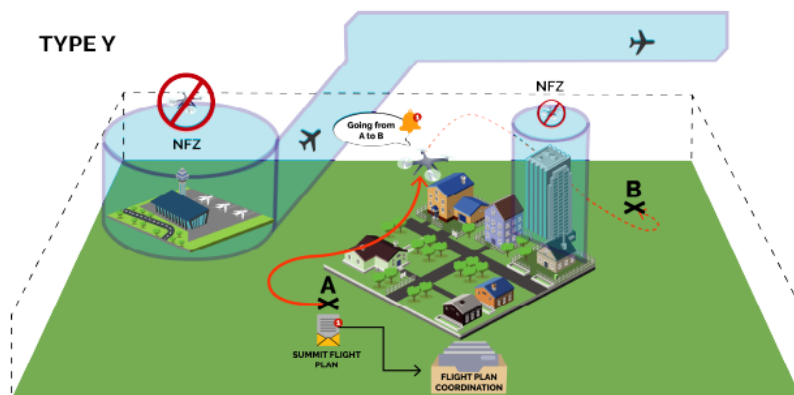


Figura 6: Ejemplo de un volumen Y [4]

Los volúmenes Y se esperan en áreas donde el riesgo terrestre o aéreo determinado por un SORA o de otro modo (incluyendo la regulación) es demasiado elevado para un volumen X (por ejemplo donde hay un tráfico aéreo significativo o sobre un área densamente poblada). Los volúmenes Y pueden ser creados en respuesta a una demanda significativa

de operaciones BVLOS.

Los volúmenes Y también pueden ser creados como una forma de limitar el acceso, por ejemplo sobre un parque nacional. En tales casos, los volúmenes Y pueden imponer el requisito del plan de operación aprobado, pero debido a la indisponibilidad de internet móvil, puede que no requiera una estación de pilotaje remota conectada al U-Space.

Volúmenes Z

Los volúmenes Z permiten una densidad de operaciones mayor que los Y, y por lo tanto se esperan en áreas donde la demanda de tráfico excede la capacidad de los volúmenes Y, o donde hay un riesgo particular, como en áreas urbanas, tal y como se muestra en la Figura 7.

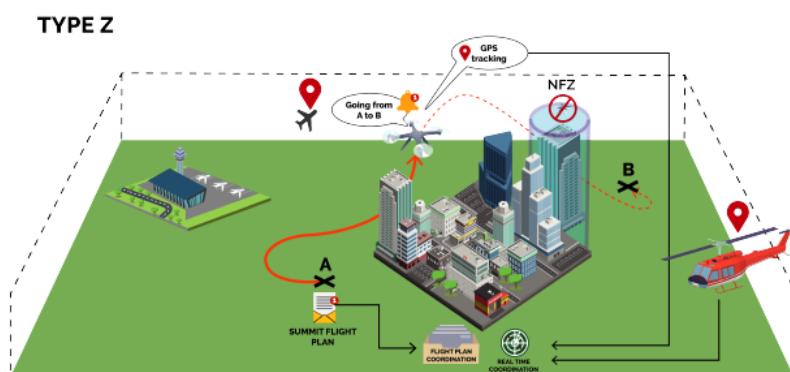


Figura 7: Ejemplo de un volumen Z [4]

Como en los volúmenes Y, el acceso a los volúmenes Z requiere un plan de operaciones aprobado, y de forma adicional:

- La conexión continua del piloto al U-Space.
- La entrega de los informes de posición de la aeronave para permitir el rastreo.

Los volúmenes Z facilitan los vuelos BVLOS y los vuelos automáticos en dron, y también permiten vuelos VLOS. En los volúmenes Z se proporcionan más medios de mitigación de riesgos que en los volúmenes Y o X. En los volúmenes Y, la falta de resolución táctica de conflictos requiere que la resolución estratégica de conflictos tenga en cuenta el riesgo residual debido al viento u otras fuentes de perturbación del vuelo. Debido a esto, el tráfico en los volúmenes Y se mantiene lejos. Los volúmenes Z permiten mayores densidades de operación que los volúmenes Y y los riesgos residuales restantes tras la separación estratégica (anterior al vuelo) pueden ser reducidos mediante la resolución táctica (durante el vuelo) de conflictos, por lo tanto el riesgo residual tras la resolución estratégica de conflictos no necesita ser tan baja como en los volúmenes Y. El acceso a los volúmenes Z puede tener adjunto requisitos técnicos específicos y demostrar que se cumplen es parte del proceso de aprobación del plan operacional.

Los volúmenes Z tienen un servicio de resolución táctica de conflictos y la provisión de este servicio es única para un volumen dado, es decir, solo una entidad se encarga de

la separación de las aeronaves. Cuando la separación es proporcionada por el U-Space, el volumen Z es llamado Zu, mientras que cuando la separación está a cargo de los controladores de tráfico aéreo, el volumen es llamado Za. Por consiguiente, un volumen Za es espacio aéreo controlado y el uso de servicios U-Space estará limitado a un subconjunto de servicios como por ejemplo habilitar la comunicación y la vigilancia pero no la resolución de conflictos.

A decisión del regulador:

- Los volúmenes Zu pueden ser creados en espacios aéreos no controlados y, en tal caso, el servicio de resolución táctica de conflictos proporciona consejos.
- Un volumen Zu puede ser designado espacio aéreo controlado y, en tal caso, el servicio de resolución táctica de conflictos del U-Space se considera como un servicio de control de tráfico aéreo. Por lo tanto, en ese volumen, el servicio del U-Space de resolución táctica de conflictos proporciona instrucciones que deben ser seguidas por todas las aeronaves pilotadas y no pilotadas.

La información aeronáutica (incluyendo la información aeronáutica de drones) para cada volumen Zu aclarará si es un espacio aéreo controlado o no controlado.

3. Correlación entre la figura CIS y el USP

3.1. Common Information Service (CIS)

Según el Artículo 5 del *Draft on a high-level regulatory framework for the U-Space* de la Comisión Europea [12]:

1. Los estados miembros deben designar un proveedor de servicio de información común (CIS, *Common Information Service*) para cada espacio aéreo U-Space designado.
2. El proveedor CIS debe asegurar el intercambio de información estática y dinámica entre los proveedores de servicio del U-Space y los proveedores de servicio de la navegación aérea, necesario para operaciones seguras.
3. El proveedor CIS debe hacer disponible la siguiente información:
 - (a) Límites horizontales y verticales del espacio aéreo U-Space designado.
 - (b) Las capacidades y requisitos de actuación de los UAS fijados por las autoridades competentes para un espacio aéreo U-Space determinado.
 - (c) Una lista de distintos proveedores de servicio U-Space certificados que ofrezcan efectivamente servicios U-Space en el espacio aéreo U-Space designado, los cuales deben incluir información de:
 - (I) La identificación y detalles de contacto de los proveedores de servicio U-Space activos.
 - (II) Los tipos de servicio proporcionados.
 - (III) Los términos y condiciones de los servicios.
 - (IV) Las limitaciones de certificación, si las hay.
 - (d) Las condiciones operacionales y restricciones del espacio aéreo aplicables.
 - (e) Cualquier espacio aéreo U-Space designado adyacente.
 - (f) Los métodos de conectividad, restricciones y medidas de protección de ciberseguridad, conforme determinado por la Agencia.
 - (g) Términos y condiciones para las autorizaciones de vuelo de los UAS, incluyendo los umbrales de desviación de autorización.
 - (h) Los requisitos relacionados con el uso de infraestructura pública clave, gestión de identidad y autenticación.
 - (i) La lista de todas las autoridades conocidas públicamente que pueden ser contactadas en cuanto a la información común.
4. Cuando los estados miembros hagan disponible públicamente la información de las zonas geográficas de los UAS, de acuerdo con el artículo 15(3) de la *Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947*, estos pueden usar el CIS para diseminar esta información.
5. Los estados miembros deben asegurar que el proveedor CIS:

- (a) Proporciona la información en el párrafo 3 de acuerdo a los requisitos de calidad de información impuestos en el *ATM/ANS.OR.A.085(b) of Regulation (EU) 2017/373*.
 - (b) Establece los procedimientos necesarios para el acceso a la información y garantiza la necesaria protección de la información.
 - (c) Usa protocolos de comunicación interoperables abiertos, tal y como es determinado por la Agencia, para permitir una competición justa y sostenible entre proveedores de servicio U-Space.
 - (d) Provee protocolos de interfaz de conectividad.
 - (e) Establece un único punto de acceso para el intercambio de información y un procedimiento de coordinación entre los proveedores de servicio U-Space y los proveedores de servicios de tráfico aéreo para una interfaz procedimental y colaborativa con el control de tráfico aéreo (ATC).
6. El proveedor CIS no debe estar relacionado o conectado de ninguna manera o forma a ningún proveedor de servicio U-Space en el espacio aéreo para el cual ha sido designado y no debe proveer ningún servicio U-Space por su cuenta en dicho espacio aéreo.

3.2. Unmanned Service Provider (USP)

Según el artículo 8 del *Draft on a high-level regulatory framework for the U-Space* de la Comisión Europea [12]:

1. Los proveedores de servicios U-Space deben ser responsables de proporcionar a los operadores de UAS los servicios requeridos para asegurar el movimiento seguro y eficiente de aeronaves durante todas las fases de operaciones en el espacio aéreo U-Space designado.
2. Los proveedores de servicios U-Space deben guardar los datos usados para el servicio durante un periodo de al menos 30 días después de su uso. Si los datos son usados para investigaciones de accidentes o incidentes, esta debe ser guardada durante un periodo más largo hasta que sea evidente que no será necesitada más tiempo.
3. Los proveedores de servicios U-Space deben manejar los datos de tráfico aéreo sin discriminación, restricción o interferencia, independientemente de su emisor, receptor, contenido, aplicación, servicio o equipamiento, y deben actuar según los requisitos aplicables en el espacio aéreo U-Space establecido.
4. Los proveedores de servicios U-Space deben asegurar que la información contenida en el Artículo 10(2) se hace disponible a:
 - (a) El público general en cuanto a información que es considerada pública según la normativa europea y nacional aplicable.
 - (b) Otros proveedores de servicios U-Space para garantizar la seguridad en las operaciones en el espacio aéreo U-Space.
 - (c) Los proveedores de servicios de tráfico interesados.

- (d) Sus autoridades competentes.
5. Los proveedores de servicios U-Space deben:
 - (a) Intercambiar información, incluyendo información de tráfico aéreo de aeronaves no pilotadas, entre ellos.
 - (b) Adherirse a un protocolo de comunicación abierta aceptable para la Agencia, y usar la información más reciente disponible del CIS según el Artículo 5(3).
 - (c) Proporcionar la información intercambiada de acuerdo a los requisitos de calidad necesarios de esta.
 - (d) Asegurar el acceso y la protección de la información intercambiada.
 - (e) Solicitar y establecer acuerdos con los proveedores de servicios de tráfico aéreo para asegurar una adecuada coordinación de las actividades, además de un intercambio de información relevante.
 - (f) Proporcionar cualquier información como un input para el CIS gratis.
 6. Los proveedores de servicios U-Space deben asegurar la continuidad de los servicios durante operaciones en el/los espacio(s) aéreo(s) U-Space designado(s) donde proporcionan servicios.
 7. Cuando los proveedores de servicios U-Space reciben la solicitud de autorización de vuelo UAS, estos deben:
 - (a) Comprobar si la solicitud de autorización de vuelo UAS está completa y correcta.
 - (b) Aceptarla o rechazarla.
 - (c) Notificar al operador del UAS como corresponde.
 8. Los proveedores de servicios U-Space deben asegurar que se proporciona una autorización de vuelo UAS considerando una información completa, actual y precisa.
 9. Cuando las condiciones no permitan expedir una autorización de vuelo UAS según la petición del operador del UAS, los proveedores de servicios U-Space deberán proponer una autorización de vuelo UAS alternativa.
 10. Los proveedores de servicios U-Space deben asegurar el intercambio de información relevante para la operación segura con los proveedores de servicios de navegación aérea a través del CIS.
 11. Tras recibir la solicitud para una activación de autorización de vuelo UAS, los proveedores de servicios U-Space deben, sin ningún retraso injustificado, confirmar la activación de la autorización de vuelo UAS.
 12. Cuando se proporcione un servicio de autorización de vuelo UAS, los proveedores de servicios U-Space deben establecer acuerdos apropiados para resolver solicitudes de autorización conflictivas recibidas por diferentes proveedores de servicios U-Space.
 13. Cuando se proporcione autorización de vuelo a los operadores de los UAS, los proveedores de servicios U-Space deben tener en cuenta la información recibida según el Artículo 8 y las normas de prioridad según el párrafo 6 del Artículo 13.

14. Los proveedores de servicios U-Space deben declarar a la autoridad competente:

- (a) El comienzo de las operaciones después de recibir el certificado.
- (b) El cese y subsiguiente reinicio de las operaciones, en caso de ser aplicable.

3.3. Certificación de los proveedores de CIS y de los proveedores de servicios U-Space

El Artículo 17 del *Draft on a high-level regulatory framework for the U-Space* de la Comisión Europea [12] habla de la solicitud de certificados para proveedores de CIS y proveedores de servicios U-Space. Según este artículo:

1. Los proveedores de CIS y los proveedores de servicios U-Space están obligados a mantener un certificado expedido por la autoridad competente ubicada en el estado miembro de su principal lugar de negocio o por la Agencia, según corresponda.
2. El certificado debe ser expedido según el Apéndice 2 para los proveedores de servicios U-Space y según el Apéndice 3 para los proveedores de CIS.
3. El certificado debe indicar los derechos y privilegios de su titular para proporcionar determinados servicios.
4. Una solicitud para un certificado de proveedor de CIS o de proveedor de servicios U-Space o para una enmienda de un certificado existente debe realizarse de la forma establecida por la autoridad competente ubicada en el estado miembro de su principal lugar de negocio o por la Agencia, según corresponda.
5. Para obtener el certificado, los proveedores de CIS y los proveedores de servicios U-Space deben cumplir los requisitos establecidos en esta Regulación.

El Artículo 18 del *Draft on a high-level regulatory framework for the U-Space* de la Comisión Europea [12] habla de las condiciones para obtener un certificado. Según este artículo, a un proveedor de CIS o un proveedor de servicios U-Space se le debe conceder un certificado por parte de la autoridad competente de su principal lugar de negocio o por parte de la Agencia, según corresponda, siempre y cuando este proveedor demuestre que:

1. Es capaz de proporcionar sus servicios de una forma segura, eficiente, continua y sostenible, consistente con el nivel de servicio. Para tal fin, debe mantener una capacidad y experiencia técnicas y operacionales adecuadas.
2. Usa sistemas y equipamiento que garantice la calidad, exactitud e integridad de los servicios U-Space de acuerdo a esta Regulación.
3. Tiene el capital neto apropiado, proporcional a los costes y riesgos asociados con la provisión de los servicios U-Space.
4. Tiene un sistema de gestión, establecido según la Subparte B del Anexo III de la Comisión Implementing Regulation (EU) 2017/373 y cumpliendo con todos los requisitos de dicha Regulación.

5. Ha establecido un sistema de gestión de seguridad de la información.
6. Lleva a cabo una evaluación de seguridad para demostrar el cumplimiento de los objetivos establecidos para el servicio proporcionado en vista de las operaciones planeadas en dicho espacio aéreo U-Space. Para tal propósito, debe proporcionar seguridad, con suficiente confianza, a través de un argumento completo, documentado y válido de que su contribución a los objetivos del Artículo 2 se pueden cumplir.
7. Tiene un plan de negocios robusto indicando que puede cumplir sus obligaciones para proporcionar sus servicios de una forma continua durante un periodo de al menos 12 meses desde el inicio de las operaciones.
8. Tiene la responsabilidad requerida y la póliza de seguros apropiada al riesgo de los servicios proporcionados.
9. Tiene un plan de gestión de emergencias para asistir al operador de la aeronave que experimenta una emergencia y un plan de comunicación para informar a los afectados.

El Artículo 19 del *Draft on a high-level regulatory framework for the U-Space* de la Comisión Europea [12] habla de la validez de los certificados. Según este artículo:

1. Un certificado de proveedor de CIS y un certificado de proveedor de servicios U-Space debe permanecer válido mientras el proveedor de CIS y el proveedor de servicios U-Space cumplan los requisitos establecidos en esta Regulación.
2. Un certificado de proveedor de CIS y un certificado de proveedor de servicios U-Space no debe permanecer válido si el proveedor:
 - (a) No ha empezado operaciones en 6 meses después de que se haya emitido el certificado.
 - (b) Ha cesado en las operaciones durante más de 9 meses consecutivos.
3. La autoridad competente o la Agencia, según corresponda, debe evaluar el funcionamiento o el rendimiento financiero de un proveedor de CIS o de un proveedor de servicios U-Space bajo su jurisdicción.
4. La autoridad competente o la Agencia, según corresponda, puede, basado en el resultado de la evaluación en (3), imponer condiciones particulares al titular del certificado, suspender o revocar el certificado.

4. Análisis y capacidades de dispositivos de identificación remota de drones

Aunque los UAVs pueden volar de forma autónoma o en modo manual, en ambos casos se requiere un enlace con una estación de control en tierra (*ground control station* o GCS). En el modo de vuelo autónomo se usan habitualmente datos de GPS, mientras que en el modo de vuelo manual el dron se mueve bajo el control directo de un piloto que o bien tiene el dron en VLOS o que lo controla desde una cabina virtual.

El comportamiento de vuelo del piloto se puede monitorear grabando la secuencia de comandos de vuelo enviados al dron, o mediante la medición con sensores a bordo del dron que midan el comportamiento de este, o de ambas formas. La selección de una de estas metodologías dependerá de diversos factores, entre los cuales está el nivel de seguridad física (*security*) y el nivel de actuaciones del sistema [13]. En un principio, la primera metodología puede prevenir que le llegue una orden maliciosa al controlador de vuelo a bordo del UAV. Sin embargo, puede causar retraso en la ejecución de órdenes, deteriorando la capacidad de respuesta a las órdenes legítimas. Por el contrario, usar los sensores a bordo del UAV para analizar el comportamiento del piloto significa que las órdenes (tanto las legítimas como las maliciosas) ya han llegado al controlador de vuelo y han actuado.

4.1. Sistemas de detección de drones

La detección de drones es una tarea compleja debido a la gran variedad en las características de estos, además de a la presencia de objetos en el entorno que interfieren en la detección. A continuación se exponen diversos métodos de detección de drones.

DetECCIÓN ACÚSTICA

Este tipo de métodos se basan en usar micrófonos (los cuales suelen tener un rango de captación de 25-30 pies) para capturar sonidos ambiente. La base de esta metodología es que los UAV usualmente producen, debido a sus motores, un sonido típico estilo silbido que se encuentra en una frecuencia de alrededor de 40 kHz [14].

En [15] los autores proponen un sistema de clasificación de audio para la detección de drones basado en *Hidden Markov Models* (HMM) para identificar drones por los sonidos emitidos. En [16] los autores proponen un sensor acústico compuesto por una matriz de micrófonos de 120 elementos. Un algoritmo de imagen acústica determina en tiempo real el nivel de potencia acústica procedente de todas las direcciones, utilizando el desfase de las señales de sonido. Un algoritmo de seguimiento utiliza formación de haces para seguir y seleccionar las fuentes de sonido, que pueden ser utilizadas para identificar firmas sonoras con el fin de detectar identificadores.

Desafortunadamente, la detección acústica funciona bien en entornos silenciosos pero falla en condiciones ruidosas como por ejemplo en áreas urbanas con aglomeraciones de gente. Otro inconveniente es que no los sensores acústicos no se pueden montar sobre un dron de vigilancia, ya que el propio dron generaría interferencias.

Detección por vídeo

Para este tipo de detección se utilizan sensores de cámaras, tanto visuales como térmicas, con el fin de identificar objetos que se mueven en el área. Las cámaras comerciales pueden llegar a tener un rango operativo de unos 350 pies, lo cual es un área de vigilancia razonable.

Esta técnica se aprovecha de características como el color, líneas de contorno, formas y aristas para caracterizar un UAV y distinguirlo de otros cuerpos [17]. Además, para analizar otras características a lo largo de distintos frames del video, se utilizan algoritmos de detección de movimiento [18]. Esto es útil para distinguir objetos con formas similares como pueden ser los pájaros y los UAV mediante sus movimientos típicos.

Un inconveniente es que las cámaras son muy sensibles a las condiciones de iluminación. Además de esto, otro inconveniente es que las cámaras pueden identificar los objetos solo cuando están en su línea de visión.

Detección térmica

La detección térmica se puede utilizar en drones con motores térmicos. Este tipo de motores produce gases calientes que hacen que el dron se caliente [19]. Sin embargo, la amplia mayoría de drones comerciales son cuadricópteros eléctricos, los cuales no irradian suficiente calor para ser detectados con este método. Debido a esto, los costes de implementación de este método son altos comparados con el índice de identificación, con lo cual este método es normalmente usado conjuntamente con otros sistemas de detección de drones.

Un inconveniente importante de este método es que no se puede montar los sensores térmicos sobre un dron de monitorización, ya que la temperatura del dron en sí interferiría con las medidas de los sensores.

Detección por RADAR

Este método se basa en el principio electromagnético de retrodispersión para detectar los drones. El método RADAR tradicional en el caso de los aviones se basa en que estos exponen una gran sección pero en el caso de los drones esta sección suele ser en la mayoría de casos bastante pequeña [20].

Un gran inconveniente de este método es que depende de los materiales con los que esté construido el dron, ya que por ejemplo el plástico, al tener propiedades dieléctricas cercanas a las del aire, genera una pequeña reflexión de vuelta al transmisor. Debido a esto, se utilizan sensores RADAR modificados que utilizan la energía retrodispersada por los rotores y las hélices.

El método basado en RADAR puede ser implementado de una forma bastante portátil, con lo cual puede ponerse a bordo de un dron de monitorización [21].

Detección por radiofrecuencia

Este método se aprovecha del hecho de que los UAV se comunican con el controlador en tierra mediante señales de radiofrecuencia. Los protocolos de comunicación de drones muy

a menudo utilizan las mismas bandas de frecuencia también usadas por las transmisiones WiFi, en particular en el rango de 2.4 a 5 GHz.

Además, los drones equipados con cámaras normalmente transmiten una señal de vídeo a su unidad de control en el mismo canal. La detección por radiofrecuencia tiene un rango efectivo muy grande, por encima de los 1400 pies [14]. Un problema menor de esta técnica es que el índice de detección depende en gran medida en la potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor.

Se han propuesto nuevos métodos que se basan en *Software Defined Radio* (SDR). En [22] se presenta una solución donde se propone un sistema distribuido para identificar la apariencia y la posición aproximada de drones no deseados integrando transeceptores SDR y sensores acústicos inalámbricos.

Detección por WiFi

La mayoría de drones comerciales están diseñados para ser pilotados mediante la señal WiFi, para permitir a amateurs utilizar sus propios *smartphones* para controlar los drones. Este tipo de drones normalmente proporcionan una funcionalidad de vídeo en vista de primera persona (FPV, por sus siglas en inglés de *First Person View*) para retransmitir el vídeo de su cámara incorporada directamente a la pantalla del *smartphone*.

Existen pocas investigaciones sobre la utilización de señal WiFi para detectar la presencia de drones no autorizados. La idea principal es capturar flujos de paquetes pertenecientes al control de drones y transmisiones de video, utilizando un rastreador de paquetes inalámbrico en el canal WiFi.

Este método está a veces incorporado en drones especiales para localizar otro tipo de dispositivos cercanos [23]. Sin embargo, estas técnicas están normalmente basadas en un conocimiento previo de la aeronave, como puede ser información sobre el identificador único del vendedor que se usa para identificar el emisor o receptor de paquetes específicos [14].

En [24] se presenta una solución que se basa en el análisis de la huella estadística del tráfico de WiFi para identificar la presencia de un dron. Este método no requiere de información previa para detectar un dron, a diferencia de los anteriores.

4.2. Comunicación por radio y sistema ADS-B

Hoy en día existe una gran cantidad de radios terrestres a nivel mundial que envían unas señales conocidas como señales *ping*. Estas señales normalmente son respondidas por transpondedores situados en los aviones, siendo el sistema ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance Broadcast*) de los más conocidos.

Este sistema no solamente sirve para los aviones convencionales, sino que también se podría incorporar a determinados drones. Sin embargo, debido al gran tamaño y peso del sistema, en general sólo se podrá incorporar en drones que tengan una alta capacidad de carga.

Este sistema envía datos en el canal de frecuencia 1090 Hz en periodos regulares de un segundo y se caracteriza por ofrecer una mejor seguridad y eficacia de vuelo a pilotos y

controladores aéreos. En el caso de los drones es interesante ya que, al permitir controlar el tráfico aéreo, se podrían localizar todos los drones en un mapa, con lo cual se mejoraría la seguridad aérea. Además cabe destacar que este sistema es capaz de recibir información externa (como información meteorológica) y de enviar mensajes de emergencia, y es un sistema con bajo coste en comparación con otros sistemas radar.

4.3. Comunicación por GPS y tecnología GSM

Otro sistema consiste en incorporar un GPS (*Global Positioning System*) en el dron de forma que reciba la información geográfica y mediante tecnología GSM (*Global System for Mobile*) que envíe los datos a un servidor.

Hoy en día, la mayoría de lugares del mundo están conectados mediante redes 4G, con lo cual el uso de la tecnología GSM para enviar los datos a un servidor es posible implementando en el dron un receptor de señal 4G.

4.4. Protección de la privacidad para el Internet de los Drones

El conocido como Internet de los Drones [25] ha ido ganando popularidad debido a el potencial de ser usados en diversas aplicaciones como por ejemplo la vigilancia o la fotografía aérea. En la Figura 8 se muestra un sistema típico del internet de los drones aplicado para vigilancia.

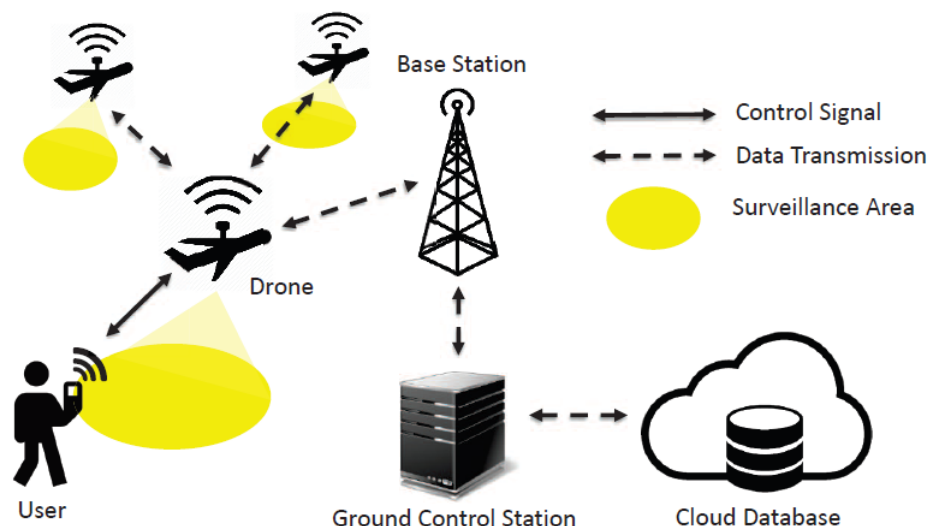


Figura 8: Un sistema típico del internet de los drones para vigilancia [5]

Como se puede apreciar en la Figura 8, un usuario controla uno o diversos drones para recoger información de interés para posteriormente ser enviada a la estación de control en tierra (GCS) y externalizada a la nube para analizar los comportamientos que interesen.

Debido a que la información puede ser sensible, proteger la privacidad de la nube de información del internet de los drones es de vital importancia [26]. Sin embargo, existen

diversos desafíos a los que las técnicas de seguridad actuales deberán hacer frente para proteger los datos de la nube del internet de los drones [27].

En la actualidad se está trabajando en diversas técnicas para mejorar la privacidad en el internet de los drones como la que se muestra en [5].

5. Análisis y viabilidad del dispositivo de identificación remota con tarjeta SIM

En el año 2017, la multinacional Vodafone junto con CATEC (Centro Avanzado de Tecnologías Aeroespaciales) fue la primera compañía telefónica en ofrecer una conexión entre un dron y un servidor. Se adaptó el hardware y el software de un dron para conectarlo con la red móvil 4G de Vodafone con lo cual se consiguió por primera vez controlar y posicionar un dron conectado con una tarjeta SIM con la red de la compañía.

La tecnología utilizada se basa en el RPS (Radio Positioning System), en la cual Vodafone lleva trabajando desde 2014 en su Centro de Excelencia de Red y que ha implementado junto con Huawei [28].

5.1. Tecnología RPS

En el año 2016 Vodafone presentó la tecnología RPS en el Mobile World Congress, momento en el cual llevaban desarrollando dicha tecnología 3 años. En dicho momento, la tecnología servía para facilitar la geolocalización de dispositivos con una tarjeta SIM con un margen de error de 60 metros y aunque la tecnología está registrada por el operador, también está publicada para su uso libre [29].

Esta tecnología permite que se estime de forma muy precisa la posición de la SIM sin necesidad de colaboración del dron o de su señal GPS, con lo cual proporciona un mayor nivel de robustez y protección ante intentos de falsificar o inutilizar dicha señal GPS. El responsable del proyecto afirmaba que además de todo esto, en caso de perder la cobertura, el dron volvería de forma automática a la base.

Con la llegada del 5G y el gran interés en la tecnología RPS, en el 2020 Vodafone desarrolló el sistema con un receptor 5G, con lo cual se mejoró de forma notable la comunicación con los drones. De esta forma, los problemas de conflictos de proximidad entre drones se solucionarían con un mayor nivel de seguridad.

5.2. Arquitectura del sistema

Para realizar las pruebas se usó una red de servidores conectados entre ellos [6]. El objetivo era comparar en tiempo real la posición GPS con la posición obtenida con el RPS a lo largo de la ruta del dron, además de indicar otra información en tiempo real como la adquisición del plan de vuelo o el indicador de nivel de señal 4G.

El esquema del sistema que se montó para la prueba se muestra en la Figura 9:

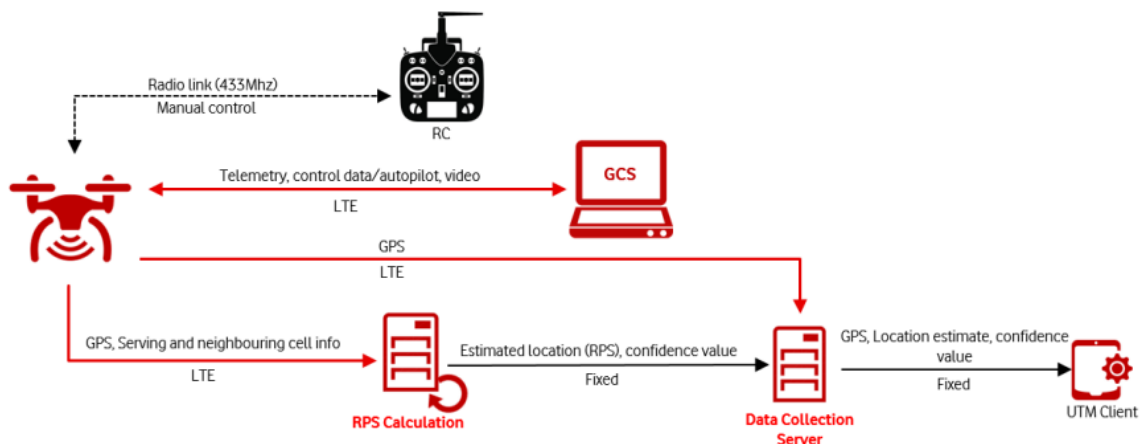


Figura 9: Esquema del montaje para la prueba [6]

La identificación del dron estaba basada en un identificador que se transmitía en banda junto con la telemetría, y en el puerto UDP (*User Datagram Protocol*) de destino al que se enviaba la telemetría (con diferentes identificadores para cada SIM).

Hay que tener en cuenta que este esquema es el del montaje para la prueba, mientras que en el caso de un escenario comercial el sistema diferenciaría a los usuarios simplemente mediante la tarjeta SIM. Poner tarjetas SIM en drones comerciales hace que tengan identificadores únicos que estén relacionados con un dueño u operador determinado. La SIM proporciona una capa adicional de seguridad en hardware y en software con protocolos probados, y se puede aplicar un cifrado adicional a todas las comunicaciones a través de una red móvil según los requisitos del usuario [6]. Para el montaje comercial, el RPS se implementaría como se muestra en la Figura 10:

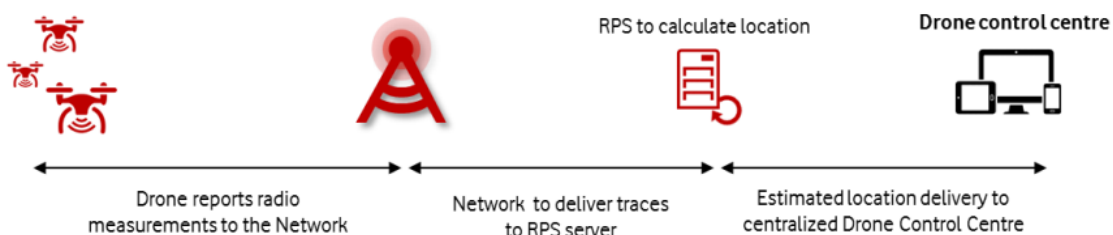


Figura 10: Esquema del montaje comercial [6]

El sistema RPS podría ser implementado en una plataforma virtualizada o un servidor ubicado en el lado de la red, y podría estar compuesto de los siguientes módulos [6]:

- Módulo de ingesta: Recoge en tiempo real las señales del sistema de soporte a las operaciones de la red.
- Módulo RPS: Post-procesa las señales y aplica un algoritmo RPS para localizar a los usuarios.

- Módulo de salida: Ofrece en tiempo real las ubicaciones de todas las aeronaves cuya señal se ha recibido a cualquier plataforma que lo requiera, como por ejemplo un centro de control de tráfico de drones.

5.3. Servidor de cálculos RPS

Este servidor es el encargado de procesar la telemetría enviada por el teléfono ubicado en el dron. Esta telemetría incluye las coordenadas GPS del dron además de información sobre la red 4G en la ubicación del dron, ambas necesarias para contruir la base de datos RPS.

Cuando se ha creado la base de datos, el servidor es capaz de proporcionar una estimación casi en tiempo real de la posición del dron basándose únicamente en la información de la red móvil.

Para la prueba que realizaron en Vodafone, el retraso total del procesamiento en estimar la posición del dron era de alrededor de 8 segundos [6]. El algoritmo que desarrollaron también estima la desviación estándar para cada estimación de geo-localización, la cual es usada como un valor de confianza.

La localización estimada se envía finalmente al servidor junto con otros parámetros 4G. Hay que tener en cuenta que también se dispone de un servidor de recopilación de datos que sincroniza la información recibida del dron y del servidor de cálculos RPS para construir una base de datos que el cliente UTM usa para mostrar posiciones reales y estimadas, además de otros parámetros de la red 4G.

5.4. RPS y valor de confianza

El RPS es una solución al problema de geolocalización que está basada en la técnica de la huella digital de radio (*radio fingerprint technique*). El algoritmo del RPS de Vodafone se ha validado al nivel del suelo consiguiendo una precisión mejor a 60 m para el 67% de los dispositivos, lo cual es un valor cercano al objetivo teórico de la técnica de huella digital [6]. La aplicación del RPS a escenarios con drones representa una buena alternativa cuando el GPS no está disponible o este no es fiable.

El sistema RPS incorpora dos elementos principales: la base de datos de la huella digital de radio (*Radio Fingerprint Database*) y el uso de información de red móvil ubicua (*Ubiquitous Mobile Network Information*).

5.4.1. Radio Fingerprint Database

Esta base de datos es un mapa donde se conocen las condiciones de radio sobre el área geográfica. Los informes de medición de radio de los dispositivos móviles almacenados en la base de datos, incluida la posición GPS obtenida, miden los niveles de señal y también la información de tiempo.

Esta información estará continuamente disponible para aquellos drones que informen de sus coordenadas GPS de forma precisa (los cuales serán la amplia mayoría de drones),

con lo cual el RPS se comporta como un sistema de inteligencia artificial que continuamente está aprendiendo y adaptándose a cualquier cambio en la red.

5.4.2. Ubiquitous Mobile Network Information

El segundo elemento es el posicionamiento de los dispositivos móviles usando el *Ubiquitous Mobile Network Information*. Este elemento está compuesto por tres pasos [6]:

1. *Bounding*: Donde se preseleccionan muestras de la base de datos con el mismo identificador (*cell ID*) que el usuario a localizar y con una información temporal similar, para ser post-procesada minimizando el retraso global.
2. *Look-up*: Donde, dentro de las muestras delimitadas, el algoritmo busca las que tienen características de radio similares (nivel de señal) a las del dron a localizar.
3. *Calculation*: Donde la ubicación estimada se calcula como la mediana de la latitud/longitud de las muestras, junto con filtros de suavizado, para proporcionar la ubicación final del dron.

5.5. Valor de confianza del RPS

Como en cualquier sistema de geo-localización, puede haber un grado de incertidumbre. Para estimar esta incertidumbre se está desarrollando una estimación del valor de confianza para el sistema RPS [6]. Como la mayoría de las fuentes de error se pueden considerar aleatorias y sin correlación, es razonable asumir que el proceso de error seguirá una distribución normal (o Gaussiana).

Esto es asumir que no existen errores sistemáticos (como una base de datos de referencia escasamente poblada) lo cual puede llevar a un sesgo en la estimación de la ubicación. Las pruebas realizadas hasta la fecha han sido llevadas a cabo en ubicaciones que han sido bien calibradas y donde la estimación de la geo-localización es normalmente imparcial.

Debido a que la estimación de la geo-localización es bivariante (latitud y longitud), la distribución del error se asume que es un proceso normal bivariable con una desviación estándar igual en los errores de latitud y de longitud. Esto será cierto si la dirección de vuelo del dron puede seguir cualquier eje (en los casos donde esta suposición no se sostenga, como por ejemplo en corredores lineales donde el dron tenga que volar a lo largo de una dirección principal, ésta suposición deberá ser modificada). Sin embargo, la desviación estándar variará espacialmente (ya que algunas ubicaciones conllevarán mejores estimaciones de geo-localización que otras) y posiblemente también temporalmente. Por lo tanto, el método escogido ha sido estimar la desviación estándar del error de forma separada para cada estimación de geo-localización.

Generar y mostrar valores de confianza es por lo tanto equivalente a estimar la desviación estándar del error para una determinada estimación de geo-localización y a mostrar un círculo proporcional a dicha estimación.

La desviación estándar se estima generando múltiples estimaciones de geo-localización usando factores de peso diferentes para la fiabilidad de las medidas de radio recibidas.

Si las diferentes estimaciones están estrechamente agrupadas, esto sugiere una estimación confiable, mientras que las estimaciones ampliamente distribuidas sugieren una estimación poco confiable. La estimación de geo-localización informada es la media de las diferentes estimaciones calculadas, y la desviación estándar se deriva de las compensaciones entre las estimaciones individuales y la media. Esto asume que no hay un sesgo sistemático en las diferentes estimaciones, lo cual no sería completamente cierto.

6. Generación de una API para integrar los datos del identificador

6.1. Introducción

La idea inicial era desarrollar un simulador de centro de mando para la monitorización de flotas de drones y la gestión de los mismos. Ya se explica brevemente en el Subapartado 5.2 como se podría realizar un montaje para captar la señal de los drones mediante una tarjeta SIM de Vodafone si se accediese a la tecnología RPS del departamento.

Sin embargo, al no disponer del tiempo necesario para explicar al alumno a hacer uso de la tecnología del departamento para dicha tarea, se ha optado por realizar un simulador que capte la señal de la antena de la UPV. Dicha antena capta los aviones cercanos, de forma que se puede obtener las coordenadas de cada avión dentro del radio de captación de la antena.

De esta forma se puede simular una especie de centro de mando para la monitorización de dichos aviones, lo cual es, salvando las distancias, similar a lo que se haría con un simulador de centro de mando de flotas de drones. Entre las cosas que serían diferentes, entre ambos tipos de aeronaves habría que destacar la altitud de vuelo. Un avión comercial puede volar a una altitud de unos 40000 pies, mientras que un dron que vuele operaciones VLL no puede volar a alturas de más de 500 pies AGL (*Above Ground Level*).

6.2. Simulador de vuelo de los aviones de la antena

En este apartado se va a explicar las funcionalidades del programa, además de explicar brevemente el código para cada una. En las Figuras 11 y 12 se muestra la pantalla inicial del programa y el simulador en pleno funcionamiento, respectivamente.



Figura 11: Pantalla inicial del programa

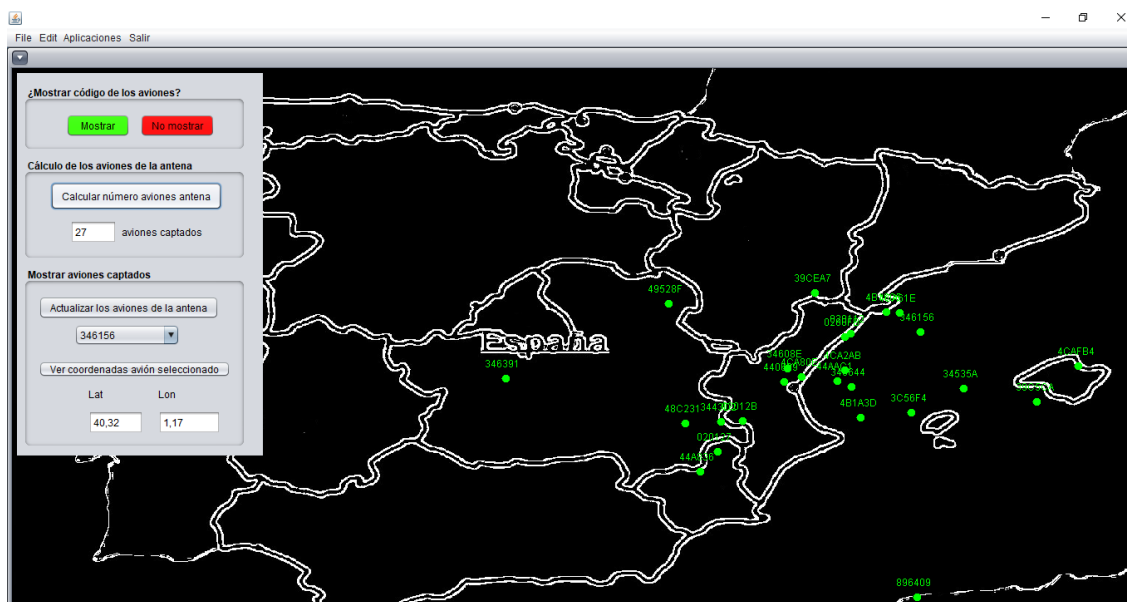


Figura 12: Simulador en pleno funcionamiento

A continuación se va a explicar las funcionalidades del programa una por una.

6.2.1. Mostrar los aviones en el mapa

Para mostrar el mapa con los aviones que se encuentran volando se hace uso de la clase `MapSpain`, cuyo `Main` se muestra en la Figura 13. Se puede ver como se genera el área en la cual se fijará el mapa dándole los valores correspondientes a las coordenadas de los extremos del mapa. Después de eso se pone a `True` el booleano `pinta` para que se puedan ejecutar las funciones `pintaFondo` y `pintaAviones` que se muestran en las Figuras 14 y 15 respectivamente. En el `Main` de `MapSpain` también se obtiene los aviones de la antena de la UPV.

```

public MapSpain(Dimension tamaño) {
    areaMapa = new Rectangle2D.Double(lonWest, latNorth, lonEast - lonWest, latNorth - latSud);
    this.tamaño = tamaño;
    this.setSize(tamaño);
    initComponents();

    ((Paint)mapaPanel).setTamaño(tamaño);
    ((Paint)mapaPanel).setAreaMapa(areaMapa);
    ((Paint)mapaPanel).setPinta(true);

    try {
        tgm = new TrafficGraphicsMap("servantena.etsid.upv.es", 30002, this);
    } catch (IOException ex) {
        Logger.getLogger(MapSpain.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }
    tgm.startit();

    ((Paint) mapaPanel).setTrafficGenerator(tgm);
    ((Paint)mapaPanel).repaint();
}

```

Figura 13: Main de la clase *MapSpain*

La función *pintaFondo* de la Figura 14 muestra el mapa de España que servirá como fondo sobre el cual se representarán los aviones que capta la antena.

```

private void pintaFondo(Graphics2D g2) {
    BufferedImage fondo = null;
    try {
        fondo = ImageIO.read(new File("src/resources/mapa.JPG"));
    } catch (IOException ex) {
        Logger.getLogger(Paint.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }
    g2.drawImage(fondo, 0, 0, tamaño.width, tamaño.height, null);
}

```

Figura 14: Función *pintaFondo*

Por otro lado, la función *pintaAviones* obtiene las coordenadas de los aviones y los pinta en color verde sobre el mapa de fondo. Para ello, las coordenadas han sido modificadas para poder pintar las coordenadas en la posición correspondiente en el mapa. El cambio de coordenadas realizado es:

$$coordX = ancho \cdot (lon - lonWest) / (lonEast - lonWest) \quad (1)$$

$$coordY = alto \cdot (latNorth - lat) / (latNorth - latSud) \quad (2)$$

donde *coordX* y *coordY* son las coordenadas X e Y normalizadas para poder representarse en el panel del mapa, *ancho* es el ancho del panel del mapa, *alto* es la altura del panel del mapa, *lat* es la latitud del avión a representar, *lon* es la longitud a representar y *latNorth*, *latSud*, *lonEast* y *lonWest* son las coordenadas de los extremos del panel. La Figura 15 muestra la función *pintaAviones* mencionada.

```
private void pintaAviones(Graphics2D g2) {
    TrafficGraphics[] fo = tgm.getTraffics();
    for (int k = 0; k < fo.length; k++) {
        // Pinta en el caso de que las coordenadas esten en el mapa
        if ((fo[k].coordX > 0) && (fo[k].coordY > 0) && (fo[k].coordX <= tamaño.width) && (fo[k].coordY <= tamaño.height)) {
            xAntena[k] = (int) (fo[k].coordX);
            yAntena[k] = (int) (fo[k].coordY);
            hexIdAntena[k] = fo[k].HexIdent;
            // Si ha sido introducido un avión
            g2.setColor(Color.green);
            g2.fillOval(xAntena[k], yAntena[k], 10, 10);
        }
    }
}
```

Figura 15: Función *pintaAviones*

6.2.2. Mostrar el código de identificación de los aviones

Esta funcionalidad consiste en, mediante los botones que se muestran en la Figura 16, elegir si se muestran los códigos de identificación de cada aeronave sobre los puntos en el mapa.

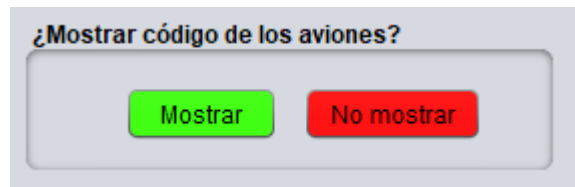


Figura 16: Panel de elección de mostrar código de identificación

En las Figuras 17 y 18 se muestra como queda el simulador cuando se muestran los códigos de identificación de las aeronaves y cuando no, respectivamente.

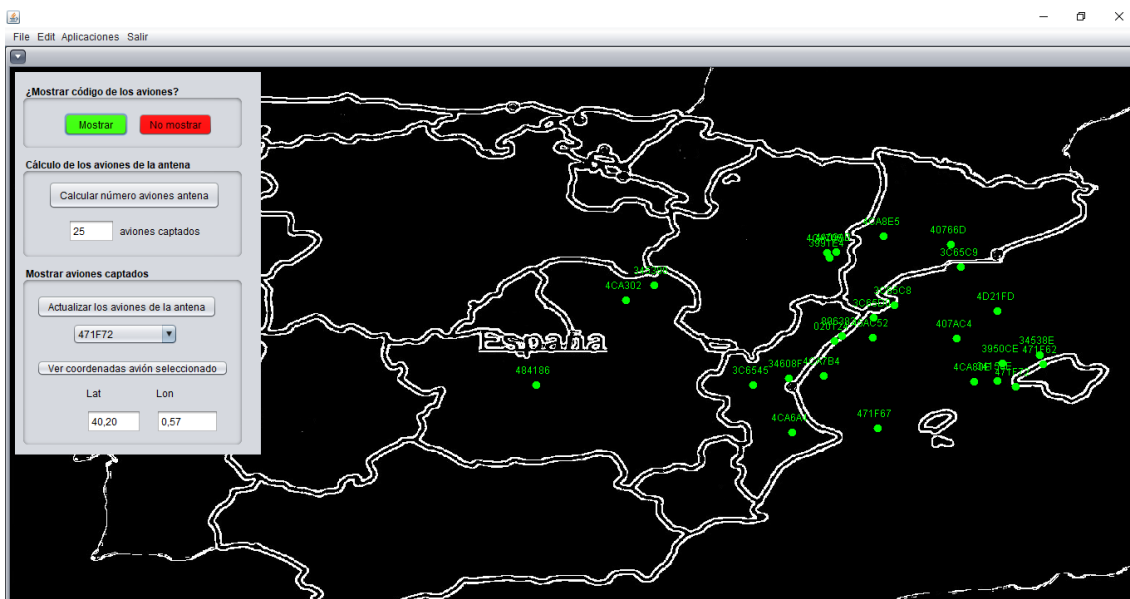


Figura 17: Simulador en funcionamiento con los códigos de identificación de los aviones visibles en el mapa

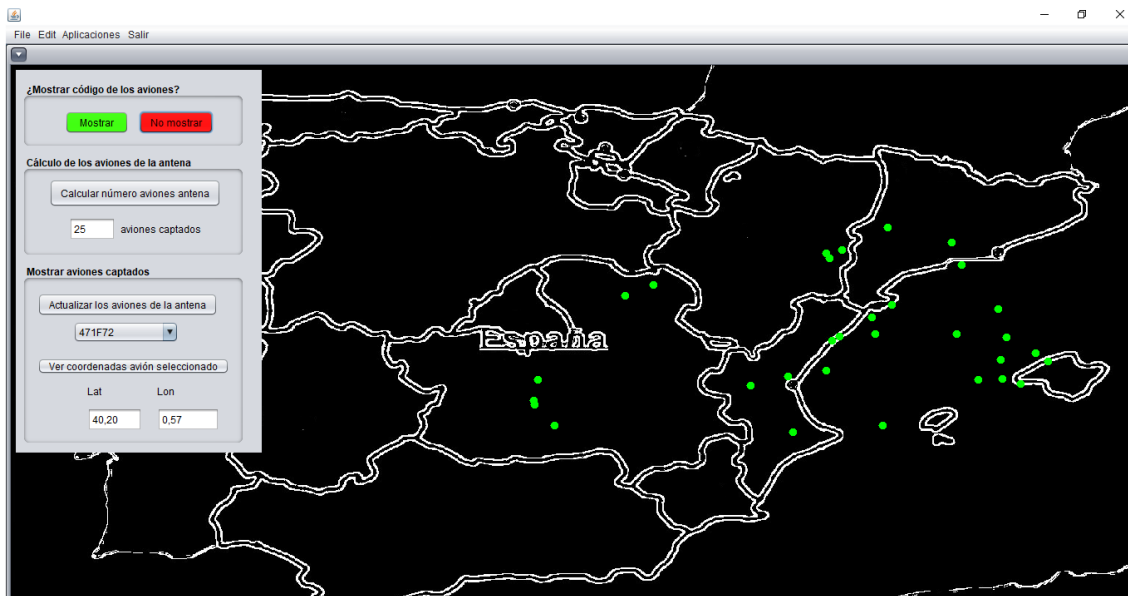


Figura 18: Simulador en funcionamiento con los códigos de identificación de los aviones no visibles en el mapa

Para conseguir esta funcionalidad se tiene una variable booleana llamada *pintaCodigo* que cuando es *True* ejecuta la función *pintaCodigoAviones* que es la que permite pintar el código en el mapa. La variable *pintaCodigo* simplemente se pondrá en *False* cuando se pinche el botón rojo de *No mostrar* y se pondrá en *True* cuando se pinche el botón verde de *Mostrar*, tal y como se muestra en la Figura 19.

```
private void mostrarCodigoButtonActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    ((Paint)mapaPanel).setPintaCodigo(true);
}

private void nomostrarCodigoButtonActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    ((Paint)mapaPanel).setPintaCodigo(false);
}
```

Figura 19: Código en Java de los botones Mostrar/No mostrar

En cuanto a la función *pintaCodigoAviones*, esta se muestra en la Figura 20. Se ve como en la función, en el caso de que las coordenadas estén dentro del mapa, se muestran los códigos de identificación al lado de los puntos que marcan la posición de cada avión.

```
private void pintaCodigoAviones(Graphics2D g2) {
    TrafficGraphics[] fo = tgm.getTraffics();
    for (int k = 0; k < fo.length; k++) {
        // Pinta en el caso de que las coordenadas esten en el mapa
        if ((fo[k].coordX > 0) && (fo[k].coordY > 0) && (fo[k].coordX <= tamaño.width) && (fo[k].coordY <= tamaño.height)) {

            // Si ha sido introducido un avión
            g2.setColor(Color.green);
            g2.drawString(hexIdAntena[k], xAntena[k] - 20, yAntena[k] - 8);
        }
    }
}
```

Figura 20: Función *pintaCodigoAviones*

6.2.3. Contar el número de aviones captados por la antena

La siguiente funcionalidad consiste en mostrar en un panel el número de aviones que capta la antena. Se muestra en la Figura 21 dicho panel.

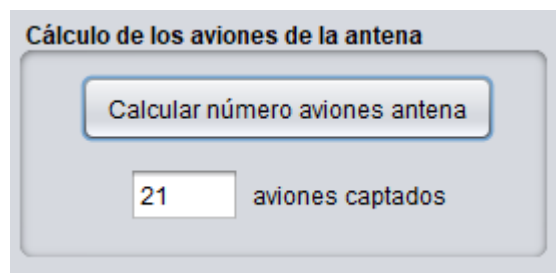


Figura 21: Panel donde se muestra el número de aviones captados por la antena

Para realizar la cuenta de los aviones captados se utiliza la función *cuentaAviones* que se muestra en la Figura 22.

```
private void cuentaAviones() {
    TrafficGraphics[] fo = tgm.getTraffics();
    for (int k = 0; k < fo.length; k++) {
        // Pinta en el caso de que las coordenadas esten en el mapa
        if ((fo[k].coordX > 0) && (fo[k].coordY > 0) && (fo[k].coordX <= tamaño.width) && (fo[k].coordY <= tamaño.height)) {
            xAntena[k] = (int) (fo[k].coordX);
            int numAvionesTemp = 0;
            for (int numStr = 0; numStr < xAntena.length - 1; numStr++) {
                if (xAntena[numStr] != 0) {
                    numAvionesTemp++;
                }
            }
            numAviones = numAvionesTemp;
        }
    }
}
```

Figura 22: Función *cuentaAviones*

Como se puede ver en la Figura 22 , la función *cuentaAviones* lo que hace es buscar en el *array* de la coordenada X del avión los valores que no son nulos y los cuenta, de esta forma puede identificar la cantidad de aviones que capta la antena.

6.2.4. Mostrar aviones captados y sus coordenadas

Esta funcionalidad consiste en que la antena capta los aviones y muestra sus coordenadas de latitud y longitud en grados. Para ello, primero se muestran sus códigos en el desplegable cuando se presiona el botón de *Actualizar los aviones de la antena* como se muestra en la Figura 23 y posteriormente se selecciona del desplegable el avión de interés y se obtienen las coordenadas del avión presionando el botón *Ver coordenadas del avión seleccionado* como se muestra en la Figura 24.

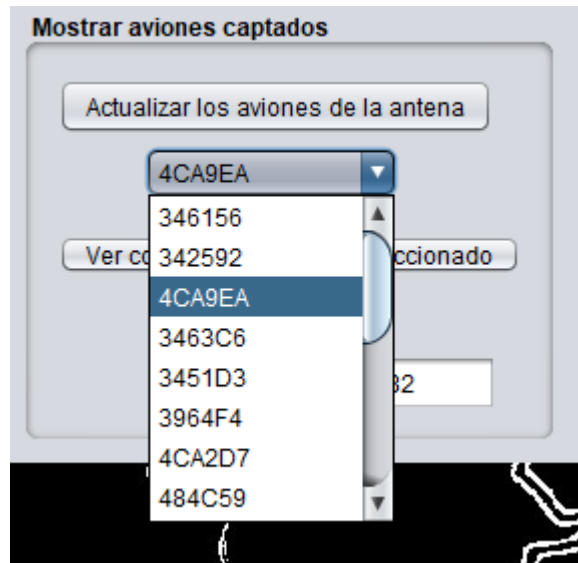


Figura 23: Desplegable donde se muestran los códigos de identificación de los aviones captados

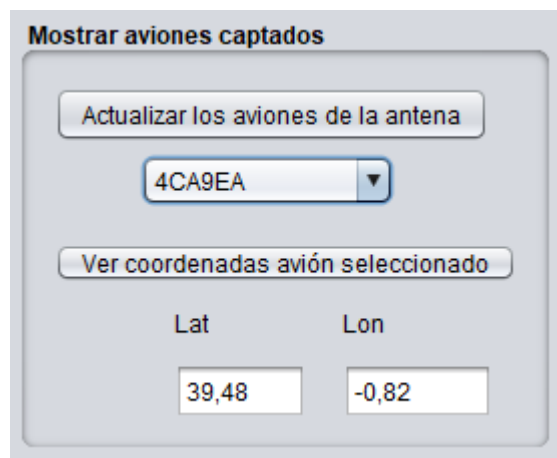


Figura 24: Panel donde se muestran las coordenadas del avión seleccionado

Para mostrar los códigos de los aviones en el desplegable tal y como se muestra en la Figura 23, el botón de *Actualizar los aviones de la antena* irá añadiendo en el desplegable los aviones del *string* de códigos de identificación de los aviones, asegurándose de solamente

coger los elementos que no sean nulos, para evitar que coja elementos del *string* que aún no han sido utilizados. El código de funcionamiento de este botón se muestra en la Figura 25.

```
private void actualizarAvionesButtonActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    avionComboBox.removeAllItems(); // Para poder actualizar correctamente hay que borrar los aviones de antes
    String[] avionesCombo = ((Paint)mapaPanel).getHexIdAntenaCombo();
    for(int i=0;i<avionesCombo.length;i++){
        if(avionesCombo[i] != null){
            avionComboBox.addItem(avionesCombo[i]);
        }
    }
}
```

Figura 25: Código del botón de *Actualizar los aviones de la antena*

Como se ha dicho más arriba, una vez ya se tiene el desplegable con los códigos, se puede pulsar el botón de *Ver coordenadas avión seleccionado* para ver las coordenadas del avión que se haya seleccionado en el código. Al presionar dicho botón, se obtiene el índice del avión seleccionado en el desplegable y se obtienen la latitud y la longitud (deshaciendo el cambio de coordenadas anteriormente explicado de las Ecuaciones 1 y 2 para mostrar los aviones en el mapa) que tienen dicho índice para posteriormente mostrarlas en los campos de texto correspondientes. El código de funcionamiento de este botón se muestra en la Figura 26.

```
private void verCoordenadasButtonActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    int indiceAvion = avionComboBox.getSelectedIndex();
    double coordxAvionSelec = ((Paint)mapaPanel).getxAntenaCombo()[indiceAvion];
    double coordyAvionSelec = ((Paint)mapaPanel).getyAntenaCombo()[indiceAvion];

    int pantallaWidth = ((Paint)mapaPanel).getTamañoWidth();
    int pantallaHeight = ((Paint)mapaPanel).getTamañoHeight();

    double coordXbien = coordxAvionSelec/pantallaWidth;
    double coordYbien = coordyAvionSelec/pantallaHeight;

    latTextField.setText(String.format("%.2f", -(coordYbien*(latNorth-latSud)-latNorth)));
    lonTextField.setText(String.format("%.2f", coordXbien*(lonEast-lonWest)+lonWest));
}
```

Figura 26: Código del botón de *Ver coordenadas del avión seleccionado*

En los dos botones explicados se puede ver como se utilizan *getters* para obtener los códigos de identificación de los aviones y sus coordenadas. Esto se hace porque estos se obtienen en la clase *Paint*, concretamente en la función *comboAviones* que se muestra en la Figura 27. Como se puede ver, en dicha función se obtienen las coordenadas y los códigos de identificación de los aviones que se muestran en el mapa.

```
private void comboAviones() {
    TrafficGraphics[] fo = tgm.getTraffics();
    for (int k = 0; k < fo.length; k++) {
        // Pinta en el caso de que las coordenadas esten en el mapa
        if ((fo[k].coordX > 0) && (fo[k].coordY > 0) && (fo[k].coordX <= tamaño.width) && (fo[k].coordY <= tamaño.height)) {
            xAntenaCombo[k] = (int) (fo[k].coordX);
            yAntenaCombo[k] = (int) (fo[k].coordY);
            hexIdAntenaCombo[k] = fo[k].HexIdent;
        }
    }
}
```

Figura 27: Función *comboAviones*

7. Conclusiones y trabajos futuros

7.1. Conclusiones

A pesar de no haber podido realizarse el simulador para monitorizar los drones por no disponer del tiempo necesario para explicar al alumno a hacer uso de la tecnología necesaria para captar drones del departamento, se ha conseguido el objetivo principal puesto que se ha desarrollado un simulador de centro de mando donde se pueden monitorizar los aviones que capta la antena de la UPV. Este tipo de simulador se podría adaptar para monitorizar drones simplemente si se captase la señal de los drones con algún dispositivo, y podría tener las mismas funcionalidades que el simulador que se ha mostrado en el trabajo. Con las funcionalidades implementadas, el operador podría monitorizar los drones fácilmente y de forma eficiente.

Por otra parte, se han conseguido otros objetivos como comprender un poco más los diversos métodos de detección y monitorización de drones, comprender el tipo de operaciones con drones según la visibilidad que se tiene de este, o entender qué es el espacio aéreo VLL y cómo se subdivide. Esto es importante puesto que así se puede ver un poco el estado del arte actual en detección de drones, se puede apreciar la variedad de tipos de operaciones con drones y se puede entender en más profundidad el espacio aéreo más común para los drones (el espacio aéreo VLL).

También se ha desarrollado la normativa U-Space y se ha explicado los diversos servicios que presta esta normativa, teniendo en cuenta que esta puede seguir desarrollándose a futuro para adaptarse a la evolución de las operaciones con drones y sus necesidades. Esta normativa servirá de base para ver por donde evoluciona el sector de los drones, el cual en un futuro no muy lejano cobrará cada vez más importancia.

Finalmente, hay que tener en cuenta que el sector de los drones está evolucionando a grandes pasos y en unos años es muy posible que esté mucho más desarrollado, con lo cual es importante estar al día en los avances en la normativa y la tecnología del sector.

7.2. Trabajos futuros

Como ya se ha comentado, al no disponer del tiempo necesario para explicar al alumno a hacer uso de la tecnología necesaria del departamento, no se ha podido realizar el simulador para monitorizar drones. Un posible trabajo futuro sería, accediendo a la tecnología necesaria, desarrollar el simulador y adaptarlo para monitorizar drones, el cual era el objetivo inicial del trabajo.

En cuanto al simulador desarrollado, este se podría mejorar de forma que, cuando se seleccionase un avión en el desplegable, el avión en el mapa cambiase de color para ver qué avión se está monitorizando. Relacionado con esto, el siguiente paso sería que se pudiese pinchar sobre un avión en el mapa y que este cambiase de color y se seleccionase el código de este en el desplegable y de esta forma se pudiese obtener las coordenadas de este avión y sería más fácil de monitorizar. Ambas mejoras serían de gran utilidad para el operador del programa puesto que facilitaría las tareas de monitorización al hacer el trabajo más visual.

También sería interesante incluir las alturas sobretodo en el caso de los drones puesto que pueden volar a distintas alturas pero en las mismas coordenadas e indicar si dos aeronaves tienen riesgo de chocar si su distancia es menor a cierto valor predeterminado de seguridad.

Otra posibilidad sería que el programa fuese capaz de exportar los datos a bases de datos externas y gestionarlos mediante algún software de gestión de datos como PostgreSQL para así poder visualizar los datos externamente en algún SIG (Sistema de Información Geográfica) el cual muy posiblemente podría proporcionar más datos.

Otra posible opción con exportar los datos a bases de datos externas sería útil en caso de querer reconstruir las rutas que realiza cada aeronave. De tal forma, se obtendrían los diversos puntos por los cuales pasa cada aeronave y posteriormente se podría realizar un estudio de cada ruta y ver posibles mejoras en éstas.

ANEXOS

A. Presupuesto

A.1. Introducción

En esta sección se desglosan los costes que conllevaría realizar un proyecto de características similares al presente por parte de una empresa privada. Al tratarse de un proyecto donde se realiza un estudio teórico de la legislación de los drones y del estado del arte actual, y donde se desarrolla un simulador de centro de mando para monitorizar drones, el coste principalmente se deberá a esta búsqueda de información y al desarrollo de esta aplicación mediante software informático.

Para el desglose del presupuesto se tendrá en cuenta los costes de la mano de obra, el coste del hardware y del software informático, el coste de la búsqueda y adquisición de material bibliográfico y el coste de las instalaciones acondicionadas para realizar el trabajo.

A.1.1. Costes de la mano de obra

Para este trabajo han trabajado dos personas, una como autor principal del trabajo (el alumno) y otra persona como colaborador en el trabajo (el tutor) que ha aportado su mayor experiencia en el sector:

- Autor principal del trabajo: Un Ingeniero Aeronáutico Superior en calidad de Ingeniero Junior, con un sueldo bruto anual de 19500 €.
- Colaborador en el trabajo: Un Ingeniero Superior con una experiencia profesional de más de 10 años y con un sueldo bruto anual de 40000 €.

En la siguiente tabla se muestra el coste por hora de la mano de obra de cada tipo de integrante del equipo de trabajo, asumiendo que la jornada laboral es de 8 horas al día y que hay unos 250 días laborables al año:

Persona	Sueldo bruto anual	Seguridad social (a cargo de la empresa) *	Coste total anual	Coste mano de obra por hora
Autor principal	19500 €	6825 €	26325 €	13.16 €
Colaborador	40000 €	14000 €	54000 €	27.00 €

Tabla 2: Coste mano de obra por hora

(*En España de un 30-40 %, se ha escogido un 35 %).

A continuación se estimará el número de horas empleadas para la realización del estudio para así finalmente obtener el coste total de la mano de obra.

Descripción	Coste por hora	Número de horas	Coste total
Alumno	13.16 €	450 h	5922 €
Tutor	27.00 €	5 h	135 €
Coste total			6057 €

Tabla 3: Costes mano de obra

A.1.2. Material bibliográfico

La bibliografía empleada ha sido obtenida a través de Internet, con lo cual se asigna un coste de 15 € por cada recurso bibliográfico basándose en el tiempo de búsqueda del autor principal del trabajo. Teniendo en cuenta que se ha hecho uso de 32 recursos bibliográficos, el coste de material bibliográfico asciende a 480 €.

A.1.3. Costes informáticos

Para la realización del trabajo se ha hecho uso de 2 ordenadores, uno de sobremesa y uno portátil:

Equipo	Coste
Ordenador portátil	700 €
Ordenador de sobremesa (incluyendo teclado, ratón y pantalla)	1200 €
Total	1900 €

Tabla 4: Costes del hardware

Se considera por lo tanto un coste de 1900 € del equipo informático de las personas involucradas en el trabajo con una vida útil de unos 5 años. Como se considera que el trabajo ha sido de unos 6 meses, se obtiene un coste aproximado de 190 €, que tras añadirle los costes de la energía eléctrica, conexión a Internet y mantenimiento de los equipos se obtiene alrededor de unos 400 € en costes por uso de los equipos informáticos.

A esto habrá que sumarle el coste de las licencias de los programas informáticos utilizados para la realización de este trabajo. Estos, junto con los costes de uso del equipo informático, se muestran en la siguiente tabla:

Descripción	Coste
Overleaf (editor online de LaTeX)	0 €
NetBeans IDE	0 €
Coste uso de los equipos	400 €
Total	400 €

Tabla 5: Costes informáticos

A.2. Presupuesto total de la elaboración del trabajo

En la siguiente tabla se muestra un resumen de todos los costes asociados al estudio realizado:

Concepto	Coste
Mano de obra autor principal	5922 €
Mano de obra colaborador	135 €
Material bibliográfico	480 €
Costes informáticos	400 €
Total	6937 €

Tabla 6: Costes totales elaboración del trabajo

El presupuesto total de la elaboración del estudio asciende a **SEIS MIL NOVECIENTOS TREINTA Y SIETE EUROS**.

B. Pliego de condiciones

B.1. Introducción

El Pliego de Condiciones es, legal y contractualmente, el documento más importante del proyecto a la hora de su ejecución. Mediante las especificaciones de materiales, de equipos y de ejecución se establece cómo y con qué hay que realizar el proyecto.

Teniendo en cuenta la importancia económica, el pliego de condiciones regula las relaciones entre el propietario y el promotor del proyecto y los contratistas, y deberá contener toda la información necesaria para que las relaciones sean lo más fructíferas posibles [30].

B.2. Condiciones generales

De acuerdo con las disposiciones del Real Decreto 488/1997 del 14 de abril sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización, se describe los requisitos necesarios para el desempeño de la labor profesional en el puesto de trabajo [31].

De acuerdo con las disposiciones del Real Decreto 486/1997 del 14 de abril, se establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los lugares de trabajo [32].

B.2.1. Condiciones del puesto de trabajo

El Real Decreto 488/1997 del 14 de abril establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por parte de los trabajadores de equipos que incluyan pantallas de visualización.

De acuerdo con este Real Decreto, se entenderá por:

1. Pantalla de visualización: Independientemente del método de representación visual, a cualquier pantalla alfanumérica o gráfica.
2. Puesto de trabajo: Estará compuesto por un equipo con pantalla de visualización dotado de un teclado o dispositivo de adquisición de datos, un programa para interconectar máquina-persona, ofimática y de una superficie de trabajo, como una mesa y un asiento.
3. Trabajador: Cualquier trabajador que durante gran parte de su trabajo haga uso de una pantalla de visualización.

Obligaciones del empresario

El empresario deberá asegurar que los trabajadores no sufran riesgos al utilizar las pantallas de visualización o, por lo menos, que estos sean mínimos. Estos riesgos incluyen la seguridad y la salud del trabajador, destacando problemas de visión, físicos y de carga mental, y el empresario deberá evaluar dichos riesgos. Para evaluar los riesgos, el empresario deberá considerar las características del puesto de trabajo como el tiempo diario de

utilización del equipo, el grado de atención a la tarea y el tiempo máximo continuo de atención a la pantalla de visualización.

En caso que la evaluación determine que los trabajadores pueden sufrir riesgos, el empresario deberá adoptar medidas técnicas y organizativas para eliminar o reducir al máximo los riesgos. Cabe destacar que una medida importante sería reducir el tiempo continuado de uso de pantallas de visualización, alternando con otras tareas o realizando pausas establecidas cada cierto tiempo.

Disposiciones mínimas

Las disposiciones mínimas del puesto de trabajo se dividen en los siguientes aspectos:

- **Pantalla:** En ésta los caracteres deberán estar bien definidos y mostrados de forma clara, con una imagen estable. Se deberá poder ajustar la luminosidad y el contraste para adaptarlos a las condiciones del entorno, además de poder orientar e inclinar la pantalla.
- **Teclado:** Éste deberá ser inclinable e independiente del monitor y deberá presentar suficiente espacio delante de él para que el trabajador pueda reposar los brazos sobre la mesa al hacer uso de él. Además, el teclado deberá ser mate para evitar reflejos y los símbolos deberán poderse visualizar desde la posición del trabajador.
- **Superficie de trabajo:** Ésta deberá ser poco reflectante y tener unas dimensiones suficientes para la colocación de todos los elementos necesarios en el puesto de trabajo y para que los trabajadores se encuentren cómodos.
- **Asiento de trabajo:** Éste deberá ser estable, regulable y confortable para el trabajador.
- **Iluminación:** Ésta deberá garantizar unas relaciones de luminancia entre pantalla y entorno adecuadas para cuidar la visión del trabajador. Debido a ello, se deberá evitar los deslumbramientos y los reflejos en el equipo de trabajo.

B.2.2. Condiciones del lugar de trabajo

Las disposiciones mínimas de seguridad y salud que aplican a los lugares de trabajo son establecidas en el Real Decreto 486/1997 de 14 de abril [32]. De acuerdo a este Real Decreto, un lugar de trabajo es el área del centro de trabajo donde los trabajadores pueden acceder para realizar su trabajo. Esto incluye los servicios higiénicos, los locales de descanso, los locales de primeros auxilios y los comedores, además de las instalaciones de servicios o protección anexas a los lugares de trabajo.

Condiciones constructivas

Los locales de los lugares de trabajo deberán tener la estructura y la solidez adecuadas a su uso y deberán ser estables. Además, se prohíbe sobrecargar los elementos estructurales o de servicio.

Deberá garantizarse la protección de los trabajadores que estén autorizados a acceder a zonas con riesgo de caída, caída de objetos y exposición a elementos agresivos, además

de señalizar bien dichas zonas e impedir su acceso a gente no autorizada. También deberá garantizarse que haya seguridad frente a caídas, resbalones, choques contra objetos y caídas de materiales.

Se deberán poder utilizar de acuerdo a su uso previsto y de forma fácil y con total seguridad las vías de circulación de los lugares de trabajo. Los lugares de trabajo deberán estar adaptados para los trabajadores minusválidos, para que dichos trabajadores puedan hacer uso de las instalaciones.

El diseño y la construcción del lugar de trabajo deberán facilitar el control de las situaciones de emergencia y permitir la rápida evacuación de éste. Además, el lugar de trabajo deberá estar provisto de dispositivos para combatir incendios, y en caso de ser necesario, de detectores de incendios y alarmas. Otro punto a destacar es que las instalaciones eléctricas no deberán suponer riesgos de incendio o explosión y que los trabajadores deberán estar correctamente protegidos.

Orden, limpieza y mantenimiento

Todas las zonas de acceso, vías de circulación y salidas de emergencia deberán estar libres de obstáculos. Los lugares de trabajo se mantendrán con unas condiciones higiénicas correctas y se les realizará un mantenimiento periódico para asegurar que se satisfacen la seguridad y salud de los trabajadores.

En caso de utilizarse una instalación de ventilación, deberá asegurarse un mantenimiento que asegure que se encuentra en buen estado y deberá presentar un sistema de control que indique las averías que puedan suceder, las cuales podrían afectar a la salud de los trabajadores.

Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales en ningún caso deberán presentar riesgos para la seguridad o la salud de los trabajadores ni, en la medida de lo posible, constituir una fuente de incomodidad o molestia.

Con todo esto, deberá evitarse humedades y temperaturas extremas, además de los cambios bruscos de éstas últimas, olores desagradables, grandes corrientes de aire, grandes irradiaciones y la radiación solar.

En todo esto habrá que tener en cuenta los condicionantes o limitaciones que puedan existir en el lugar de trabajo, de las operaciones que se realicen y del clima. De todas formas, se deberá adecuar el aislamiento térmico de los locales cerrados al clima del lugar.

Servicios higiénicos y locales de descanso

En el lugar de trabajo se dispondrá agua potable suficiente y fácilmente accesible y se intentará evitar cualquier acción que pueda contaminarla. Por otro lado, también se dispondrá de retretes dotados de lavabos en las proximidades del puesto de trabajo, zonas de descanso, vestuarios y zonas de aseo.

Material y locales de primeros auxilios

Se dispondrá de material de primeros auxilios que deberá ser el adecuado, tanto cualitativa como cuantitativamente, para el número total de trabajadores y los riesgos a los cuales se pueden enfrentar. Además, este material deberá estar distribuido de forma que sea fácil acceder a él o desplazarlo al lugar del accidente en caso necesario.

Los lugares de trabajo deberán tener, como mínimo, un botiquín portátil con desinfectantes y antisépticos que estén autorizados, algodón hidrófilo, gasas estériles, vendas, esparadrapos, apósitos adhesivos, pinzas, tijeras y guantes desechables. Además, se deberá revisar de forma periódica el material de primeros auxilios para ir reponiéndolo cuando éste vaya gastándose o caducando.

B.3. Especificaciones técnicas

En cuanto a las especificaciones técnicas de materiales y equipos cabe destacar los siguientes puntos:

- **Hardware:** Para realizar el presente trabajo se ha hecho uso de 2 ordenadores, uno de sobremesa (principalmente para el desarrollo del simulador, por su mayor potencia computacional) y uno portátil (para la búsqueda de información y para la redacción del documento).
- **Software:** En el desarrollo del trabajo se ha hecho uso del software NetBeans para realizar el simulador y de Overleaf para la redacción del documento. Por otro lado, los sistemas operativos utilizados en los ordenadores han sido Windows 7 para el ordenador de sobremesa y Windows 10 Home para el ordenador portátil.
- **Conexión a Internet:** Se ha hecho uso de una conexión a Internet estándar, principalmente para realizar la búsqueda de material bibliográfico y para redactar el documento con Overleaf.

REFERENCIAS

Referencias de la Memoria y de los Anexos

- [1] <https://yopilotodrones.com/recursos/que-es-evlos/>. Consultado en Marzo de 2021.
- [2] Ministerio de Fomento Gobierno de España. Plan estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021.
- [3] SESAR Joint Undertaking. European atm master plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace. *SESAR Joint Undertaking, Publications office of the European Union, Luxembourg*, 2018.
- [4] Cristina Barrado, Mario Boyero, Luigi Brucculeri, Giancarlo Ferrara, Andrew Hatley, Peter Hullah, David Martin-Marrero, Enric Pastor, Anthony Peter Rushton, and Andreas Volkert. U-space concept of operations: A key enabler for opening airspace to emerging low-altitude operations. *Aerospace*, 7(3):24, 2020.
- [5] Yu-Jia Chen and Li-Chun Wang. Privacy protection for internet of drones: A network coding approach. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2):1719–1730, 2018.
- [6] Vodafone. Beyond visual line of sight drone trial report. November 2018.
- [7] Pablo Hernández-Coronado Quintero. Aprobado el reglamento u-space. <https://www.linkedin.com/pulse/aprobado-el-reglamento-u-space-pablo-hernández-coronado-quintero/>. Linkedin. Consultado el 20/06/2021.
- [8] International Civil Aviation Authority. *Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)*. International Civil Aviation Organization, 2015.
- [9] SESAR Joint Undertaking. Total airport management in: Sesar joint undertaking (ed.) call: Sesar2020 ir-vld wave1. *European Commission, Brussels, Belgium*, 2015.
- [10] SJU. Safety reference material, edition 4.0. *SESAR Joint Undertaking: Brussels, Belgium*, 2016.
- [11] Miquel Macias, Cristina Barrado, Enric Pastor, and Pablo Royo. The future of drones and their public acceptance. In *2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, pages 1–8. IEEE, 2019.
- [12] European Commission. Draft on a high-level regulatory framework for the u-space. *European Commission, Brussels*, 2020.
- [13] Abdulhadi Shoufan, Haitham M Al-Angari, Muhammad Faraz Afzal Sheikh, and Ernesto Damiani. Drone pilot identification by classifying radio-control signals. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 13(10):2439–2447, 2018.
- [14] Igor Bisio, Chiara Garibotto, Fabio Lavagetto, Andrea Sciarrone, and Sandro Zappatore. Blind detection: Advanced techniques for wifi-based drone surveillance. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(1):938–946, 2018.

- [15] Mais Nijim and Nikhil Mantrawadi. Drone classification and identification system by phenome analysis using data mining techniques. In *2016 IEEE Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, pages 1–5. IEEE, 2016.
- [16] Joël Busset, Florian Perrodin, Peter Wellig, Beat Ott, Kurt Heutschi, Torben Rühl, and Thomas Nussbaumer. Detection and tracking of drones using advanced acoustic cameras. In *Unmanned/Unattended Sensors and Sensor Networks XI; and Advanced Free-Space Optical Communication Techniques and Applications*, volume 9647, page 96470F. International Society for Optics and Photonics, 2015.
- [17] Zhouyu Zhang, Yunfeng Cao, Meng Ding, Likui Zhuang, and Weiwen Yao. An intruder detection algorithm for vision based sense and avoid system. In *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pages 550–556. IEEE, 2016.
- [18] Sai Ram Ganti and Yoohwan Kim. Implementation of detection and tracking mechanism for small uas. In *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pages 1254–1260. IEEE, 2016.
- [19] Rustam Stolkin, David Rees, Mohammed Talha, and Ionut Florescu. Bayesian fusion of thermal and visible spectra camera data for region based tracking with rapid background adaptation. In *2012 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI)*, pages 192–199. IEEE, 2012.
- [20] Matthew Ritchie, Francesco Fioranelli, Hugh Griffiths, and Borge Torvik. Micro-drone rcs analysis. In *2015 IEEE Radar Conference*, pages 452–456. IEEE, 2015.
- [21] Alistair Moses, Matthew J Rutherford, and Kimon P Valavanis. Radar-based detection and identification for miniature air vehicles. In *2011 IEEE international conference on control applications (CCA)*, pages 933–940. IEEE, 2011.
- [22] Xuejun Yue, Yongxin Liu, Jian Wang, Houbing Song, and Huiru Cao. Software defined radio and wireless acoustic networking for amateur drone surveillance. *IEEE Communications Magazine*, 56(4):90–97, 2018.
- [23] Zhongli Liu, Zupei Li, Benyuan Liu, Xinwen Fu, Ioannis Raptis, and Kui Ren. Rise of mini-drones: Applications and issues. In *Proceedings of the 2015 Workshop on Privacy-Aware Mobile Computing*, pages 7–12, 2015.
- [24] Igor Bisio, Chiara Garibotto, Fabio Lavagetto, Andrea Sciarrone, and Sandro Zappatore. Unauthorized amateur uav detection based on wifi statistical fingerprint analysis. *IEEE Communications Magazine*, 56(4):106–111, 2018.
- [25] Mirmojtaba Gharibi, Raouf Boutaba, and Steven L Waslander. Internet of drones. *IEEE Access*, 4:1148–1162, 2016.
- [26] Chao Lin, Debiao He, Neeraj Kumar, Kim-Kwang Raymond Choo, Alexey Vinel, and Xinyi Huang. Security and privacy for the internet of drones: Challenges and solutions. *IEEE Communications Magazine*, 56(1):64–69, 2018.
- [27] Shui Yu. Big privacy: Challenges and opportunities of privacy study in the age of big data. *IEEE access*, 4:2751–2763, 2016.

- [28] Ramón Muñoz. Vodafone desarrolla un sistema para controlar los drones por la red móvil. https://elpais.com/economia/2017/10/19/actualidad/1508435541_389748.html. El País. Consultado el 16/04/2021.
- [29] Mikel Cid. Vodafone demuestra cómo se puede geolocalizar y controlar un dron usando una red 4g. <https://www.xatakamovil.com/conectividad/vodafone-demuestra-como-se-puede-geolocalizar-y-controlar-un-dron-usando-una-red-4g>. Consultado el 23/04/2021.
- [30] <https://www.proyectosfindecarrera.com/pliego-condiciones-proyecto.htm>. Consultado en Junio de 2021.
- [31] https://noticias.juridicas.com/base_datos/Laboral/rd488-1997.html. Consultado en Junio de 2021.
- [32] https://noticias.juridicas.com/base_datos/Laboral/rd486-1997.html. Consultado en Junio de 2021.