



POLITÉCNICA



Informe de seguimiento de actividades de la Cátedra Isdefe en Gestión del Tránsito Aéreo (ATM)

Año 2019

Hoja de Identificación del documento

Título:	Informe de seguimiento de actividades de la Cátedra Isdefe en Gestión del Tránsito Aéreo (ATM) . Año 2019
Código:	N/A
Fecha:	Mayo 2020
Fichero:	N/A

Autor:	Fernando Gómez Comendador
Revisor:	Rosa Arnaldo
Aprobado:	N/A

Versiones:			
Numero	Fecha	Autor	Comentarios
01	Mayo 2020	F. Gómez	Creación

Resumen Ejecutivo

La cátedra Isdefe en Gestión del Tránsito Aéreo ATM se propone como iniciativa de la empresa para el fomento de actividades y proyectos de investigación relacionados con la mejora y optimización de los procesos de prestación de Servicios de Tránsito Aéreo, como una de las áreas estratégica de Isdefe.

Una de las líneas de desarrollo principales será promover y potencia el OIDATM (Observatorio para el fomento de I+D en ATM), como **Foro de referencia** para fomentar las ideas y proyectos encaminadas a la mejora y optimización en el uso y explotación del espacio aéreo **aprovechando el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías.**

El documento recopila las actividades del año 2019 y la previsión de actividades del año 2020. El contenido ha sido aprobado en las dos reuniones de seguimiento de actividades que ha realizado la Comisión Mixta de seguimiento de la cátedra:

- Julio 2019: Seguimiento de actividades y presupuesto del primer semestre del año.
- Diciembre 2019: Seguimiento de actividades y presupuesto del año completo.

Índice

1	Introducción.....	1
2	Desarrollo de conferencias, workshops y seminarios técnicos.....	2
2.1	Curso sobre la Gestión Colaborativa de la Red (NETWORK COLLABORATIVE MANAGEMENT).....	2
2.2	Curso de desarrollo y aplicación de la plataforma de Simulación SkySim en ATC".....	2
3	Acciones de promoción de proyectos y actividades entre alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE).....	3
4	Promoción y desarrollo del Observatorio para el fomento de I+D en ATM (OIDATM).....	5
4.1	Análisis parámetros de influencia en la definición puntos de trayectorias 4D.....	5
4.1.1	Objetivos previstos para el año 2019.....	6
4.1.2	Actividades desarrolladas durante el primer semestre 2019.....	7
4.1.3	Plan de entregables.....	8
4.2	Análisis del riesgo entre RPAS y aeronaves convencionales en un espacio aéreo no segregado.....	9
4.2.1	Objetivos previstos para el año 2019.....	10
4.2.2	Actividades desarrolladas durante el año 2019.....	10
4.2.3	Plan de entregables.....	12
4.3	Elaboración de Algoritmos para la Implementación del TBS.....	12
4.3.1	Resultados obtenidos.....	13
4.4	Análisis para considerar los vuelos de corto alcance en secuenciadores de arribadas (AMAN) con horizonte extendido.....	14
4.5	Preparación de plataforma de simulación en tiempo real.....	16
5	Plan de difusión.....	18
6	PROPUESTA DE ACTIVIDADES PARA 2020.....	20
6.1	Desarrollo de conferencias, workshops y seminarios técnicos.....	20
6.2	Acciones de promoción de proyectos y actividades entre alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE).....	20
6.3	Promoción y desarrollo del Observatorio para el fomento de I+D en ATM (OIDATM).....	21

6.3.1	Integración de RPAS en un TMA bajo el marco U-space.	21
6.3.2	"Contingencia/Reversión GNSS en operaciones PBN y A-PNT": Aplicación en corto – medio plazo.	22
6.3.3	"Contingencia/Reversión GNSS en operaciones PBN y A-PNT": Aplicación en largo plazo..	23
6.3.4	Sistemas y procesos de seguridad aeroportuaria de CCTV, análisis, protocolos y mejoras.....	24
6.3.5	Definición de conceptos de operación de RPAS en TMA y para su posterior transformación en requisitos de sistema.	25
6.3.6	Plataforma de pruebas de validación de conceptos ATM.....	26

Índice de figuras

N/A

1 INTRODUCCIÓN

La cátedra Isdefe en Gestión del Tránsito Aéreo ATM se propone como iniciativa de la empresa para el fomento de actividades y proyectos de investigación relacionados con la mejora y optimización de los procesos de prestación de Servicios de Tránsito Aéreo, como una de las áreas estratégica de Isdefe.

Una de las líneas de desarrollo principales será promover y potencia el OIDATM (Observatorio para el fomento de I+D en ATM), como **Foro de referencia** para fomentar las ideas y proyectos encaminadas a la mejora y optimización en el uso y explotación del espacio aéreo **aprovechando el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías**.

El documento revisa las actuaciones desarrolladas durante el año 2019, y la previsión para el año 2020.

Las líneas de actuación se centran en tres áreas:

- Desarrollo de conferencias, workshops y seminarios técnicos.
- Acciones de promoción de proyectos y actividades entre alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE)
- Promoción y desarrollo del Observatorio para el fomento de I+D en ATM (OIDATM)

2 DESARROLLO DE CONFERENCIAS, WORKSHOPS Y SEMINARIOS TÉCNICOS.

Uno de los objetivos que tiene la Cátedra se centra en la identificación de nuevas técnicas, procesos y procedimientos, en el ámbito ATM, que se considere que puedan ser de interés en los próximos años en la evolución de los Servicios y Sistemas ATM.

En esta línea se han desarrollado dos acciones específicas:

2.1 Curso sobre la Gestión Colaborativa de la Red (NETWORK COLLABORATIVE MANAGEMENT).

En esta línea, en el mes de enero se ha desarrollado el **Curso sobre la Gestión Colaborativa de la Red (NETWORK COLLABORATIVE MANAGEMENT)**.

La Gestión Colaborativa de la Red es una de las 6 funcionalidades ATM definidas en el reglamento (EU) nº 716/2014 (Pilot Commom Project), y por tanto es un área que en los próximos años va a experimentar un sensible avance funcional y tecnológico.

El objetivo de la Gestión Colaborativa es mejorar el rendimiento de la red ATM europea, en particular en cuanto a la capacidad y la eficiencia de los vuelos.

De todas las funcionalidades ATM del PCP, ésta es la que actualmente está más alejada del conocimiento y experiencia del personal de Isdefe que presta sus servicios a ENAIRE en el desarrollo de sus sistemas ATM. Sin embargo, los incrementos funcionales que se van a experimentar en esta área van a impactar, de alguna forma, en los sistemas y operaciones ATC actuales, por lo que se hace necesario que nuestro personal tenga un conocimiento más profundo de los procesos relacionados con la Gestión de la Red y de los avances que se van a producir.

Este curso se organizó durante el último trimestre de 2018, para desarrollarse en enero de 2019. Se ha planificado un curso de 20 horas de duración, distribuido en tres días durante el mes de enero

2.2 Curso de desarrollo y aplicación de la plataforma de Simulación SkySim en ATC"

En esta línea, en el mes de noviembre se ha desarrollado el **"Curso de desarrollo y aplicación de la plataforma de Simulación SkySim en ATC"**

El objetivo ha sido tener un primer contacto con la plataforma de simulación de Skyguide (proveedor de servicio de Suiza), adquirida a través de la empresa Skysoft, con la intención de identificar posibles aplicaciones que se puedan desarrollar en futuras actividades relacionadas con la gestión de trayectorias y nuevas funcionalidades ATC, dentro del marco del programa SESAR.

3 ACCIONES DE PROMOCIÓN DE PROYECTOS Y ACTIVIDADES ENTRE ALUMNOS DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AERONÁUTICA Y DEL ESPACIO (ETSIAE)

Como actividad fundamental de la Cátedra, durante el año 2019 se están realizando diferentes acciones y eventos encaminados a la promoción de las actividades en el ámbito ATM entre los alumnos de las diferentes titulaciones de Grado y Máster de la ETSIAE.

Estas acciones se están desarrollando a través de las siguientes acciones:

- **Becas de participación en proyectos del Observatorio para el fomento de I+D en ATM.**

Durante el año 2019 se han mantenido dos becas de colaboración de alumnos de Máster para la participación en proyectos del observatorio. En la siguiente sección se concreta la participación en los proyectos

- **Prácticas curriculares.**

Relacionadas con las actividades del Observatorio, durante el primer semestre se han convocado seis prácticas curriculares para alumnos de Grado, que han participado en los proyectos del observatorio.

- **Concurso de ideas de Trabajo Fin de Grado y Trabajo Fin de Máster.**

En el primer semestre se han finalizado las dos líneas de trabajo fin de máster de la convocatoria del año anterior.

En el segundo semestre de 2019 se ha convocado el segundo concurso de ideas para Trabajos Fin de Máster en el ámbito ATM.

Se han seleccionado cuatro propuestas, centradas en las siguientes áreas:

- Prospectiva en el marco del Observatorio ATM de la Red "Horizontes" sobre "Contingencia/Reversión GNSS en operaciones PBN y A-PNT" cuyo resultado aporte información útil a los profesionales de Isdefe que trabajan en la materia para realizar mejor su trabajo.
- Elaboración de estudios de mercado/benchmarking de herramientas de ingeniería de sistemas y análisis de la evolución de los sistemas aeroportuarios, tecnologías y normativas en el ámbito de actuación de AENA
- Definición de conceptos de operación de RPAS en TMA y para su posterior transformación en requisitos de sistema.

El trabajo de las propuestas se extenderá durante el primer trimestre de 2020. En el informe de seguimiento del primer semestre de 2020 se presentarán los resultados de estos trabajos.

- **Jornada de presentación de trabajos y proyectos desarrollados en la ETSIAE.**

En febrero se han presentado los Trabajos Fin de Máster y Trabajos Fin de Grado desarrollados en las actividades de la cátedra

En esta convocatoria solo se han presentado dos trabajos relacionados con la actividad de la cátedra en el año anterior:

- Análisis de capacidad de pista en Barcelona – El Prat mediante la implantación TBS. Oscar Cea Antolino
- Metodología para el procesamiento de planes de vuelo para RPAS. Xabier Amor Lekuona

En julio y septiembre febrero se han presentado los Trabajos Fin de Máster y Trabajos Fin de Grado desarrollados en las actividades de la cátedra

- Análisis y desarrollo de pruebas de simulación ATC para evaluar Generadores de Complejidad y su influencia en futuros escenarios: Pedro Abad Moncada
- Elaboración de un algoritmo de descenso usando TBS: Miguel González del Val

- **Premios de fin de estudios de la cátedra.**

En el acto de entrega de diplomas de alumnos de Máster, celebrado en diciembre, se ha entregado el Premio Cátedra ISDEFE al mejor expediente académico de la IV promoción del Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica (MUIA) en la intensificación de Sistemas Aeroespaciales y Transporte Aéreo (SATA). Se trata de la alumna Berta Rodríguez Fernández, que ocupa la posición nº 15 dentro de la IV Promoción.

De igual forma, en el acto de entrega de diplomas de la promoción de alumnos de Grado en Ingeniería Aeroespacial, celebrado en noviembre, se ha hecho entrega del premio al alumno con mejor expediente que se matriculado en el Máster Universitario en Sistemas del Transporte Aéreo. La alumna premiada ha sido María Zamarreño Suárez

4 PROMOCIÓN Y DESARROLLO DEL OBSERVATORIO PARA EL FOMENTO DE I+D EN ATM (OIDATM)

El OIDATM (Observatorio para el fomento de I+D en ATM), promovido por ISDEFE, se plantea como Foro de referencia para fomentar las ideas y proyectos encaminadas a la mejora y optimización en el uso y explotación del espacio aéreo aprovechando el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías

Durante el año 2019 se ha mantenido la planificación de las actividades que se desarrollan en los proyectos promovidos en la cátedra

- Análisis de parámetros de influencia en la definición puntos de trayectorias 4D
- Definición de mínimas distancias de operación de RPAS y aeronaves convencionales.

Además, se ha finalizado el trabajo de las líneas de TFM señaladas en el apartado anterior.

En el desarrollo de los trabajos asociados a estos proyectos están involucrados varios profesores del Departamento de Sistemas Aeroespaciales, Transporte Aéreo y Aeropuertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Así mismo, como parte del equipo de trabajo, se cuenta con la participación de dos becarios destinados a los proyectos (alumnos del Máster Universitario en Sistemas de Transporte Aéreo) y cuatro alumnos de prácticas curriculares del Grado en Ingeniería Aeroespacial (especialidad Sistemas de Navegación Aérea). De esta forma, el objetivo de desarrollar soluciones innovadoras de la Red Horizontes de Isdefe se complementa con funciones formativas.

4.1 Análisis parámetros de influencia en la definición puntos de trayectorias 4D.

Las actividades asociadas al proyecto "*Análisis de parámetros de influencia en la definición puntos de trayectorias 4D*" que se realizarán durante la primera etapa de 2019 están encaminadas hacia la explotación y aplicación de los resultados obtenidos en las fases previas del trabajo.

En la operación de trayectorias 4D la aeronave tiene asignados unos tiempos de paso por puntos característicos (checkpoints), que garantizarán una trayectoria libre de conflicto.

La definición de la ventana de paso en cada punto se debe establecer con las suficientes garantías de cumplimiento por parte de la aeronave, para permitir la predictibilidad de la trayectoria y la sincronización del tráfico. Las características de esta ventana dependerán de diferentes parámetros, tanto del escenario como de la aeronave.

El trabajo desarrollado en 2017 identificó y acotó estos parámetros de influencia para la fase de crucero, estableciendo las ventanas de paso teóricas en esta fase de vuelo.

A lo largo del año anterior se completó este análisis con el desarrollo de modelos de predictibilidad / causalidad (redes bayesianas) y fiabilidad (sistemas multi-estado), ampliando el alcance a la trayectoria completa (ascenso, crucero y descenso).

Por lo tanto, las principales tareas asociadas al proyecto "*Análisis de parámetros de influencia en la definición puntos de trayectorias 4D*" para 2019 fueron:

Revisión de los **requisitos esenciales para la implantación del concepto operacional de trayectorias 4D**, encuadrando estas necesidades según las principales herramientas, programas y sistemas ATM / CNS que se deben desplegar. Se pretende evaluar los condicionantes/limitaciones de la implementación de trayectorias 4D desde el punto de vista de los servicios ATM y sistemas CNS.

Análisis del **impacto del concepto operacional asociado a las trayectorias 4D**. Se seleccionarán y definirán una serie de indicadores de rendimiento para estimar el impacto de las trayectorias 4D (y las ventanas de paso establecidas) en las principales áreas de análisis: (i) seguridad, (ii) medio ambiente, (iii) capacidad, y (iv) eficiencia de costes. Particularmente, el análisis se centrará en los parámetros de influencia sobre complejidad y balance capacidad/demanda en un entorno operacional de trayectorias 4D (gestión de la incertidumbre).

El objetivo principal de esta tarea será evaluar de forma **práctica los condicionantes y limitaciones de implementación de trayectorias 4D desde el punto de vista de los servicios ATM y sistemas CNS**. Se establecerán los condicionantes y las necesidades para la implementación del concepto operacional de trayectorias 4D (y las ventanas de paso asociadas) en los diferentes escenarios analizados.

4.1.1 Objetivos previstos para el año 2019

Para el año 2019, los objetivos principales del trabajo previstos fueron:

- Analizar los requisitos funcionales para la implantación del concepto operacional de trayectorias 4D.
- Evaluar los condicionantes/limitaciones de implementación de trayectorias 4D desde el punto de vista de los servicios ATM y sistemas CNS.
- Establecer el impacto del concepto operacional asociado a las trayectorias 4D en términos de complejidad y balance capacidad/demanda (gestión de la incertidumbre).

Así, el modelo generado a lo largo de estos años permitirá:

- La identificación y modelización de los parámetros de influencia en la definición de ventanas de paso por waypoints en trayectorias 4D, para garantizar el cumplimiento por parte de la aeronave en función del escenario.
- El establecimiento de un modelo causal que predice el efecto sobre las ventanas de paso de las variaciones en los parámetros fundamentales, para reducir la incertidumbre y mejorar la sincronización y la resolución de desviaciones en trayectorias 4D.

- Predecir la ocurrencia de eventos no deseados (degradación) e identificar acciones concretas para minimizar su ocurrencia.
- Analizar los escenarios de desarrollo posibles, modelando las incertidumbres asociadas a las variables de control y a los procesos de degradación.
- Explorar las implicaciones de cada escenario posible (en términos de indicadores de eficiencia y capacidad), con el objetivo de diseñar planes y estrategias para optimizar la operativa.
- Establecer los requisitos CNS asociados a la implementación del concepto operacional de las trayectorias 4D.
- Establecer el impacto del concepto operacional asociado a las trayectorias 4D en términos de complejidad y balance capacidad/demanda (gestión de la incertidumbre).

4.1.2 Actividades desarrolladas durante el primer semestre 2019

Las actividades asociadas al proyecto "*Análisis de parámetros de influencia en la definición puntos de trayectorias 4D*" se completaron a lo largo de 2019, finalizando el proyecto y recopilando los trabajos realizados.

Las actividades desarrolladas durante la segunda mitad del año 2019 incluyeron:

1. **Extensión los resultados iniciales del estudio a una trayectoria 4D completa** (incluyendo ascenso, ruta y descenso). Los modelos desarrollados a lo largo del año 2017 para la fase de ruta se han aplicado a nuevas fases de la trayectoria, con el objetivo de obtener un resultado global para una trayectoria real "media" (parámetros de influencia, modelo causal, predictibilidad y análisis de confiabilidad). Se ha obtenido una serie de escenarios parciales (ascenso, ruta con cambio de nivel, ruta con viraje, descenso) que combinados permiten modelizar diferentes trayectorias. Más allá de la operativa común en las trayectorias, el impacto de la variabilidad de los parámetros de influencia sobre las ventanas de paso es muy diferente dependiendo del escenario considerado.
2. **Modelo de trayectoria 4D completa.** Se han validado los resultados obtenidos (predictibilidad y fiabilidad global) representando trayectorias reales "tipo" mediante la combinación de diferentes escenarios parciales.
3. **Requisitos funcionales del concepto operacional de trayectorias 4D.** Se analizan los requisitos esenciales para la implantación del concepto operacional de trayectorias 4D, encuadrando estas necesidades según las principales herramientas, programas y sistemas ATM / CNS que se deben desplegar. Se estudia su funcionalidad a lo largo del vuelo.
4. **Evaluación práctica los condicionantes y limitaciones de implementación de trayectorias 4D desde el punto de vista de los servicios ATM y sistemas CNS.** A partir de los resultados anteriores (análisis de predictibilidad y fiabilidad), se proponen una serie de limitaciones

y condicionantes a la implementación del concepto operacional de trayectorias 4D (y las ventanas de paso asociadas) en los diferentes escenarios analizados.

5. **Establecer el impacto del concepto operacional asociado a las trayectorias 4D en términos de complejidad y balance capacidad/demanda (gestión de la incertidumbre).** Se seleccionarán y definirán una serie de indicadores de rendimiento para estimar el impacto de las trayectorias 4D (y las ventanas de paso establecidas) en las principales áreas de análisis: (i) seguridad, (ii) medio ambiente, (iii) capacidad, y (iv) eficiencia de costes. Particularmente, el análisis se centrará en los parámetros de influencia sobre complejidad y balance capacidad/demanda a en un entorno operacional de trayectorias 4D (gestión de la incertidumbre).

6. **Conclusiones y recomendaciones.** Se revisan los resultados globales del estudio "Análisis de parámetros de influencia en la definición de puntos de trayectorias 4D", estableciendo las conclusiones, las limitaciones, la aplicabilidad de los modelos (utilidades) y las recomendaciones de desarrollo futuro.

4.1.3 Plan de entregables

La siguiente tabla muestra los entregables del primer semestre de 2019 así como la propuesta de entregable de cierre para el trabajo:

Entregable	Título/Contenido	Estado	Fecha estimada
E2 2018	Extensión de las herramientas generadas (modelización de parámetros de influencia y simulación de trayectorias 4D) a diferentes fases de vuelo: ascenso y descenso. Análisis de predictibilidad / degradación para distintos escenarios que permitan reflejar una trayectoria real "media".	Entregado	Diciembre 2018
E1 2019	Revisión del concepto operacional de trayectorias 4D y análisis de requisitos y condicionantes asociados a su implantación (relación con las principales herramientas, programas y sistemas ATM / CNS).	Entregado	Febrero 2019

Entregable	Título/Contenido	Estado	Fecha estimada
E2 2019	Evaluación práctica de los condicionantes y limitaciones de la implementación de trayectorias 4D: <ul style="list-style-type: none"> - Servicios ATM. - Sistemas CNS. 	En preparación	Julio 2019
Entregable final	Conclusiones y recomendaciones finales.	En preparación	Previsto Septiembre 2019

4.2 Análisis del riesgo entre RPAS y aeronaves convencionales en un espacio aéreo no segregado.

Uno de los mayores cambios que debe abordar la aviación civil en los próximos años es a la integración segura de las aeronaves RPAS dentro de un entorno operativo no segregado. La operatividad de los RPAS en algunos aspectos es similar a las aeronaves comerciales actuales pero otros factores como velocidad, peso, autonomía, y estela turbulenta entre otros, difieren claramente de los modelos actuales de aeronaves. Así, el principal objetivo es valorar el riesgo que supone la operación de RPAS junto aeronaves convencionales.

Este proyecto es la continuación del trabajo previo "Definición de mínimas de separación de operación entre RPAS y aeronaves convencionales" desarrollado para ISDEFE. Así, durante el desarrollo del mismo se ha profundizado en el conocimiento de la definición de las mínimas de separación, la modelización de algoritmos de resolución de conflictos, la estimación de una distancia mínima de separación (DMP) y un primer análisis del impacto en términos de riesgo de conflicto que supone la integración de RPAS en un espacio aéreo no segregado. La investigación evolucionó al desarrollo de una metodología que permite analizar la integración de RPAS en función del horizonte estratégico y operativo en términos de riesgo. Esta investigación proporcionó las herramientas necesarias para poder desarrollar una metodología que permita validar la introducción de RPAS. Los principales avances se han centrado en un escenario de ruta, y es donde continua este trabajo mediante el análisis del impacto que supone la integración de los RPAS.

Se trata de abordar una tarea de alta complejidad en la que hoy en día el conocimiento del que se dispone del comportamiento de los RPAS y su interacción con otras aeronaves es reducido. Además, la introducción sistemática de RPAS en un volumen aéreo supone analizar la posibilidad de imponer condiciones o limitaciones a la libre introducción de RPAS. Por otro lado, este trabajo puede servir de ayuda técnica para el continuo avance por parte de las autoridades estatales y europeas en el desarrollo de una normativa común. Especialmente importante es para las

autoridades aeronáuticas profundizar en las restricciones que puede suponer la introducción de RPAS en un volumen aéreo, tanto en términos de seguridad, número de aeronaves o gestión del servicio de control (ATC).

4.2.1 Objetivos previstos para el año 2019

El objetivo principal del proyecto para el año 2019 será proporcionar una metodología que permita validar la integración segura de RPAS en un volumen de tráfico aéreo. Para alcanzar este objeto, será necesario conseguir otros objetivos relacionados con el mismo:

- Determinación de un límite operativo para la integración de RPAS en un volumen de tráfico aéreo a partir de restricciones de capacidad, seguridad operacional, complejidad y riesgo.
- Cuantificación del número de RPAS que pueden operar en un volumen de tráfico aéreo en función de las características operativas del tráfico aéreo existente y del límite operativo definido anteriormente.
- Desarrollo de los flujos de información y las relaciones que deben existir entre los agentes involucrados para la validación de planes de vuelo de RPAS.

De esta forma, se espera obtener una metodología que limite el número de RPAS a entrar en un sector, garantizando la seguridad de las operaciones mediante un límite operacional y que valide o proporcione modificaciones a los planes de vuelo de RPAS en el caso de que no sea seguro operar una aerovía o temporalmente existan restricciones a la integración de RPAS. Esto permitirá proporcionar las bases de un marco para la toma de decisiones de los operadores de RPAS.

4.2.2 Actividades desarrolladas durante el año 2019

En cuanto a las actividades de la línea de investigación desarrolladas durante la primera mitad del año 2019 se han realizado las siguientes:

1. **Analizar modelos previos para la determinación de un límite operacional.** La integración de RPAS debe estar restringida a que su impacto sobre la seguridad no suponga un incremento de los límites actuales. Para ello, es necesario determinar cuál es el número máximo de RPAS que se pueden introducir en un volumen de tráfico aéreo atendiendo a distintos factores como capacidad, seguridad operacional, mezcla de tráfico y riesgo. En primer lugar, se realizará una revisión de distintos trabajos en los que se ha definido este tipo de indicadores para determinar cuáles son válidos y cuáles no.
2. **Desarrollo de la metodología para determinar un límite operacional.** De acuerdo a los estudios anteriores que sean válidos, se seleccionará uno y en el caso de que no existen se desarrollará una metodología nueva. Además, el modelo seleccionado será necesario relacionarlo con las características propias de este estudio. La integración de RPAS se realiza un volumen de espacio aéreo en niveles de vuelo poco densos. Esto quiere decir que existe una disponibilidad de capacidad para la integración de RPAS. Sin embargo,

esta disponibilidad varía entre los periodos pico hasta horas con menos tráfico donde la disponibilidad es mayor. Además, existen multitud de factores que afectarán a la definición del límite operativo que deberán tenerse en cuenta.

3. **Caracterización de simulaciones de Monte Carlo para determinar un límite operativo.** Una vez determinadas cuáles son las características operativas que afectan a un volumen de tráfico aéreo, es necesario realizar simulaciones de Monte Carlo que permitan analizar cuáles son las relaciones entre el número de aeronaves convencionales y el número de RPAS que pueden integrarse sin que supongan un incremento en los niveles de seguridad. Para ello las simulaciones de Monte Carlo permiten analizar un amplio espectro entre las distintas combinaciones posibles entre porcentaje de RPAS, distribución de rutas, hora de entrada y velocidades entre otros.
4. **Propuesta de limitaciones a la introducción de RPAS en un volumen aéreo.** A partir de las simulaciones anteriores, se espera proponer una serie de limitaciones/condicionantes a la integración de RPAS en un escenario de ruta. Para ello, se prepararán una serie de ábacos o tablas que permitan definir el número de RPAS que pueden operar en función de los parámetros e indicadores operativos de los apartados 1 y 2.
5. **Desarrollo del marco metodológico para la validación de planes de vuelo de RPAS.** El primer paso corresponde a determinar los principales módulos y relaciones jerárquicas que se deben establecer durante el proceso de un plan de vuelo para RPAS. Para ello se determinarán los módulos y los diagramas de flujos, así como la manera en la que se deben relacionar los distintos agentes involucrados y la transmisión de información.
6. **Selección de un conjunto de casos de estudio.** Para validar la herramienta se seleccionarán un conjunto de programaciones iniciales (basadas en aeronaves convencionales) y se introducirán un número determinado de RPAS con un plan de vuelo determinado. Este conjunto de casos de estudio intentará valorar las distintas posibilidades que podrían aparecer en situaciones reales.
7. **Validación de los planes de vuelo.** Para cada caso de estudio será necesario analizar cómo se ha realizado la validación del plan de vuelo y si se ha necesitado modificaciones al mismo. Estas modificaciones pueden llevarse a cabo bien por restricciones geográficas (no disponibilidad de aerovías) o bien restricciones temporales (se debe modificar las horas de paso).
8. **Conclusiones y recomendaciones.** Se revisarán los resultados del estudio, estableciendo las conclusiones, las limitaciones, la aplicabilidad de los modelos y las recomendaciones de desarrollo futuro.

4.2.3 Plan de entregables

La siguiente tabla muestra la propuesta de entregables para la línea de investigación en el año 2019:

Entregable	Título/Contenido	Fecha estimada
E9	<p>Analizar modelos previos para la determinación de un límite operacional</p> <p>Desarrollo de la metodología para determinar un límite operacional Desarrollo de simulaciones de Monte Carlo para determinar un límite operativo.</p> <p>Propuesta de limitaciones a la introducción de RPAS en un volumen aéreo.</p>	2ª quincena Julio 2019
E10	Desarrollo del marco metodológico para la validación de planes de vuelo de RPAS	2ª quincena de Octubre 2019
E11	<p>Descripción de casos de estudio</p> <p>Simulación de casos de estudio</p> <p>Validación del marco metodológico</p> <p>Conclusiones y futuros trabajos</p>	2ª quincena de Diciembre 2019

4.3 Elaboración de Algoritmos para la Implementación del TBS.

En el proyecto propuesto, se desarrolla un algoritmo, que optimiza la separación de un par de aeronaves en las llegadas. La intencionalidad del documento es sobre todo analizar un algoritmo en particular en un entorno operativo en concreto.

El algoritmo ha sido diseñado con el objetivo de automatizar las operaciones de descenso a la hora de aumentar la capacidad del aeropuerto. Para ello, partiendo de la trayectoria de la aeronave que ha descendido previamente a la aeronave objeto del estudio y de la separación en tiempos marcada por las normas, se inicia un algoritmo de optimización que da como resultado la trayectoria óptima de descenso.

La pretensión de dicha automatización es ofrecer al piloto o a los sistemas de abordaje, unas instrucciones de esquema de flaps y empujes para ser aplicados en el descenso. Un condicionante a tener en cuenta es la flexibilidad del algoritmo a cambios, ya que en un descenso las aeronaves

están sometidas a diferentes imprevistos que ralentizan y cambian los parámetros de la aproximación.

Se ha abordado el problema desde un punto de vista únicamente matemático y computacional, dejando los parámetros operativos para otros proyectos. Además, pese a que se expongan los resultados en un escenario concreto, el programa da la posibilidad a ser utilizado en múltiples en varios casos, intentando de esa manera ser práctico.

El programa primeramente optimiza la trayectoria, calculando el mínimo tiempo posible que tarda la aeronave en llegar al final de la trayectoria (calculando la trayectoria más rápida posible sin incumplir ciertas restricciones). Una vez hecho esto, partiendo de esa trayectoria, se calculan las fuerzas propulsivas y aerodinámicas necesarias para cumplir la trayectoria previamente descrita. Finalmente, se presentan los datos al ATCO y piloto.

4.3.1 Resultados obtenidos

En este proyecto, en un principio se han descrito las razones por las que conviene realizar separación basada en tiempos en el sistema actual. Se ha realizado un análisis del escenario actual, y se han planteado posibles soluciones.

En la primera fase de trabajo, se ha propuesto delegar la responsabilidad de la separación al piloto o a los sistemas de a bordo a la hora de automatizar el sistema actual. Por otro lado, se ha considerado que otro factor determinante a la hora de mejorar la capacidad de los aeropuertos (sobre todo si hay viento fuerte de cara) es la utilización de separación en tiempos. Finalmente, para concluir el capítulo se ha realizado una recopilación de las separaciones que se han considerado más importantes en las llegadas.

En la segunda fase, se han descrito las bases matemáticas en las que se apoyará el anterior documento. Este capítulo es de especial importancia a la hora de sentar las bases para la realización del modelo computacional. Se ha utilizado un modelo matemático basado en el programa BADA de Eurocontrol. Se ha explicado además, el algoritmo de optimización utilizado en el programa, y los detalles del cálculo de la trayectoria de descenso. Finalmente, se ha realizado una descripción de la presentación de los datos al controlador aéreo, con un modelo bidimensional sencillo.

En la tercera fase del trabajo, se han recogido los resultados del modelo matemático. En primer lugar, se ha fijado un escenario de aplicación real, en concreto un descenso ILS en la pista 18 de Barajas. Se han expuesto las salidas a un determinado perfil de vientos, y luego se ha realizado un análisis de los resultados. Posteriormente, se ha analizado la flexibilidad del programa perturbando distintos parámetros del problema utilizando tres ensayos:

1. Un primer ensayo para comprobar qué tal reacciona ante cambios en la trayectoria de la aeronave líder
2. Un segundo ensayo, en el cual se cambia ligeramente la trayectoria de la aeronave seguidora, y se observa la reacción del programa

3. Otro ensayo para ver como convergen las soluciones si se aplica una variabilidad aleatoria al perfil de vientos durante el descenso

Se ha podido con todos esos ensayos comprobar que el problema reacciona muy bien a cambios en el problema, menos en algunos casos puntuales, en los que hay perfiles de vientos demasiado abruptos o no hay convergencias en la optimización de la trayectoria.

4.4 Análisis para considerar los vuelos de corto alcance en secuenciadores de arribadas (AMAN) con horizonte extendido

El proyecto desarrollado pretende ser un análisis inicial a la extensión hasta las 150-200 NM del horizonte de trabajo del secuenciador de llegadas (AMAN), más concretamente en la introducción de vuelos de corto alcance que efectúen salidas desde aeropuertos contenidos dentro de este nuevo volumen de trabajo.

Identificación de la problemática al introducir vuelos de corto alcance en la secuencia de AMAN

Al realizar su secuencia, el sistema AMAN recoge la información de todas las aeronaves entrantes a su volumen de trabajo. El sistema es capaz de hacer una predicción de la hora en la que las aeronaves van a llegar a un determinado punto en el espacio, el cual considera para que se inicie la entrada a pista. A partir de ahora, cuando el AMAN amplíe los límites en los cuales va a trabajar, se considera posible que haya aeropuertos también incluidos en ese entorno, por lo que habrá aeronaves que sean consideradas por la secuencia pero que no hayan iniciado su vuelo.

Si se van a considerar también aeronaves situadas en tierra como parte de la secuencia, las indicaciones sobre el aire se traducen en posibles modificaciones en sus horas de despegue y solo con posibilidad de retrasos en tierra. Esto supone ser el principal problema en la implementación del AMAN en su nuevo formato de horizonte ampliado, y es que existe una ligadura entre la hora de entrada en la secuencia y la hora de salida desde su aeropuerto de origen (y que está incluido dentro de los límites de trabajo de AMAN).

Planteamiento inicial de soluciones aplicables

Como punto de partida, se consideran dos posibles soluciones que podrían barajarse para que sea posible implementar AMAN de esta manera:

- Una primera solución atiende a lo que se ha dicho anteriormente, y es que AMAN figura como un elemento activo modificando la hora de salida de las aeronaves en tierra, (aeronaves que se van a llamar de 'condiciones especiales' (CS)) con el fin de que su entrada a la secuencia ocurra de forma óptima.
- Otra solución considera al AMAN como una herramienta pasiva, y en ella existe esta aeronave CS que tiene una hora de salida fijada y aparece de forma inamovible en las secuencias establecidas por el sistema.

Lo mejor de cada solución: planteamiento de una solución que combina las anteriores

Esta nueva solución se considera una combinación de las anteriores, ya que se esperan cambios a la hora de salida de las aeronaves impuestos por el sistema AMAN hasta un límite horario a partir del cual, la aeronave mantendrá como hora de salida la última establecida (por AMAN). La existencia de este momento limitante en cuanto a los cambios que pueda hacer el sistema AMAN, asegura que la preparación de la aeronave ocurre adecuadamente con anticipación, que el sistema ATFCM puede elaborar, con antelación, una lista de slots para el resto de aeronaves y que se pueda alcanzar una secuencia que persiga el objetivo del sistema AMAN.

Sin embargo, esta solución conjunta se puede dividir, asimismo, en dos vertientes. Teniendo en cuenta que el Sistema ATFCM es un entramado complejo que constantemente recaba información sobre distintos elementos para organizar los flujos de aeronaves y evitar la congestión del espacio aéreo, se plantean estas dos nuevas propuestas para que el sistema ATM, en su conjunto, se modifique lo menos posible.

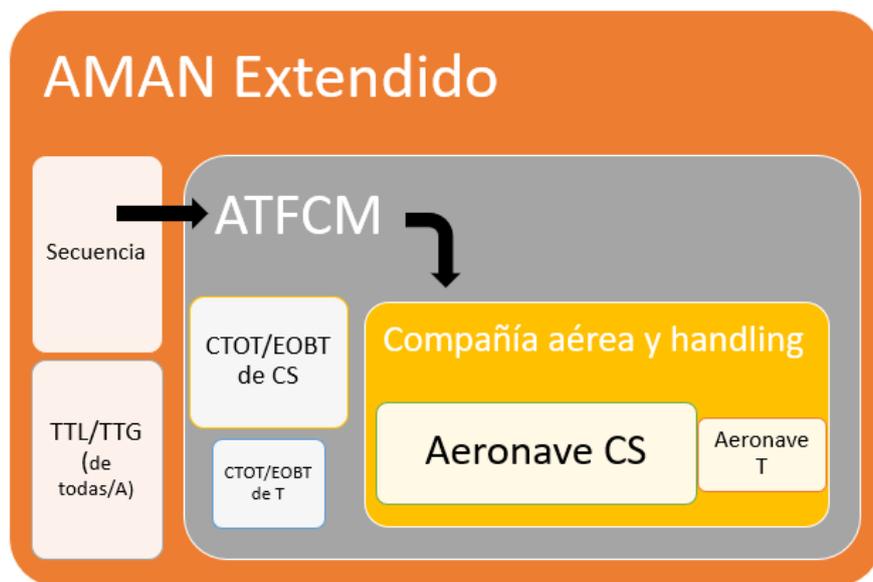


Figura 1: elementos afectados al aplicar las soluciones de implementación de AMAN Extendido.

Análisis extraído de la aplicación de las soluciones

Además de los cambios introducidos por una u otra solución, la diferencia entre las soluciones propuestas radica en el concepto de puntualidad percibida por el pasajero. Las modificaciones en las horas de salida de las aeronaves (aeronaves CS y T) van a hacer que puedan sufrir retrasos en tierra y, según la solución que se aplique al funcionamiento de AMAN, se van a producir vuelos sin nuevos cambios, o trayectorias que siguen siendo modificadas. Aunque esta parte de análisis

no es la principal cuestión a resolver en este trabajo, se considera adecuado resaltar este aspecto ante un posible estudio posterior.

Elección de una solución según el grado de influencia en los elementos del sistema ATM identificados

Finalmente, se pasa a realizar una clasificación de las soluciones aquí propuestas mediante una comparación. Queda patente que, según sea el entorno operativo, y según se admitan cambios sobre otros agentes del sistema ATM, será adecuado acudir a una solución u a otra. Todas ellas introducen mejoras al sistema y, a su vez, todas ellas también conllevan algún punto negativo que hay que considerar, pero es fundamental que se estudie el estado actual de dichos agentes o hacia dónde orientar su evolución para, así, conseguir un nivel de rendimiento esperado.

4.5 Preparación de plataforma de simulación en tiempo real

En el ámbito de los proyectos y desarrollos de I+D+i, en el ámbito ATM, la validación de conceptos, medios, técnicas y procedimientos, relacionados con la operación, se ha convertido en un elemento clave en líneas de aplicación que ofrezcan avances para la prestación de servicios demandados por el usuario.

En los procesos de validación, el elemento fundamental será la plataforma que habilite para realizar convenientemente determinados ejercicios de simulación. La plataforma debe integrar la funcionalidad ATC con la funcionalidad de vuelo de la aeronave.

Durante el año 2019 se ha continuado trabajando en la evaluación de una plataforma de simulación en tiempo real.

- **Euroscope**

Se ha trabajado en la preparación de ejercicios de simulación para la evaluación de performances y actuaciones del factor humano en la prestación de servicios ATC.

Dada la falta de documentación existente en esta plataforma, se está trabajando en la preparación de la información básica necesaria para la preparación de ejercicios y la aplicación a diferentes escenarios.

- **ESCAPE**

ESCAPE es una plataforma escalable de simulación ATM en tiempo real de EUROCONTROL.

Durante el segundo semestre de 2019 se ha asistido a un programa de formación por parte de EURCONTROL, y se han incorporado dos licencias en el laboratorio del Departamento aportadas por EUROCONTROL.

Se está trabajando en la evaluación de la plataforma, con el fin de identificar las potencialidades y aplicaciones que se podrían desarrollar con base a este programa.

- SkySim

SkySim es una plataforma de simulación desarrollada por SkySoft, para la aplicación específica en escenarios ATC.

Durante el segundo semestre de 2019 se ha instalado una configuración de dos posiciones de control (CWP), una posición de pseudopiloto y un servidor.

Al igual que en los casos anteriores, el objetivo es evaluar las potencialidades de la plataforma, y la aplicación en diferentes proyectos y pruebas que se puedan desarrollar en los trabajos de la Cátedra.

El objetivo que persigue esta línea es desarrollar un marco de simulación en tiempo real colaborando el Departamento e Isdefe para el desarrollo de una línea de investigación relacionada con Automatización en el programa Horizontes. De esta forma se podrá disponer de la plataforma de simulación, que después podrá aportar la capacidad suficiente para la formación del personal de Isdefe en aspectos específicos de la prestación de servicios ATC, así como pruebas de conceptos y herramientas que se puedan desarrollar.

5 PLAN DE DIFUSIÓN

Como continuación de la planificación de las actividades del programa Horizontes se ha considerado interesante detectar una serie de temas que podrían ser de interés para la comunidad científica. La divulgación de parte de la investigación de ambos proyectos en curso se considera de un alto interés económico, investigador y social que se espera que tenga una gran adopción entre la comunidad ATM. Por lo tanto, se han detectado una serie de temas propios del proyecto de investigación que serán objetivo de publicación.

En cuanto a la asistencia a congresos, se han realizado las siguientes ponencias:

1. "Assessment of 4D trajectories predictability and reliability". presentada en el World ATM Congress (WAC 2019), celebrado en Madrid entre el 12 y el 14 de Marzo de 2019
2. "Risk-based Framework for the Integration of RPAS in non-Segregated Airspace" en el World ATM Congress, 12-14 Marzo, Madrid, España.
3. EUCASS 2019. 8th European Conference for Aeronautics and Space Sciences. Madrid (1-4 Julio). Ponencia aceptada "Assessment of 4D trajectories predictability and reliability".
4. EASN 2019. 9th EASN International Conference on Innovation in Aviation & Space. Atenas (3-6 Septiembre). Ponencia entregada "Air Traffic Management based on 4D-Trajectories: Requirements and Practical Implementation".
5. "How many RPAS can be safely integrated in non-segregated airspace?" Conferencia presentada en el 9th International Conference on Innovation in Aviation & Space (9th EASN), celebrado en Atenas en Septiembre del 2019
6. EIWAC 2019. 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS. Tokyo (29-31 Octubre). Ponencia aceptada "Impact of wind on the predictability and uncertainty management of 4D-trajectories".

En cuanto a artículos de investigación, se han publicado, o se encuentran en fase de publicación los siguientes estudios:

1. "Decision framework for the integration of RPAS in non-segregated airspace", Safety Science, ed. ELSEVIER.
2. "RPAS integration in non-segregated airspace: Safety metrics for tactical planning", Part G: Journal of Aerospace Engineering, ed. SAGE.
3. "ATC separation assurance for RPAS and conventional aircraft in en-route airspace", Safety, ed. MDPI.
4. "How many RPAS can be safely integrated in non-segregated airspace?", Aircraft Engineering and Aerospace Technology, ed. Emerald Group.

-
5. "Air Traffic Management based on 4D-Trajectories: Requirements and Practical Implementation", artículo en fase de preparación para el número especial "Innovation in Aviation & Space" de la revista Aircraft Engineering and Aerospace Technology (AEAT).

6 PROPUESTA DE ACTIVIDADES PARA 2020.

Las actividades propuestas para el año 2020 se mantienen en las tres líneas principales propuestas:

- Desarrollo de conferencias, workshops y seminarios técnicos.
- Acciones de promoción de proyectos y actividades entre alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE)
- Promoción y desarrollo del Observatorio para el fomento de I+D en ATM (OIDATM)

6.1 Desarrollo de conferencias, workshops y seminarios técnicos.

En esta actividad, durante 2020 se propondrá la organización de eventos que permita, al personal de Isdefe y a los profesores e investigadores de la UPM, ampliar los conocimientos en determinadas áreas técnicas y de desarrollo.

El formato de estos eventos dependerá de la profundidad con la que se considere necesario tratar estos temas:

- Conferencias, cuando se aborden aspectos a nivel de difusión
- Workshops, en aquellos casos en los que se considere útil analizar y debatir detalles o aspectos concretos de una determinada materia.
- Seminarios técnicos, en aquellos casos en los que interese profundizar en metodologías y aplicaciones concretos a casos de uso que se puedan identificar.

6.2 Acciones de promoción de proyectos y actividades entre alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE)

Como actividad fundamental de la Cátedra, durante el año 2020 se continuará las diferentes acciones y eventos encaminados a la promoción de las actividades en el ámbito ATM entre los alumnos de las diferentes titulaciones de Grado y Máster de la ETSIAE.

Estas acciones se están desarrollando a través de las siguientes acciones:

- Becas de participación en proyectos del Observatorio para el fomento de I+D en ATM.
- Prácticas curriculares.
- Concurso de ideas de Trabajo Fin de Grado y Trabajo Fin de Máster.

- Jornada anual de presentación de trabajos y proyectos desarrollados en la ETSIAE.

6.3 Promoción y desarrollo del Observatorio para el fomento de I+D en ATM (OIDATM)

El OIDATM (Observatorio para el fomento de I+D en ATM), promovido por ISDEFE, se plantea como Foro de referencia para fomentar las ideas y proyectos encaminadas a la mejora y optimización en el uso y explotación del espacio aéreo aprovechando el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías.

En este ámbito, para el año 2020 se propone continuar con las líneas técnicas en desarrollo, junto con los temas iniciados relacionados con el concurso de ideas del año 2019

- Integración de RPAS en un TMA baso el marco U-space.
- Plataforma de pruebas de validación de conceptos ATM.
- "Contingencia/Reversión GNSS en operaciones PBN y A-PNT".
- Estudio de mercado/benchmarking de herramientas de ingeniería de sistemas y análisis de la evolución de los sistemas aeroportuarios
- Definición de conceptos de operación de RPAS en TMA y para su posterior transformación en requisitos de sistema.

Una vez debatidas y aprobadas las líneas de actuación por la Comisión de la Cátedra, se desarrollará el plan de actuación de detalle de cada uno de los proyectos acordados.

6.3.1 Integración de RPAS en un TMA bajo el marco U-space.

Desde el 2017 la UPM ha trabajado en conjunción con ISDEFE en el análisis de la integración de RPAS en un espacio aéreo no segregado. El proyecto comenzó con la modelización y caracterización de nuevas distancias de separación entre RPAS y aeronaves convencionales en espacios aéreos de ruta. El siguiente paso fue la modelización de modelos de riesgos que han permitido cuantificar el riesgo que supone la integración de RPAS en un espacio aéreo mediante la definición de indicadores de seguridad operacional, tales como el número medio de conflictos, el tiempo de exposición y la duración de conflictos. Estos han sido pasos muy importantes en la investigación de la integración de RPAS como han demostrado las múltiples publicaciones en revistas y congresos científicas.

Además, la investigación consiguió ir un paso más allá mediante la definición de un marco metodológico para la integración segura de RPAS. Este marco metodológico permite analizar los planes de vuelo de los RPAS y determinar en función de las aeronaves convencionales cuáles son

las aerovías que deben (o no deben) operar, así como sus ventanas temporales. Esta metodología se ha basado del modelo de riesgo anterior para evolucionar en tres fases temporales: estratégica, pretáctica y táctica.

Sin embargo, los nuevos retos requieren avanzar en la investigación de la integración de RPAS en espacios aéreos complejos como el TMA. Este es el paso natural de la investigación realizada en los últimos tres años y descender desde la fase de ruta hasta el área terminal. En particular, la operación de los RPAS en el área terminal es muy compleja debido a las restricciones impuestas por las distintas normativas, los distintos tipos de espacios aéreos, procedimientos de vuelo existentes y la operación de las aeronaves en evolución dentro del mismo.

El objetivo principal de esta línea de investigación es desarrollar el marco metodológico que permita la integración de RPAS en un TMA de una manera segura y eficiente. Para alcanzar este objetivo será necesario conseguir los siguientes subobjetivos:

- Análisis de las propuestas actuales en distintos países y proyectos europeos para la integración de RPAS en un TMA.
- Analizar y definir el marco normativo que rige actualmente la operación de RPAS y el marco U-space.
- Concepto operacional para la integración de RPAS en un TMA bajo el marco U-space
- Análisis del diseño del espacio aéreo dentro de un TMA que posibilita la integración y aquellos que no la permiten.
- Definición de las reglas operativas entre los distintos usuarios del espacio aéreo.
- Requisitos operacionales a cumplimentar por los RPAS para operar dentro un TMA.
- Caracterización de la integración de RPAS en un TMA español.

Este proyecto de investigación está programado para comenzar a partir del segundo trimestre del año 2019 puesto que actualmente se está trabajando en el concepto operacional mediante una beca de Trabajo Fin de Máster.

6.3.2 "Contingencia/Reversión GNSS en operaciones PBN y A-PNT": Aplicación en corto – medio plazo.

Las regulaciones europeas en relación con PBN recogen que el GNSS va a convertirse la infraestructura de navegación aérea primaria a lo largo de la próxima década, relevando a la actual red de radioayudas terrestres.

Las prestaciones de este tipo de sistemas basados en satélite permiten una navegación de con elevados niveles de precisión y fiabilidad. Si bien es posible alcanzar niveles de prestación hasta RNAV 1 con sistemas DME/DME, actualmente el GNSS (con sus aumentaciones) es el único

sistema contemplado como soporte para RNP, pudiendo llegar incluso a proporcionar aproximaciones RNP equivalentes a CAT I.

No obstante, en un sector como el aeronáutico, donde la seguridad es su pilar fundamental, no se puede depender exclusivamente de un sistema. El GNSS presenta, al igual que cualquier otro elemento, una serie de vulnerabilidades que deben ser identificadas y mitigadas. Se encuentran en desarrollo ya manuales y planes de contingencia para la implementación de PBN en caso de fallo de GNSS.

En lo que respecta al corto-medio plazo, un escenario a 2030, el principal medio de apoyo identificado en todos los manuales pasa por el estudio y optimización de la red DME para navegación DME/DME, que junto a sistemas INS y navegación a estima pudiesen garantizar la continuidad del servicio cumpliendo prestaciones PBN.

El estudio en desarrollo se centra en el espacio aéreo de ruta de la península. Se pretende caracterizar la propagación del error de posicionamiento basado en las observables (ecuaciones de posicionamiento) DME. Esta información se complementará con un estudio de cobertura (línea de vista) de las estaciones terrestres, basándose en modelos digitales del terreno.

El objetivo final del proyecto es la generación de un mapeado de la dilución de precisión de sistemas de navegación basados en dobles y triples coberturas DME. De esta forma, se pueden identificar regiones para cada nivel de vuelo que cumplen con los requisitos PBN establecidos.

El estudio servirá como precedente para posteriores análisis más detallados de las prestaciones de la red DME en España como sistema de contingencia GNSS. A su vez, proporcionará ideas generales para el posterior proceso de optimización de la red de radioayudas, siendo útil para identificar posibles regiones con una excesiva densidad de estaciones que pudieran ser desmanteladas, así como la necesidad de emplazamiento de otras nuevas.

6.3.3 "Contingencia/Reversión GNSS en operaciones PBN y A-PNT": Aplicación en largo plazo..

El presente proyecto consiste en, tras realizar un análisis sobre el estado del arte y vulnerabilidades del sistema GNSS, explorar posibles soluciones y desarrollarlas, llevando a cabo un análisis de alto nivel sobre cada una de ellas. De las soluciones se estudiará su estado de desarrollo actual, características, relación con el ámbito aeronáutico y aplicabilidad.

En lo referente al Estado del Arte se comenzará analizando los sistemas GNSS actuales. De estos se estudiarán sus características, su área de aplicación y los servicios que proveen, así como una comparación entre ellos. También serán de interés los servicios de aumentación que permitan cumplir con los requisitos de navegación.

Las vulnerabilidades y situaciones de contingencia que puedan darse serían el siguiente punto de estudio una vez analizado el Estado del Arte. Se estudiarán las interrupciones o fallos en el servicio que se produzcan por parte del propio sistema (no intencionados) y los que sean provocados de manera intencionada.

Un análisis de los diferentes modos de fallo para cada una de las fases de vuelo permitirá evaluar posibles modos de actuación para cuando se produzcan estos fallos.

A partir de aquí se analizarán distintos sistemas que puedan utilizarse en caso de fallo en el servicio GNSS. Se examinarán un conjunto de sistemas que permitan la navegación, sustituyendo al GNSS, como posibles soluciones.

Entre las diferentes soluciones, en un primer momento se ha planteado estudiar las siguientes:

- eLORAN: evolución de LORAN C que se encuentra en actual desarrollo en los EEUU como backup para GPS.
- 5G: posicionamiento utilizando las antenas de telefonía de 5G. Posible solución para zonas urbanas y UAVs.
- Reconocimiento de imágenes: tecnología militar con posible implantación en la aviación civil, consistente en el reconocimiento del entorno donde se vuela.
- Auto-posicionamiento: técnica utilizada actualmente en recintos cerrados mediante la cual se recupera el conocimiento de la posición (si se deja de tener esta información en algún instante) mediante métodos de estimación matemáticos de alta precisión.
- Localización activa (misiles): utilizada actualmente en el ámbito militar para el lanzamiento de misiles. Se ilumina el blanco mediante radar o láser.

Para cada una de las soluciones se debe estudiar su estado del arte, características, relación con el ámbito aeronáutico y aplicabilidad.

Según las necesidades de cada fase de vuelo, los modos de fallo y las prestaciones de los sistemas planteados para proporcionar soluciones, se puede analizar las soluciones más realizables y apropiadas para cada caso.

6.3.4 Sistemas y procesos de seguridad aeroportuaria de CCTV, análisis, protocolos y mejoras

El objetivo del proyecto es comprobar la viabilidad de añadir nuevos dispositivos de grabación (de video), unidades de almacenamiento, cabinas de grabación o gestores de video, al sistema de seguridad aeroportuaria (security) de Aena.

Para el control y la gestión de los dispositivos de seguridad dentro de la red de aeropuertos en España, Aena ha desarrollado una aplicación software con la intención de estandarizar los procesos, las interfaces, la normativa y en definitiva el desarrollo de la actividad de vigilancia y control en todas las áreas sensibles del aeropuerto. Esta aplicación denominada GSA (Gestión de Seguridad Aeroportuaria) distingue dos grandes campos según la funcionalidad de los dispositivos, por un lado, Control de Accesos (CCAA) y por otro, Circuitos Cerrados de Televisión (CCTV). Este proyecto, se centrará en la segunda parte que comprende fundamentalmente los dispositivos de cámaras (fijas y móviles) y dispositivos de grabación.

Dado que la idea de utilizar GSA es poder definir una serie de funcionalidades para los dispositivos que se conecten al sistema sin importar el fabricante ni el dispositivo, es necesario definir una serie de estándares que recojan toda la información necesaria para ello, en lo referente a este proyecto se tiene el protocolo estándar (para CCTV) y la normativa de requisitos técnicos para dispositivos de CCTV. De forma colateral se analizará también la normativa DTIC de Aena.

Para poder implementar mejoras en el sistema, añadiendo nuevas funcionalidades o dispositivos con mejores prestaciones, se ha elegido tres fabricantes, Siemens, Dallmeier y Genetec, y un producto de cada uno de ellos, con toda la documentación anterior y los catálogos de los distintos productos se procederá a hacer una comparación entre todos ellos para ver cual se ajusta mejor a las necesidades actuales del sistema y de los aeropuertos.

En la primera fase de desarrollo del proyecto, se hará un análisis de la normativa de Aena y de los requisitos técnicos y protocolos, una vez identificados los aspectos más relevantes se procederá a analizar la información provista por los fabricantes llevando a cabo posteriormente una clasificación de las características técnicas de cada uno de ellos, de forma que sea posible compararlos.

En una segunda fase se intentará comprobar la viabilidad de implantación del sistema que mejor se adapte tanto a las necesidades del sistema de Aena como de los aeropuertos donde funcione.

6.3.5 Definición de conceptos de operación de RPAS en TMA y para su posterior transformación en requisitos de sistema.

En este proyecto se pretende llevar a cabo el desarrollo del concepto operacional para la integración de RPAS en espacio aéreo TMA. Este proyecto nace como parte del desarrollo del U-space, el cual es el nuevo conjunto de servicios que nacen de la empresa común SESAR que pretende integrar a los aviones no tripulados dentro del espacio aéreo convencional.

Actualmente no es posible realizar operaciones seguras y a gran escala de RPAS en el espacio aéreo de los TMA. Existe un vacío global en cuanto a conceptos, requisitos de operación, tecnologías y un camino hacia operaciones seguras a gran escala que es necesario recorrer y que se pretende comenzar con este trabajo.

Este proyecto pretende servir al desarrollo del U-space para que este pueda convertirse en el marco propicio para facilitar cualquier tipo de misión, en todas las clases de espacio aéreo y en todos los tipos de entorno -incluso en los más congestionados-, abordando al mismo tiempo una interfaz adecuada con la aviación tripulada y el control del tráfico aéreo.

Se define, por tanto, que el objetivo último del documento es proporcionar una guía para una transición fluida con relación a las operaciones no segregadas de RPAS en las áreas de control terminal.

Como objetivos añadidos para tener en cuenta en el desarrollo del proyecto se definen:

- Seguridad. Operaciones seguras en el espacio aéreo. Es importante que las operaciones se realicen de tal manera que puedan operar de forma segura en presencia de otros RPAS, así como en presencia de la aviación tradicional.
- Factor económico. Se ha de tener en cuenta el factor económico de la utilización del espacio aéreo en TMA. Utilización del espacio aéreo para fines comerciales, públicos o privados.

El proyecto pretende además servir como TFM para ayudar en la consecución del Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica.

La duración del proyecto es de 6 meses y cuenta con la tutorización de Isdefe y la coordinación del departamento SATAA de la escuela.

6.3.6 Plataforma de pruebas de validación de conceptos ATM.

En el ámbito de los proyectos y desarrollos de I+D+i, en el ámbito ATM, la validación de conceptos, medios, técnicas y procedimientos, relacionados con la operación, se ha convertido en un elemento clave en líneas de aplicación que ofrezcan avances para la prestación de servicios demandados por el usuario.

La línea de investigación que se propone se centra en la puesta en operación y servicio de una plataforma de simulación para apoyar procesos de validación.

La potencialidad de esta posible línea de investigación se centra en la disponibilidad de la plataforma, unida a la disponibilidad de "alumnos controladores", que ya han obtenido la licencia de alumno ATC, o están en proceso de formación. Esta posibilidad permite la realización de pruebas y validaciones "no operacionales", sobre conceptos y funcionalidades en fase previa a su propuesta al personal operativo.

Actualmente se está trabajando en una configuración con dos posiciones de control (CWP) unida a una posición de pseudopiloto, que ofrece grandes posibilidades para su aplicación.

Con carácter general, esta plataforma cumple con unas condiciones básicas:

- Flexible en la utilización. Permite recrear diferentes escenarios, conceptos y técnicas, con relativa facilidad de adaptación.
- Recreación de la realidad. La validación será útil siempre que la plataforma sea capaz de recrear con cierto grado de fidelidad la realidad que representa. El objetivo será poder desarrollar simulaciones en tiempo real.
- Modulable. En ocasiones será conveniente analizar elementos o fases concretas relacionadas con la prestación de los servicios.
- Acceso a datos de entrada y salida. El análisis de la información y los resultados es un elemento importante en cualquier proceso de validación.
- Economía de uso. El proceso de validación debe ser un proceso económicamente eficiente, y en este sentido la plataforma que se utilice debe contribuir a una definición y

aplicación eficiente de esfuerzos y medios, tanto de preparación como de ejecución y posterior análisis.

Estos puestos pueden ser un elemento importante en diferentes pruebas de validación que se desarrolle en proyectos en los que participe Isdefe, así como un elemento diferenciador para la participación en diferentes programas de I+D. En caso de ser necesario, la UPM puede contar con personal con licencia de alumno controlador para la participación en pruebas de validación, cuando se considere necesario.

Asimismo, el SATAA participará en el mantenimiento de los sistemas informáticos de soporte para el desarrollo y explotación de la plataforma de simulación.

El desarrollo de esta línea de investigación, y sus objetivos concretos, se detallarán en una propuesta de actividades para el año 2020.