

Integración de aeronaves pilotadas por control remoto en espacio aéreo: diseño y desarrollo del interfaz de la estación de control en tierra



Remotely piloted aircraft systems integration in non segregated airspace:
design and development of an interface for the control station



Ricardo Román-Cordón, Rosa-María Arnaldo-Valdés, Cristina Cuerno-Rejado y Fernando Gómez-Comendador

Universidad Politécnica de Madrid. SATAA. Pza. Cardenal Cisneros, 3 – 28040 Madrid. Tfno: +34 913 367490

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8394> | Recibido: 31/03/2017 • Evaluado: 11/04/2017 • Aceptado: 05/06/2017

ABSTRACT

- Remotely Piloted Aircraft Systems have gained great significance due to their economic potential and practical applicability. These systems allow the operation of an aircraft without a pilot on board, and include the ground control station, the communications link and the aircraft. Current regulations restrict the operation of these aircraft to segregated airspace, so multiple studies and initiatives are being conducted to achieve their integration into shared or non-segregated airspace, to ensure their viability. Non segregated airspace has a clearly defined structure, procedures and information services which are known as Air Traffic Management. The main function of Air Traffic Management systems is to those services required for the safe operation of aircraft into shared airspace, so that the interaction of these new systems is paramount for the future development.
- Based on the methodology used in system engineering, the study presented in this article establishes the design and development of a component for the ground control station that supports the communication between the operator of the remotely piloted aircraft system and the air traffic environment in which its aircraft operates. This component, developed as software application, allows the remote pilot to carry out the tasks associated to the interaction within controlled airspace. These tasks include the interactions with air traffic management services, communication and trajectory management that the operator will have perform during flight preparation
- **Key Words:** systems engineering and integration, remotely piloted aircraft systems, ground control station, human-machine interface, air traffic management.

El espacio aéreo no segregado cuenta con una estructura, servicios de gestión e información claramente definidos y que se conocen como Sistema de Gestión de Tráfico Aéreo. La función principal de los sistemas de gestión de tráfico aéreo es la de proporcionar los servicios necesarios para la operación segura de todas las aeronaves en el espacio aéreo por lo que la interacción con los mismos es esencial para el éxito de la integración y su futuro desarrollo.

Partiendo de la metodología empleada en ingeniería de sistemas, el estudio presentado en este artículo establece el diseño y desarrollo de un componente integrado en la estación de control en tierra que permita al operador de la aeronave interactuar con el entorno operativo de tráfico aéreo. Este componente, desarrollado como una aplicación informática, permite al piloto remoto llevar a cabo las tareas de interacción propias de la operación en espacio aéreo controlado. Dichas tareas incluyen las interacciones con los servicios de gestión de tráfico aéreo, comunicaciones y la gestión de la trayectoria que el operador deberá llevar a cabo durante las fases de preparación y ejecución del vuelo.

Palabras Clave: integración e ingeniería de sistemas, aeronaves tripuladas por control remoto, estación de control en tierra, interfaz hombre-máquina, gestión del espacio aéreo.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la utilización de sistemas de aeronaves no tripuladas (*Unmanned Aerial Systems* – UAS por sus siglas en inglés) ha aumentado tanto en el ámbito civil como en el militar, debido a que su variedad de actuaciones y características les permiten realizar una gran cantidad de trabajos diferentes [1][2]. A este crecimiento espectacular han contribuido especialmente los avances tecnológicos en robótica y telecomunicaciones, así como la definición de un marco regulatorio en aviación civil internacional [3]. Uno de los retos para el pleno desarrollo de esta industria en el ámbito civil es conseguir que las aeronaves no tripuladas puedan integrarse en espacio aéreo no segregado. Como se ha presentado en otros estudios [1], una de las medidas regulatorias adoptadas ha sido especificar que sólo podrían operar en espacio aéreo no segregado aquellas aeronaves no tripuladas que estuviesen pilotadas remotamente por un operador, responsable en todo momento de la operación. Este subconjunto de sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (*Remotely Piloted Aircraft Systems* – RPAS por sus siglas en inglés), es al que nos referiremos en este artículo.

RESUMEN

Los Sistemas Aéreos Pilotados por Control Remoto son sistemas que han adquirido gran relevancia en la actualidad debido al potencial económico y variedad de aplicaciones que presentan. Estos sistemas permiten la operación de las aeronaves no tripuladas, e incluyen la estación de control en tierra, el enlace de comunicaciones y la propia aeronave. En la normativa vigente, la operación de estos sistemas está restringida al espacio aéreo segregado, por lo que existen múltiples estudios e iniciativas para conseguir su integración en espacio aéreo compartido (o no segregado - controlado y no controlado), asegurando su viabilidad.

Además del establecimiento de un marco internacional regulador adecuado, y las limitaciones tecnológicas, otro de los desafíos que encontramos al integrar a los sistemas RPAS en el espacio aéreo no segregado es conseguir adaptar estos sistemas complejos a los procedimientos del Sistema de Gestión de Tráfico Aéreo actuales (*Air Traffic Management - ATM* por sus siglas en inglés). En este sentido, la regulación de las autoridades europeas propone un marco de integración, tanto para operaciones civiles como militares, y delimita las aeronaves que podrían operar en cada tipo de espacio aéreo [4][1]. Es importante resaltar dos aspectos claves para esta integración: i) el concepto de operación de los RPAS como usuarios del Sistema ATM y; ii) la estandarización de la funcionalidad y el interfaz que debe incorporarse en una estación de control en tierra (*Remote Pilot Station - RPS* por sus siglas en inglés) para permitir la operación del RPAS. Agencias europeas como la EDA (*European Defence Agency*) [5], y otros grupos de trabajo internacionales [6], han introducido criterios de distinción entre los tipos de aeronaves y su operación que son considerados como referencia para la integración [7].

Actualmente, la comunidad internacional está inmersa en actividades de investigación y normalización del subsistema aéreo y del enlace de comunicaciones. Los estándares de diseño y aeronavegabilidad de estas aeronaves se identifican en [8]. Sin embargo, no hay prácticamente iniciativas de normalización de la RPS; razón por la cual la estandarización de la estación de control se ha convertido en una prioridad para la Comisión Europea y EASA (*European Aviation Safety Agency*) [9]. La EDA inició a finales de 2016, en coordinación con otros agentes de normalización y reglamentación en Europa, las actividades de I + D necesarias para la normalización de las estaciones en tierra para las categorías de RPAS certificables por EASA [10].

En este artículo se propone el diseño, desarrollo y validación de un componente informático en la estación en tierra, a la que llamaremos DSS (*Decision Support System*) que permita la integración del sistema RPAS dentro de los Sistemas de Gestión de Tráfico Aéreo (ATM). Para el diseño y desarrollo de la herramienta se ha empleado la metodología de ingeniería de sistemas, claramente definida y desarrollada en [11]. Para la especificación de los requisitos se ha tenido en cuenta tanto el concepto de operación y los requisitos operativos propuestos por la Agencia Europea Eurocontrol actualmente [12], como el concepto operativo que se espera a medio plazo desarrollado por el programa SESAR (*Single European Sky ATM Research initiative*)¹ para el futuro Sistema ATM Europeo [13].

En la definición del componente se ha tenido en cuenta un enfoque multidisciplinar basado en el uso de modelos [14] por las ventajas que aporta al desarrollo de componentes de sistemas complejos en ingeniería [11][15]. El componente desarrollado consiste en una herramienta de apoyo a la toma de decisiones DSS y con la que va a poder interactuar el piloto remoto a través de una interfaz hombre-máquina (HMI por sus siglas en inglés) [16]. Igualmente se han incorporado en el diseño del componente las lecciones aprendidas de estudios previos sobre interfaces [17], la posición de control de ATM o el desarrollo software de estaciones de control [18].

Debido a la extensión y complejidad de la herramienta desarrollada, se ha optado por presentar en este artículo la parte que se encarga de ayudar al operador en la definición y validación del

plan de vuelo durante la planificación, mejorando la capacidad del usuario a la hora de tomar decisiones [19] y reduciendo el tiempo que necesita para realizar la validación.

2. OBJETIVO

Como se menciona en [7], existe un gran interés en el desarrollo de sistemas aéreos tripulados por control remoto RPAS, especialmente en el ámbito civil, ya que en el militar existe una gran difusión [2]. Este subgrupo de aeronaves no tripuladas necesita tener un piloto responsable de la operación [20] operando remotamente desde una estación en tierra RPS.

En este artículo se establecen inicialmente los requisitos que debe cumplir el sistema RPAS para poder ser integrado, ya que la principal limitación que existe actualmente es la restricción de su operación a espacio aéreo segregado [20]. Esto afecta principalmente a las operaciones civiles, ya que las militares se suelen enmarcar en espacios temporalmente segregados. Para ello se ha partido del estudio de la operación que puede llevar a cabo un RPAS, definido tanto en el Manual de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) [3], como en la regulación de la EASA [21]. Este estudio nos proporciona los requisitos operativos necesarios, considerando que la integración no debe suponer una modificación en el sistema ATM ni en sus procedimientos [12]. Estos requisitos, inicialmente planteados para operaciones militares, se pueden extrapolar a las civiles.

Durante la operación, el piloto remoto interactúa a través de la estación en tierra con las unidades de control de tráfico aéreo (*Air Traffic Control - ATC*) y con la unidad encargada de gestionar el equilibrio entre demanda y capacidad a nivel de red, el Network Manager (NM por sus siglas en inglés). Las unidades ATC también deben transmitir instrucciones al operador para la evitar conflictos con otras aeronaves, o aplicar restricciones de utilización de espacio aéreo.

Existen numerosos estudios que abordan la problemática de la integración desde el punto de vista de los equipos necesarios a bordo de la aeronave para el mantenimiento del enlace de control y comunicaciones, y para superar la incapacidad de "ver y evitar" conflictos por no existir un piloto a bordo de la aeronave. Sin embargo, existen pocos estudios centrados en la definición de requisitos para la estación de control RPS, que tradicionalmente se ha tratado como una cabina remota.

Este trabajo se centra en la definición, especificación, desarrollo y validación de la funcionalidad que debe estar disponible en la estación RPS para permitir al piloto remoto llevar a cabo la operación en el entorno ATM. El artículo desarrolla en detalle el caso de uso correspondiente a la operación durante la fase de planificación del vuelo. La componente desarrollada (DSS) establece una conexión entre la estación RPS, el gestor de red ATM (NM) y los centros de control de tráfico aéreo, al objeto de i) verificar que la misión y plan de vuelo del RPAS cumple con todos los requisitos y restricciones aplicables y es acorde a todas las condiciones del entorno operativo; y ii) permitir la realización de cuantas modificaciones del plan de vuelo inicial (IFPL- *Initial Flight Plan*) sean necesarias.

3. FUNCIONALIDADES DE LA DSS

Como se ha indicado en la introducción, se ha empleado la ingeniería de sistemas en el estudio del sistema RPAS [11][22]. Para la obtención de requisitos es necesario definir claramente los elementos presentes en el entorno operativo de la aeronave.

¹ Proyecto conjunto de la comunidad de transporte aéreo europea cuyo objetivo es la implantación futura de una red ATM europea de altas prestaciones

En la Fig. (1) se puede observar la arquitectura funcional del sistema RPAS. Las entidades externas corresponden al sistema de gestión de tráfico aéreo, (con unidades de vigilancia y de servicios de tráfico aéreo - ATC; *Air Traffic Control*), otros usuarios que estén operando en el espacio aéreo y las unidades de control de operación de vuelo, ya sean civiles o militares (*Flight/Wing Operations Centre* - FOC / WOC). El sistema RPAS está compuesto por la aeronave (RPA - *Remotely Piloted Aircraft*), la estación de control en

tierra (RPS - *Remote Pilot Station*) y el enlace de datos para dicho control (C2 link en inglés) [23]. La Fig. (1) representa las interacciones que tienen lugar entre los componentes del sistema RPAS y el resto de actores que participan en el espacio aéreo.

Centrándonos en el sistema RPS, la Fig. (2) muestra las principales componentes de la misma y la interrelación entre la componente DSS y las restantes componentes de la RPS. El elemento de la DSS que se ha desarrollado tiene dos funciones integradas en dos módulos. El módulo de comunicaciones es el que permite la comunicación del piloto remoto con las unidades de control de tráfico aéreo ATC (utilizando data link, según el concepto ‘Controller to Pilot Data Link Communications’ – CPDLC [23] por sus siglas en inglés y comunicaciones por voz como medio alternativo al Data Link). El segundo módulo, el de gestión de la trayectoria, permite el intercambio de información de la trayectoria procedente del módulo de definición de la trayectoria con el entorno ATM, permitiendo realizar la negociación y modificación de la trayectoria durante todo el proceso.

En la Fig. (3) se representa la evolución de la trayectoria del RPAS, durante la fase de planificación del vuelo, desde la definición inicial por el usuario en base

a sus criterios de planificación (denominada BDT/MDT por *Business/Mission Development Trajectory*, que hace distinción entre la operación civil y militar); hasta el inicio de la operación o despegue (TOT - *Take Off Time* o momento de despegue) [13]. Esta trayectoria inicial se comparte con el resto de usuarios del espacio aéreo a través del NM mediante una plataforma conocida como *Network Operations Plan* (NOP) [24]. Una vez compartida, la trayectoria pasa a llamarse ‘*Shared Business/Mission Trajectory*’ (SBMT). A partir de ese momento la trayectoria SBMT se somete a un proceso iterativo de validación que finalmente acaba con una trayectoria válida y aceptada por todas las partes: la ‘*Reference Business/Mission Trajectory*’ (RBT/RMT). La RBT/RMT es la trayectoria que el usuario se compromete a seguir y el sistema ATM se compromete a dar servicio.

El módulo de gestión de trayectoria de la DSS se comunica con el sistema ATM a través del NM y permite validar la trayectoria inicialmente propuesta.

En las Tabla 1 y la Tabla 2) se detallan las funcionalidades de la DSS en cada etapa de la evolución de la trayectoria RPAS en la fase de

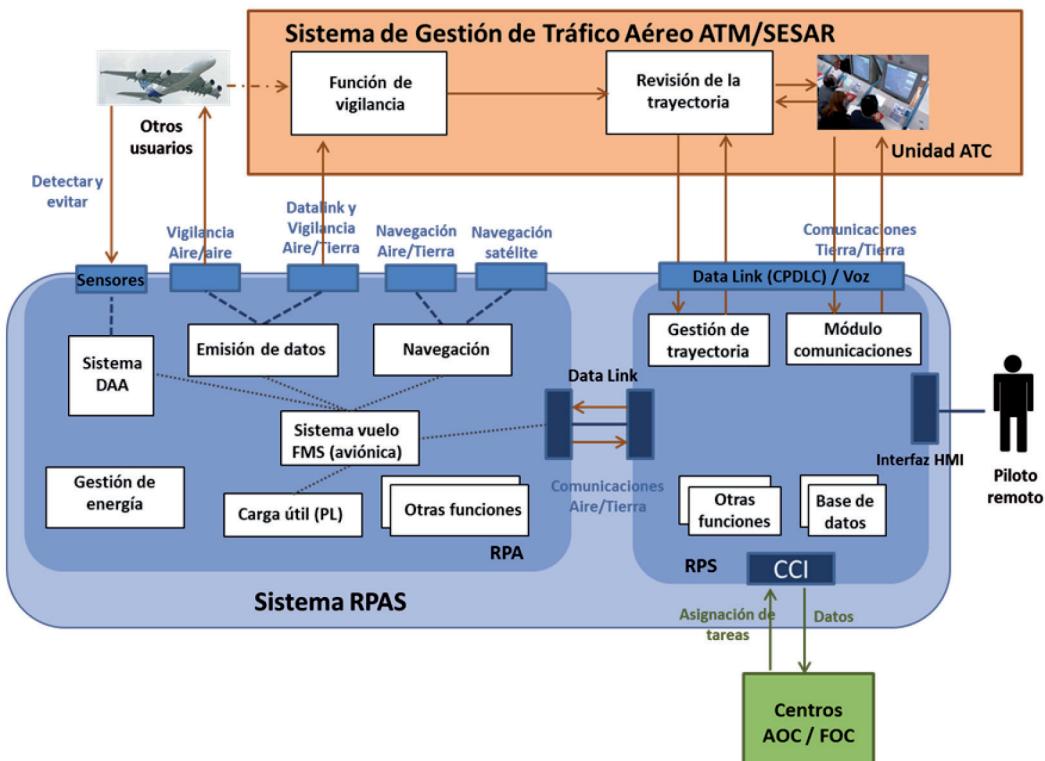


Fig. 1: Arquitectura funcional del sistema RPAS e interfaz con el entorno

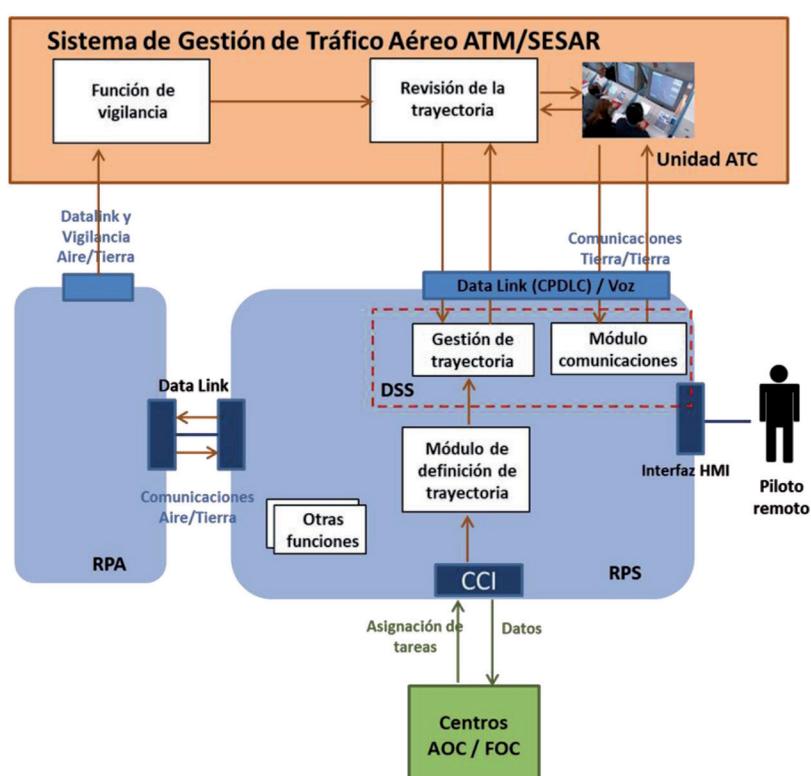


Fig. 2: Componentes principales de la estación de control en tierra (RPS) e identificación de la DSS

planificación de la misión. La ejecución se considera en otro estudio posterior.

La DSS ha de recopilar en tiempo real la información que puede afectar al vuelo en espacio aéreo y que puede suponer modificaciones a la trayectoria inicialmente planificada por el módulo de definición (que sólo tiene en cuenta las capacidades de la aeronave y los requisitos de la misión). La información incluye: i) información referente a otros vuelos (Flight Information), ii) información sobre el espacio aéreo (Airspace Infomation), y iii) infor-

mación meteorológica (Weather Information). Toda esta información se encuentra actualmente disponible a través de varias bases de datos en formato XML (eXtended Markup Language).

Una vez realizado el análisis funcional, los procesos y sus interacciones se han modelizado y estudiado aplicando el NATO Architectural Framework [25].

En dicho ejemplo puede verse como, si existen incompatibilidades en la trayectoria propuesta, ésta deberá ser revisada y modificada por el operador, función que cubre la DSS desarrollada.

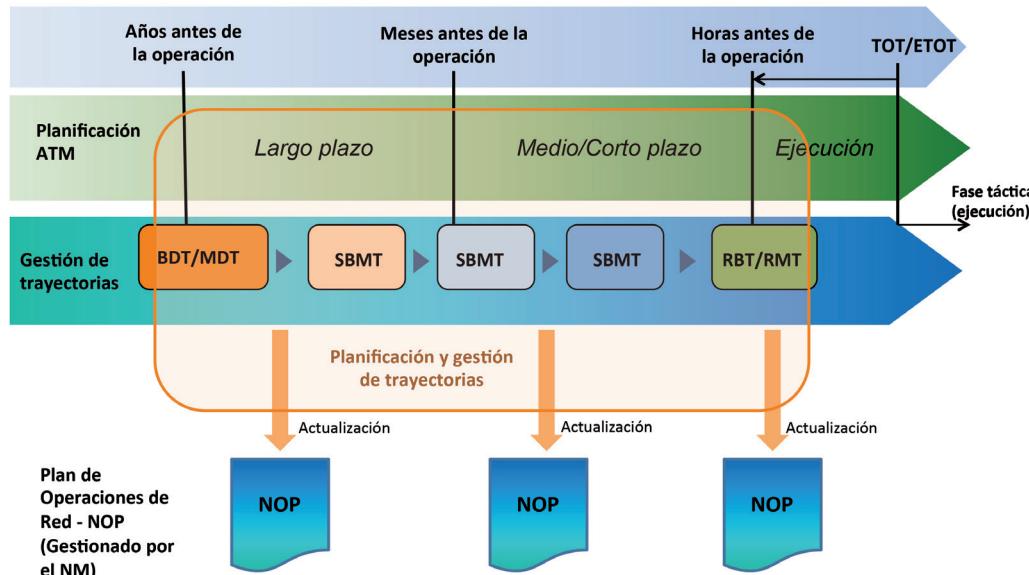


Fig. 3: Evolución de la trayectoria según el concepto operativo basado en trayectorias

4. DESARROLLO DE LA DSS

El desarrollo de la DSS se ha abordado en varias iteraciones sucesivas. La primera se centró en la programación de la mensajería de comunicación entre la RPS y la DSS a través de comunicaciones por enlace de datos CPDLC [23]. Este enlace supone el intercambio efectivo de mensajes entre el operador de la aeronave en la RPS a través de la herramienta informática DSS y el centro responsable de ATM, el Network Manager. Este intercambio de información es necesario para poder validar el plan de vuelo

Fase / Proceso	Definición	Funcionalidad
Establecimiento de la misión	Propuesta de trayectoria BDT/MDT. El WOC (Wing Operation Center) o FOC (Flight Operation Center) establece los objetivos de la misión. Como parte de la trayectoria se puede definir un área de misión ARES (Area Reservation) con un punto de entrada y otro de salida.	Es un proceso interno que realiza el planificador de la misión, por lo que no se necesita en este paso ninguna función en la DSS. Debe finalizar antes de dos semanas de la hora de quitada de calzos EOBT (Extended Off Block Time) o de despegue TOT (Take Off Time).
Envío de la información de la trayectoria	Se hace una solicitud de trayectoria enviando toda la información necesaria para su definición.	Realizar la petición al NM proporcionando los siguientes datos: -Identificador de la compañía o el operador -Número de vuelo. -Periodo de operación -Día de operación -Tipo de servicio -Tipo de aeronave según la OACI -Código OACI del aeropuerto de salida. -Código OACI del aeropuerto de llegada. -Hora programada de salida (EOBT/TOT). -Hora programada de llegada (EIBT – Expected In-Block Time). -Ruta en formato EPP (Extended Profile Plan) que consiste en una serie de puntos de paso (hasta 128). Los principales son: EOBT, SID, ETO, ETA, ARES, STAR y EIBT ¹ . La información de cada punto consiste en: -Latitud, longitud y nombre del punto. -Velocidad -Nivel de vuelo y hora de sobrevuelo. La DSS recibe esta información de la RPS a través de un fichero CRD (Common Route Description) que contiene toda la información necesaria y la coteja con el NM.
Provisión de la BDT/MDT como SBMT inicial	Una vez se ha definido la trayectoria se comparte con el NM a través de la herramienta de validación del NOP.	Acceder y leer la información publicada por el NOP, contrastar con la del plan de vuelo enviado por la DSS y enviar una aceptación o rechazo del plan de vuelo a la RPS.

Tabla 1: Fase de preparación a largo plazo

¹ EOBT (Expected Off Block Time: tiempo de quitada de calzos esperado); SID (Standard Instrumental Departure: Procedimiento de salida normalizado), ETO (Estimated Time of Overfly: Tiempo esperado de sobrevuelo), ETA (Estimated Time of Arrival: tiempo esperado de llegada), ARES (Area REservation: reserva de un área del espacio aéreo), STAR (Standard Instrumental Arrival: Procedimiento de llegada normalizado) y EIBT (Expected In-Block Time: Tiempo esperado de puesta de calzos).

Fase / Proceso	Definición	Funcionalidad
Configuración del espacio aéreo y gestión civil/militar	Caso continuo de refinamiento de la SBMT. El NOP necesita información de la trayectoria para validarla con el resto de los usuarios.	Visualizar la SBMT actualizada.
Actualización de la trayectoria (proceso iterativo)	El operador del RPA puede solicitar modificar el plan de vuelo hasta tres días antes de la EOBT.	Recibir desde la RPS la actualización del plan de vuelo y hacerla llegar al NM para cotejar las actualizaciones realizadas en la trayectoria.
Obtención de la ETA/ETO mínima/máxima (Estimated Time of Arrival/ Overflight) de los segmentos que componen la trayectoria	Se solicita a través de Data Link al operador RPAS, que debe enviar una notificación de la recepción.	Tiene una función que permita introducir la ETA y la ETO con menor error. Se comunicará con mensajes de Data Link (CPDLC) en planificación
Establecimiento del contrato tierra-aire	Cuando el NM acepta la trayectoria solicitada tras comprobar su viabilidad envía un mensaje de notificación al operador RP, que genera un contrato que al aceptarse que será el que se siga durante la ejecución del vuelo.	Enviar el mensaje con la trayectoria SBMT finalmente aceptada como RBT/RMT de referencia.
Vigilar concordancia de la trayectoria con el TMR (Trajectory Management Requirements)	Supervisión constante de que los requisitos de la trayectoria se encuentran dentro de los márgenes admisibles. El operador RP es el encargado de esta supervisión, tarea que desempeña la DSS propuesta.	Visualizar la trayectoria y los límites TMR y aplicar las restricciones impuestas por el TMR.

Tabla 2: Fase de preparación a medio y corto plazo

(FPL – Flight Plan). El plan de vuelo se edita inicialmente como CRD (Common Route Definition) en lenguaje XML. La validación se realiza a través de la carga de ficheros obtenidos de manera independiente de las bases de datos disponibles, como se muestra en la Fig. (4).

En una segunda iteración (ver Fig. 5), se añadió la comunicación con el Network Operations Plan (NOP) [24] para la validación del fichero XML. Además se ha generalizado el acceso a las bases de datos, incorporando la posibilidad de acceder a los formatos normalizados de información aeronáutica (AIXM), de vuelo (FIXM) y meteorológica (WXXM) en formato XML.

La programación de la mensajería y de la interfaz se ha realizado en lenguaje JAVA basada en objetos [26]. La interfaz se encuentra definida por botones que permiten la ejecución de las distintas funciones, que se ejecutan simulando el comportamiento real del intercambio de mensajes. Las funciones de la componente DSS son: lectura de documentos; comprobación del plan de vuelo; escritura de documentos y comunicaciones. El algoritmo empleado en el proceso de validación de la herramienta DSS realiza un proceso iterativo de modificación de parámetros del plan de vuelo. El criterio de modificación de estos parámetros, que es la función aportada por la DSS, se detalla en Material Suplementario adjunto.

La DSS proporciona al piloto remoto una respuesta a la trayectoria creada como CRD:

- VALID FPL <ID>
- INVALID FPL <ID> + Razón de invalidez + Solución o parámetro a modificar en el CRD

La razón de invalidez corresponde a un código que se encuentra normalizado y recogido en el sistema IFPS Internal Flight Data Processing System [27].

La DSS devuelve la modificación necesaria en el FPL inicial para poder validar el CRD. Los criterios de modificación pueden ser seleccionados por el operador, pero en general atienden a criterios temporales (cambiar la hora de salida del vuelo EOBT - Expected Off Block Time, o el día de salida DOF - Date Of Flight) o espaciales (cambio de la salida instrumental o SID - Standard Instrumental Departure).

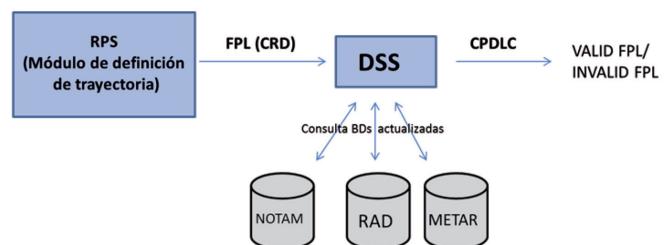


Fig. 4: Esquema de la versión 1 de la DSS

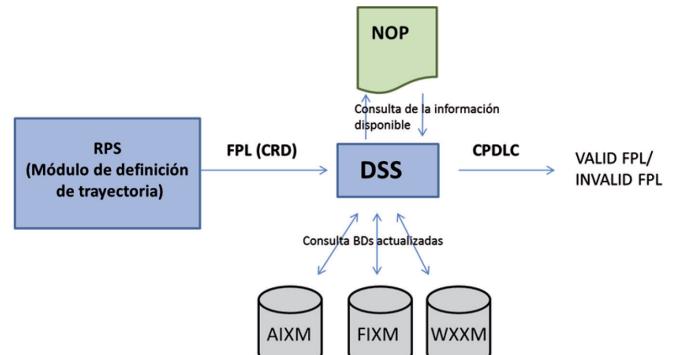


Fig. 5: Esquema de la versión 2 de la DSS

4.1. INTERFAZ GRÁFICA GENERAL

La ventana principal del programa cuenta con dos pestañas: la primera permite el acceso al NOP (Flight Plan Panel), mientras que la segunda permite acceder a las Bases de datos AIXM, FIXM y WXXM (Constraints Panel).

La Fig. (6) presenta la primera pestaña, que se encuentra dividida en cuatro bloques:

El primer bloque (arriba, a la izquierda) permite la carga e interacción con la interfaz, mientras que en los otros bloques aparece la información relativa al plan de vuelo leído como CRD (bloque de arriba, a la derecha), descripción de los posibles errores encontrados si el plan de vuelo es inválido (bloque de abajo, a la izquierda) y por último, el panel de comunicaciones entre la herramienta de apoyo a la toma de decisión DSS y la estación de control en tierra RPS (en negro, abajo, a la derecha).

A continuación se describe en detalle el procedimiento de funcionamiento de la DSS y la interacción necesaria con la misma.

4.2 LECTURA DEL PLAN DE VUELO

La primera función de la DSS es la lectura de un plan de vuelo proporcionado por el Módulo de definición de trayectoria en formato XML (el CRD). El programa se encarga de leer todos los campos y presentar la información por pantalla. El proceso detallado se recoge en 'Material suplementario', dónde aparecen las figuras relativas a cada uno de los comandos introducidos para la lectura y análisis del plan de vuelo de la Fig. (6).

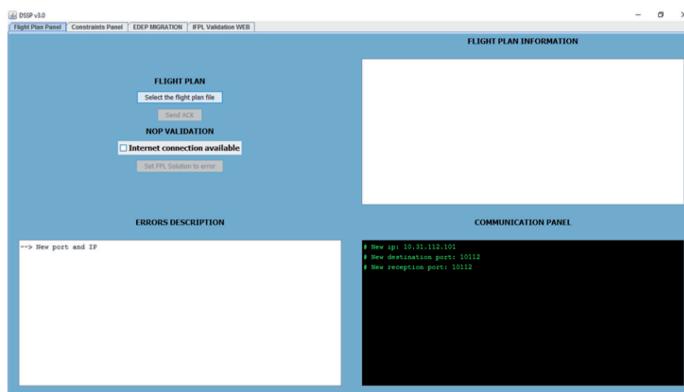


Fig. 6: Pestaña con la información inicial de lectura de plan de vuelo (Flight Plan Panel)

El CRD presenta una estructura jerárquica que nos permite conocer todos los puntos (*WayPoints - WP*) que definen la trayectoria y los parámetros relativos a la misma: longitud, latitud, altitud, información de tiempo de inicio de la misión, y la velocidad de paso por puntos. La distancia entre puntos se calcula utilizando la fórmula de Haversine (1) [28], que calcula la distancia de círculo máximo entre dos puntos a partir de la latitud ϕ y longitud λ :

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

Tras la correcta lectura del plan de vuelo, se envía la notificación de '*Acknowledge*', que el componente de recepción recibiría como '*ROGER*' (siguiendo la nomenclatura de la mensajería CPDLC). Al presionar '*Send ACK*' en la interfaz, obtendríamos la notificación de recepción (ver 'Material Suplementario').

4.3 VALIDACIÓN DEL PLAN DE VUELO A TRAVÉS DEL NOP

La validación del plan de vuelo se realiza a través del mismo interfaz de la Fig. (6) que conecta con el portal NOP [29] del NM. El procedimiento detallado aparece en 'Material Suplementario' de éste artículo. El resultado de la validación que se realiza a través del NOP es una respuesta VALID o INVALID FPL junto con la solución al error en el último caso. El botón '*Set FPL Solution to error*' proporciona una ventana de interacción que permite conocer en detalle el tipo de error en función del código de error encontrado, así como la propuesta de solución para el mismo. El código de error está definido por Eurocontrol en [30]. La solución válida proporcionada es la parte que realiza la DSS.

La diferencia entre el proceso automático y el procedimental radica en que el primero devuelve la solución óptima tras un proceso de iteración interno de la DSS (en base a los criterios de optimización y conveniencia escogidos), mientras que el segundo sería el que permite ver el proceso paso a paso y de manera interactiva. El proceso automático, que es el propio de la DSS, permite al piloto remoto conocer si el plan de vuelo requiere modificación y cuál

sería la modificación óptima de acuerdo a sus criterios.

4.4 COMUNICACIÓN CON LAS OTRAS COMPONENTES DE LA GCS

La comunicación con las otras componentes de la RPS se realiza con protocolo UDP (*User Data Protocol*) codificando los mensajes según el formato CPDLC de la OACI [23]. Como requisito para las comunicaciones se usará la codificación PER (*Packed Encoding Rules*) definida en la norma ISO/IEC 8825-2 [31].

La mensajería implementada entre la RPS y la DSS, es la siguiente:

- NEW_FPL: con identificador 92, indica que se ha enviado un nuevo plan de vuelo a la DSS.
- ACK: con identificador 3, indica que el plan de vuelo ha llegado y se ha podido interpretar correctamente.
- NACK: con identificador 0, indica que el plan de vuelo no ha llegado correctamente o no se ha podido interpretar.
- ACCEPT / REJECT: con identificador 208, indica que el plan de vuelo que se ha enviado es válido o inválido (en este último caso se explican los motivos).

Esta mensajería aparece en la Fig. (6) mediante un botón adicional '*Send invalid FPL proposal or Valid FPL*' que es el que nos permite enviar el mensaje a la RPS correspondiente a uno u otro caso. La información aparece en la ventana 'Communications Panel' (un ejemplo se puede ver en el adjunto 'Material Suplementario'). El resultado es una notificación al operador de que el plan de vuelo FPL es válido desde el punto de vista ATM.

5. INTEGRACIÓN DEL COMPONENTE Y VALIDACIÓN

La componente DSS ha sido integrada en una estación en tierra RPS real, utilizada por Airbus para realizar simulaciones con datos reales. Durante las pruebas, se realizaron simulaciones en tiempo real de una operación de vigilancia. La componente desarrollada se ha podido probar durante la fase de planificación de la misión, y ha permitido establecer un plan de vuelo válido en el entorno ATM; también se ha empleado el simulador de Eurocontrol eDEP, que permite simular posiciones de control, con un tráfico real.

El plan de vuelo inicialmente proporcionado por el módulo de definición de trayectoria proporciona un mensaje de 'INVALID FPL' debido a la ocupación de una parte del espacio aéreo que atravesaba la trayectoria. La componente DSS fue capaz de analizar dicho error y proporcionar una solución lo más aproximada posible a la intención inicial del operador. En concreto, propuso el retraso de la hora de salida (EOBT).

La aportación más importante de la DSS es que la solución que ofrece ha sido validada internamente con ATM, por lo cual el operador sabe que introduciendo esta modificación en el plan de vuelo inicial, éste será válido. Esto supone una reducción en el número de iteraciones necesarias por parte del operador, que puede ocuparse con otras tareas.

6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

Como se menciona en [2], la RPS (o GCS) es la interfaz hombre-máquina del operador con el vehículo aéreo no tripulado. Además del sistema de control de la propia aeronave, es necesario poder interactuar con el resto del sistema ATM en el que operamos. El componente del DSS desarrollado en este artículo permite al operador interactuar con el sistema ATM durante la planificación de la misión, aplicando modificaciones a la trayectoria. La aportación de este componente es reducir la carga de trabajo asociada a esta tarea.

El componente informático desarrollado se encarga de validar el plan de vuelo en la fase de planificación, que de otra manera debería llevarse a cabo mediante el portal NOP de Eurocontrol. Este componente automatiza los procesos que debe llevar a cabo un planificador, de manera que es capaz de compartir un plan de vuelo con el sistema y comprobar si es válido o presenta algún error que requiera modificación. El componente desarrollado accede al sistema de validación de manera autónoma, y proporciona una solución óptima para el usuario en caso de invalidez de la propuesta. Además, los errores proporcionados corresponden no sólo a incompatibilidades relacionadas con la estructura del espacio aéreo, sino también a incompatibilidades por presencia de otros tráficos (datos dinámicos) o bien a condiciones meteorológicas adversas en alguno de los tramos de la trayectoria, lo que mejora la interacción puntual con el NOP, permitiendo además validar realmente el plan de vuelo.

La DSS y su desarrollo software proporciona como novedad un importante soporte a la hora de elegir la alternativa óptima en caso de plan de vuelo inválido, además de permitir la recepción de notificaciones puntuales por parte de ATM. Todo ello conlleva un ahorro de tiempo de planificación para el operador y además una reducción de costes por adquisición de software.

Este componente se adelanta a la implantación futura de herramientas de apoyo a la planificación, y supone un prototipo al que se le pueden ir añadiendo mejoras en un futuro en cuanto a la visualización y el acceso a otras bases de datos.

En un futuro se presentarán las necesidades, requisitos y funcionalidades del componente desarrollado para operar durante la fase de ejecución de la misión, en el entorno ATM, tanto en las comunicaciones necesarias con las unidades ATC responsables del vuelo, como en los procesos de negociación de la trayectoria en tiempo real siguiendo las propuestas de desarrollo ATM realizadas por SESAR.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cuerno-Rejado, C., García-Hernández, L., Sánchez-Carmona, A., Carrío-Fernández, A., Sánchez-López, J., Campoy-Cervera, P.. (2016). HISTORICAL EVOLUTION OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLES TO THE PRESENT. DYNA, 91(3). 282-288. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7781>
- [2] Trejo-Medina, L., Aguasca-Colomo, R., Cabrera-Peña, J., Galván-González, B.. (2016). TECHNOLOGY REVIEW, STANDARDS AND APPLICATIONS OF THE UAV IN ENGINEERING (PART 2). DYNA, 91(6). 625-628. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8052>
- [3] International Civil Aviation Organization (ICAO), "MANUAL ON REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS (RPAS)", DOC 10019, First Edition 2015.
- [4] EUROCONTROL (EC), "RPAS ATM CONOPS' ATM.STR.CONOPS-RPAS.V(E) version 3.0, brochure, Febrero 2017.
- [5] European Defence Agency, Call for Tenders. 16.CPS.OP.213. "SERVICE CONTRACT FOR THE SUPPORT TO STANDARDISATION OF REMOTE PILOT STATION OF RPAS FOR EASA'S CERTIFIED CATEGORY". Febrero 2017
- [6] U.S. Department of Transportation, "INTEGRATION OF CIVIL UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS (UAS) IN THE NATIONAL AIRSPACE SYSTEM (NAS)", Federal Aviation Administration (FAA). First Edition 2013
- [7] European RPAS Steering Group (ESRG), "ROADMAP FOR THE INTEGRATION OF CIVIL REMOTELY-PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS INTO THE EUROPEAN AVIATION SYSTEM". Final report (Annex 2). June 2013.
- [8] EUROCAE Working Group WG-105 for UAS Rules and Regulations, final versión September 2016. (<http://www.auvsi.org/blogs/auvsi-news/2016/09/30/eurocae-council-establishes-working-group-wg-105-for-uas-rules-and-regulations>)
- [9] ROADMAP FOR DRONE OPERATIONS IN THE EU. The roll-out of the EU centric Approach. RPAS Conference, Junio 2016
- [10] Call for Tenders 16.CPS.OP.213. Service Contract for the support to standardisation of remote pilot station of RPAS for EASA's certified category
- [11] Fernandez-Sánchez, J., García-García, M., García-Muñoz, J., Gómez-Pérez, J.. (2012). SYSTEMS ENGINEERING AND ITS APPLICATION TO AN UNMANNED AERIAL VEHICLE. DYNA, 87(4). 456-466. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4574>
- [12] EUROCONTROL "Specifications For The Use Of Military Unmanned Aerial Vehicles As Operational Air Traffic Outside Segregated Áreas" DOCUMENT IDENTIFIER: EUROCONTROL-SPEC-0102, Version 2. Febrero 2012
- [13] SESAR Joint Undertaking, "SESAR CONCEPT OF OPERATIONS AT A GLANCE", Edition 2, Julio 2011.
- [14] A.Kosiakoff, W. N. Sweet, "SYSTEMS ENGINEERING PRINCIPLES AND PRACTICE" Second Edition, 2011. ISBN 978-0-470-40548-2
- [15] Blanco, T., Asensio, A., Casas-Nebra, R., Tamargo, A.. (2017). METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR ENGINEERING PROBLEMS MULTIDISCIPLINARY DIAGNOSIS. DYNA Management, 5(1). [20 p]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN8241>
- [16] M. Jovanovic, D. Starcevic "SOFTWARE ARCHITECTURE FOR GROUND CONTROL STATION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE", 10th Computer Modelling and Simulation Conference. 15 April 2008 (DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/UKSIM.2008.12>)
- [17] C. Edinger, A.R. Schmitt, "RAPID PROTOTYPING FOR ATM OPERATIONAL CONCEPT DEVELOPMENT", Development', Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2012, Berlin
- [18] F. Hardtke "RAPID PROTOTYPING FOR USER- FRIENDLY AND USEFUL HUMAN-MACHINE INTERFACES", Raytheon Australia. Proceedings 17th European Simulation Multiconference. BVBA 2003 ISBN 3-936150-25-7
- [19] Bharati, P. and A. Chaudhury, "AN EMPIRICAL INVESTIGATION OF DECISION-MAKING SATISFACTION IN WEB-BASED DECISION SUPPORT SYSTEMS", Decision Support Systems, Vol. 37, No. 2, paginas. 187-197. 2004
- [20] Capítulo de libro. C. Cuerno, "SITUACIÓN ACTUAL DE LA CERTIFICACIÓN E INTEGRACIÓN DE LAS AERONAVES NO TRIPULADAS EN EL ESPACIO AÉREO NO SEGREGADO" Derecho Aéreo Internacional (ISBN 979-84-457-3257-1). Editorial: Dirección de Puertos y Aeropuertos. Actividad aeronautica.indd 35-73
- [21] European Aviation Safety Agency (EASA). Advance-Notice of Proposed Amendment (NPA) N.º 16/2005, Policy for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Certification.
- [22] International Civil Aviation Organization (ICAO), "CIRCULAR 328 UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS (UAS)", 2011.
- [23] International Civil Aviation Organization (ICAO), "GLOBAL OPERATIONAL DATA LINK DOCUMENT (GOLD) ", Second Edition – 26 April 2013
- [24] EUROCONTROL, NOP User Guide, Network Manager
- [25] (<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/nm-network-operations/user-guides/hop-portal-user-guide-current.pdf>), 9 January 2017
- [26] NATO Architectural Framework (NAF) (<http://nafdocs.org/>)
- [27] Perez-Rodríguez, R., Hernandez-Aguirre, A., Reyes-Cortes, M.. (2017). SIMULATION OPTIMIZATION TO ENHANCE THE PERFORMANCE OF THE SEAPORT OPERATIONS. DYNA New Technologies, 4(1). [19 p]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8143>
- [28] EUROCONTROL, "IFPS USERS MANUAL", Network Manager, 22 Noviembre 2016
- [29] de Mendoza y Ríos, J. "MEMORIA SOBRE ALGUNOS MÉTODOS NUEVOS DE CALCULAR LA LONGITUD POR LAS DISTANCIAS LUNARES: Y APLICACION DE SU TEÓRICA Á LA SOLUCION DE OTROS PROBLEMAS DE NAVEGACION". Madrid, Imprenta Real. 1795
- [30] International Civil Aviation Organization (ICAO), "FLIGHT PLAN FPL 2012" (<http://www.eurocontrol.int/news/icao-fpl-2012-knowledge-and-full-support-available>)
- [31] EUROCONTROL, "FLIGHT PLAN GUIDE ERROR" (<https://contentzone.eurocontrol.int/fpl/errorSearch.aspx>)
- [32] ISO/IEC 8825-2 Information technology -- ASN.1 encoding rules: Specification of Packed Encoding Rules (PER). "TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION EXCHANGE BETWEEN SYSTEMS". Noviembre 2015

AGRADECIMIENTOS

El presente Estudio ha sido desarrollado al amparo del Convenio específico de Colaboración entre Airbus (EADS SAU) y la Universidad Politécnica de Madrid como una de las líneas de investigación dentro del proyecto "Situational Awareness in Virtual Environments (SAVIER)". SAVIER pretende desarrollar varias tecnologías relacionadas con la interfaz hombre-máquina para sistemas no tripulados en relación a la planificación y gestión de las misiones, la conciencia de situación y el soporte a la toma de decisiones para el operador.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

http://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8394-1.pdf

