



MEMORIA DE INVESTIGACIÓN 2021-2022

Centro de referencia
I+D+i ATM (CRIDA)

14/04/2023



Índice

	Carta del Presidente del Consejo	3
	Carta del Director	4
1	Fechas relevantes	5
2	Misión, visión y valores	6
3	Estrategia	7
4	Las personas	12
5	Sus instalaciones	15
6	Su negocio en cifras	16
7	Resumen del periodo	18
8	Avances técnicos	21
9	Innovación abierta	66
10	Transferencia tecnológica	68
11	Entidades colaboradoras	70

Carta del Presidente del Consejo

Europa está realizando grandes esfuerzos en la mejora de los servicios de gestión del tráfico aéreo, trabajando conjuntamente en pro de ambiciosos objetivos de eficiencia, sostenibilidad y seguridad. Los programas de investigación apuntan hacia el despliegue de soluciones globales, de alta automatización e interoperabilidad, que conducen a cambios radicales en la arquitectura del sistema de gestión de tráfico aéreo.

ENAIRE tiene el firme propósito de ser un proveedor de servicios de navegación aérea global, que compita en el contexto internacional que empezamos a vislumbrar en el horizonte. Para ello, CRIDA será el pilar esencial que nos permitirá continuar a la vanguardia en la investigación acometiendo los desafíos técnicos asociados a este objetivo.

Desde su constitución en 2008, CRIDA ha demostrado que es una parte sustancial de la innovación que ENAIRE necesita, con resultados tangibles y demostrando gran sensibilidad y rapidez de respuesta a sus necesidades.

Esta memoria presenta las actividades desarrolladas por CRIDA en los años 2021 y 2022, destacando las realizadas para ENAIRE o en colaboración con ella. Se hace especial hincapié en los avances técnicos desarrollados, que hacen frente a desafíos de relevancia para ENAIRE como la necesidad de mejorar las previsiones de demanda de tráfico ante la incertidumbre generada tras la pandemia de COVID-19. Cabe destacar también el apoyo recibido por CRIDA para implantar la innovación abierta en ENAIRE, uno de los mecanismos para la captación de nuevas soluciones a los desafíos que se presentan, así como nuevas oportunidades de negocio.

Los retos del sector ATM son incontables y para acometerlos ENAIRE sigue apostando por la senda de la investigación con CRIDA como punta de lanza.



Ángel Luis Arias Serrano
Director General de ENAIRE
Presidente del Consejo de Administración de CRIDA

Carta del Director

CRIDA es hoy una entidad consolidada, con una estrategia vinculada a la vocación de servicio hacia sus socios (ENAIRE, INECO y la Universidad Politécnica de Madrid), y a la ambición de ser agente de referencia y catalizador del I+D en el sector de la gestión del tráfico aéreo español y europeo.

Para continuar desempeñando nuestro papel de impulso y liderazgo, adaptamos de forma continua nuestra estrategia con el fin de acelerar los cambios que el sector necesita para hacer frente al contexto socioeconómico europeo tras la pandemia de COVID-19.

La digitalización, la automatización del sistema, su escalabilidad y resiliencia, o la incorporación de nuevos actores tales como la aviación no tripulada son elementos esenciales de nuestra estrategia. En ella, hemos incorporado el espíritu del Plan de Vuelo 2025, alineando nuestras actuaciones para ser apoyo fundamental al mismo como ya lo fuimos para el Plan de Vuelo 2020.

Esta memoria recoge los trabajos desarrollados en un periodo de dos años (2021 y 2022), donde el cierre de los proyectos de Cielo Único Europeo marca un cambio de ciclo y hace de éste el momento propicio para la consolidación de resultados. En consecuencia, esta memoria ofrece una visión completa de resultados y de su contribución a la consecución de nuestros objetivos estratégicos.



José Miguel de Pablo Guerrero
Director General de CRIDA



1 Fechas relevantes

CRIDA (Centro de Referencia I+D+i ATM) es una agrupación de interés económico sin ánimo de lucro adscrita al Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana a través de su socio principal, **ENAIRE**, que **junto con INECO y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), constituyen su Consejo de Administración**.

Desde su creación en 2008, CRIDA ha aumentado progresivamente su presencia en el marco internacional de actividades I+D+i, donde un hito importante es su incorporación en 2010 **al programa de investigación de Cielo Único Europeo "SESAR"**. Desde entonces ha contribuido al desarrollo de más de 100 proyectos, canalizando gran parte de la contribución de ENAIRE. En la nueva entrega del programa, SESAR 3, CRIDA participará en 16 de los 30 proyectos europeos seleccionados para desarrollar soluciones industrializables.

2011 y 2012 fueron años relevantes ya que también se firmaron **acuerdos bilaterales con empresas** importantes del sector tales como Boeing, Air Europa o Indra. Estos acuerdos han facilitado el desarrollo conjunto de proyectos de investigación.

En el año 2018, CRIDA reforzó su vínculo con la universidad con la creación del **Clúster Español en Innovación en ATM** del que forman parte más de 10 universidades. El clúster es desde entonces un foro en el que compartir e impulsar ideas, así como el embrión de multitud de becas y proyectos de investigación universitarios.

Finalmente, y con el objetivo de explorar conocimientos y cambios tecnológicos que surgen fuera del sector, CRIDA apoyó a ENAIRE en el lanzamiento de un **Plan de Innovación Abierta** en el año 2020.



2 Misión, visión y valores

Misión

CRIDA tiene por misión **mejorar la eficiencia y prestaciones del sistema de gestión de tráfico aéreo (ATM) español**, entendiéndolo como parte integrante de un sistema global, por medio del desarrollo de proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i).

Para ello analiza cuantitativa y sistemáticamente las prestaciones del sistema, diagnostica sus problemas y causas, propone y valida soluciones innovadoras, y colabora en el proceso de implantación de las soluciones óptimas.

Visión

CRIDA persigue ser reconocido como **centro experto** por el resto de los actores del sector, de forma que sus investigaciones sean un referente para la selección de las soluciones a implementar en el sistema de gestión de tráfico aéreo.

CRIDA fomenta la **creatividad** en la búsqueda de ideas, el trabajo en equipo, la excelencia en sus resultados, y la flexibilidad ante cambios en las nuevas necesidades de investigación.

Valores

Sus valores se construyen sobre la **independencia** de sus investigaciones, garantizando así que los resultados sean objetivos y libres de sesgos. Dichos valores son:

- la **proactividad** en la búsqueda de soluciones que contribuyan al desarrollo de productos innovadores;
- la **adquisición y mantenimiento del grado de experiencia y talento** propios de un centro experto e indispensable para acometer los retos de investigación ATM;
- el **compromiso** con la implantación de las soluciones investigadas que mejoran las prestaciones del sistema.

Además, CRIDA está comprometida con los **objetivos recogidos en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas**, contribuyendo a la Política Palanca VI que recoge la necesidad de un pacto para la ciencia e innovación que sitúe a España como país puntero en Inteligencia Artificial y acelere la inversión en I+D+i de forma sostenible.

NUESTROS VALORES



Proactividad



Compromiso



Talento



Experiencia



Independencia

3 Estrategia

El **Plan Estratégico de CRIDA** alinea sus objetivos con los del Plan de Vuelo 2025 de ENAIRE, y especialmente con su Plan de Innovación que identifica a CRIDA como motor de innovación.

Cuatro líneas estratégicas troncales articulan este plan que apuesta por la especialización para hacer frente a las limitaciones en recursos y financiación de cualquier organización de la dimensión de CRIDA:

- Medición de Prestaciones.
- Validación de Soluciones I+D+i.
- Desarrollo de Soluciones I+D+i.
- Innovación Abierta.

De manera complementaria, el plan identifica tres **habilitadores tecnológicos** que facilitarán la consecución de sus objetivos:

- La **automatización** en la medición de las prestaciones del sistema ATM y el análisis de nuevas soluciones. La automatización permite a CRIDA sistematizar sus análisis, liberando recursos para la investigación del comportamiento del sistema y de nuevas soluciones.
- Las técnicas de inteligencia artificial para la explotación de **datos masivos y el aprendizaje automático** tanto para el diagnóstico del sistema ATM, como para el análisis y desarrollo de las soluciones.
- Las tecnologías desarrolladas para la **aviación no tripulada** y sus sistemas de gestión de tráfico como un medio para el análisis del impacto de nuevas soluciones en ATM, en especial aquellas basadas en la automatización y digitalización del sistema.

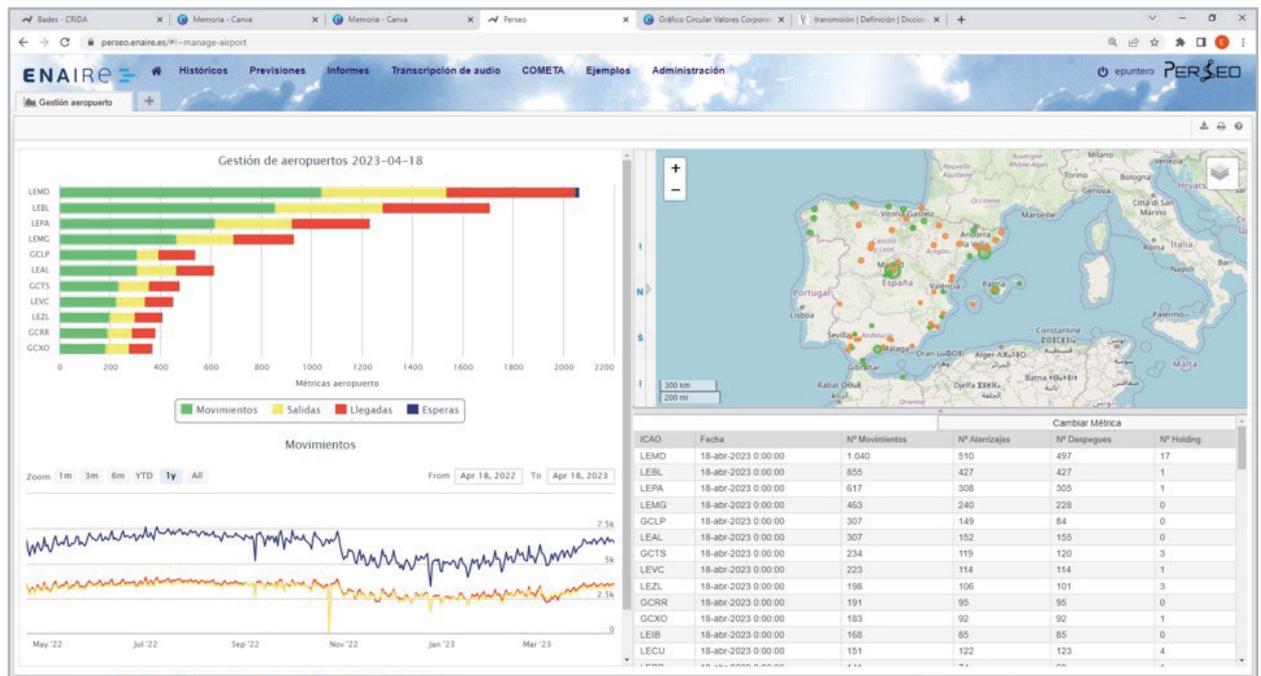


Línea Estratégica 1: Medición Sistemática de Prestaciones

CRIDA identifica como línea estratégica prioritaria la **monitorización, diagnóstico y análisis causal del sistema ATM** y sus problemas por medio de la cuantificación de prestaciones a partir de fuentes de información objetivas.

Para ello, CRIDA investiga, desarrolla y pone a disposición de sus socios **medios de análisis innovadores** que posibilitan el acceso, almacenamiento, procesado e integración de múltiples fuentes de información, así como la generación sistemática y automática de indicadores asociados a varias áreas de prestaciones, incluyendo capacidad, eficiencia o impacto ambiental.

Esta información es la base sobre la que se construye el **modelo causal del sistema**, herramienta clave para enfocar la búsqueda de soluciones de I+D+i en aquellas que realmente hacen frente a las causas de que un nivel de prestaciones no sea el requerido.



Vista de indicadores de aeropuertos en la herramienta PERSEO.

Línea Estratégica 2: Validación de soluciones I+D+i

La segunda línea estratégica consiste en el estudio y validación de soluciones proporcionando **su impacto operacional y cuantificando sus beneficios**. Para ello, CRIDA investiga y desarrolla **técnicas e infraestructuras de validación** que doten a sus socios de capacidad de respuesta, eficiencia económica y flexibilidad ante necesidades de análisis de soluciones.

CRIDA emplea esas nuevas técnicas en realizar validaciones para evaluar soluciones de diverso grado de madurez, **desde ideas de concepto** hasta **soluciones en fases próximas a la industrialización** que requieren el análisis en entornos similares al real. Todas ellas se realizan de acuerdo con las metodologías empleadas en la medición de prestaciones del sistema, y empleando indicadores similares, facilitando con ello la comparación con la operativa actual.



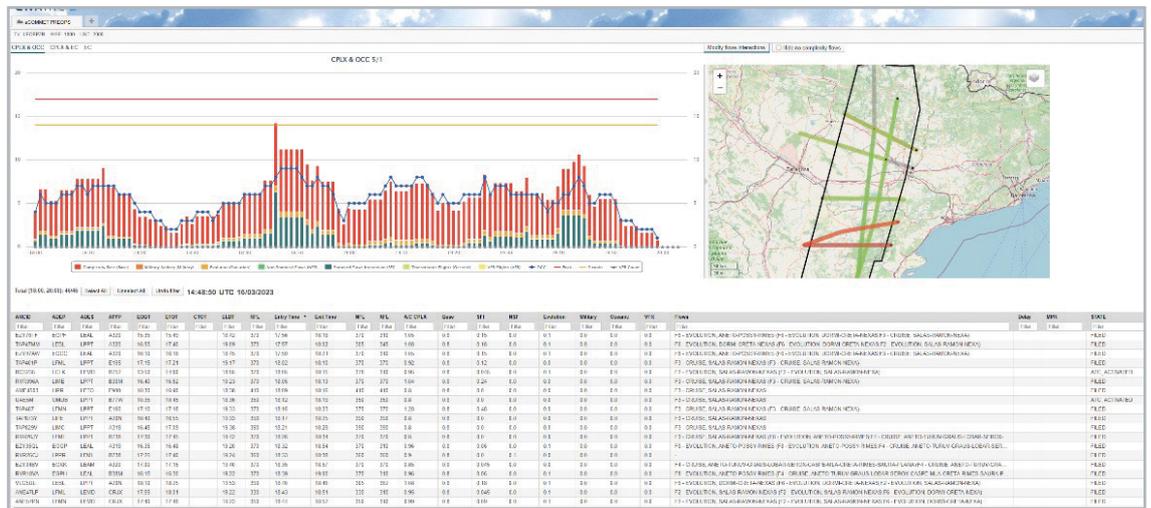
Actividades de validación en las instalaciones de CRIDA.

Línea Estratégica 3: Colaboración en el desarrollo e implantación de soluciones de I+D+i

Del análisis de los problemas surge la identificación de las **soluciones con mayor impacto en el rendimiento del sistema**. Esta tercera línea estratégica consiste en la colaboración en el desarrollo e implantación de esas soluciones en el entorno real.

En general, CRIDA se centra en **colaborar con las empresas del sector** en la preparación de las fases de desarrollo e implantación de la solución, con el fin de garantizar que la solución final se adapta a lo esperado según su evaluación en la fase de investigación.

En aquellos casos en los que la solución a implantar se basa en la explotación de módulos desarrollados por CRIDA como parte de la medición de presentaciones del sistema o la validación de soluciones (líneas I y II), CRIDA contribuye al desarrollo de prototipos funcionales que sirven para la puesta en explotación. Estos casos son excepcionales dada la dimensión de CRIDA y los recursos de que dispone.



Vista de la herramienta eCOMMET, que se utiliza actualmente para la validación del algoritmo de cálculo de complejidad en la gestión de afluencia de las dependencias de Madrid, Sevilla, Barcelona, Canarias y Palma.

Línea Estratégica 4: Innovación abierta

Esta cuarta línea estratégica apunta al carácter de CRIDA como centro de referencia, y a su rol de motor de la Innovación en ENAIRE.

Partiendo de la premisa de que los cambios tecnológicos suceden cada vez más deprisa, y que la I+D+i requiere una gama cada vez mayor de capacidades y conocimientos, CRIDA tiene como prioridad el diseño de procesos de innovación abierta que **favorezcan la transmisión y socialización del conocimiento generado**. Esta línea estratégica permite a CRIDA conectar personas o actores clave dentro y fuera de la organización, lo que entronca con el rol de centro referencial de CRIDA.

Por otro lado, esta línea tiene como objetivo **extender el ámbito de I+D+i de CRIDA** a otros aspectos del ATM que puedan significar nuevas oportunidades de negocio para sus socios, incluyendo la aviación en general o incluso aspectos sociales como la experiencia del pasajero.

4 Personas

La plantilla

CRIDA cuenta con una plantilla de menos de cincuenta personas con una media de edad situada en torno a los treinta y cinco años y cuya antigüedad media supera los seis años.

Todos sus empleados poseen una titulación universitaria, siendo la carrera predominante (80%) Ingeniería Aeronáutica y del Espacio. El resto son, en su mayoría, titulados en Ingeniería Informática e Ingeniería de Telecomunicaciones.

El **porcentaje de hombres frente a mujeres es de aproximadamente el 60% frente al 40%** respectivamente. Esta proporción se explica por la masculinización del sector aeronáutico.

En lo referente a la nacionalidad de las personas en CRIDA, el 85% son españolas, aunque a lo largo de los años han estado representadas otras **nacionalidades tanto europeas como de fuera de Europa** (china, estadounidense, austriaca, italiana o francesa).

Becas y Doctorados

CRIDA, en su papel de centro de referencia en España en la investigación de la gestión del tráfico aéreo, ha creado el **“Clúster español en investigación en ATM”**, aglutinando a todas las universidades nacionales que de alguna forma están ligadas al sector. El objetivo del clúster es intercambiar experiencias en el ámbito de la investigación, planteando líneas de trabajo que sean de interés para una explotación común y fomentando la participación en programas y líneas de trabajo nacionales y europeos.

Además, en CRIDA se llevan a cabo numerosas investigaciones a través de becas que facilitan la prospección tecnológica y la búsqueda de ideas emergentes.

Dentro de este contexto, CRIDA ha publicado durante los años 2021 y 2022 **más de 50 becas**, incluyendo becas curriculares y no curriculares. Los alumnos becados cursaban sus estudios en la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Carlos III de Madrid, la Universidad Autónoma de Barcelona, la Universidad de Granada, la Universidad de Vigo, la Universidad Complutense y la Universidad Politécnica de Cataluña.



Entrega de títulos y premio de CRIDA al mejor proyecto fin de carrera en el WANDA METROPOLITANO en 2022

Por otro lado, CRIDA facilita que aquellos profesionales de su plantilla que lo deseen puedan cursar estudios para obtener el **título de Doctor**. Durante los años 2021 y 2022, dos de los profesionales de CRIDA han obtenido el título, y dos más están cursando los estudios en la actualidad.

Plan de Igualdad

CRIDA declara su compromiso con el desarrollo de medidas que promuevan la igualdad de trato y oportunidades entre hombres y mujeres en la actividad global de la empresa, así como la no discriminación directa o indirecta por razón de sexo y/o género.

A lo largo de 2021 y 2022 se ha completado el diagnóstico de la situación de la empresa con respecto a la perspectiva de género, y se han definido un **conjunto ordenado de medidas** a través de un Plan de Igualdad. El plan incluye medidas específicas para favorecer la conciliación laboral y personal, así como integrar la perspectiva de género en los procesos de organización y gestión, entre otros aspectos.



CRIDA ha apostado por el desarrollo de un plan de formación flexible y adaptado a las necesidades de sus empleados

Plan de Formación

La formación constituye uno de los pilares elementales que vertebra la capacitación profesional de las personas que trabajan en CRIDA. Es por ello por lo que, a lo largo de 2021 y 2022, CRIDA ha apostado por el desarrollo de un plan de formación flexible y adaptado a las necesidades de sus empleados con el fin de fomentar el desarrollo profesional, la creación de sinergias con las actividades y líneas estratégicas de la empresa, y garantizar la capacidad para afrontar los cambios. En este sentido, y con el objetivo de responder a los incipientes cambios del entorno derivados de la proliferación de nuevas tecnologías en el ámbito de ATM y UTM, se ha reforzado la formación específica y avanzada en **técnicas de tratamiento de datos, inteligencia artificial y aprendizaje automático**.

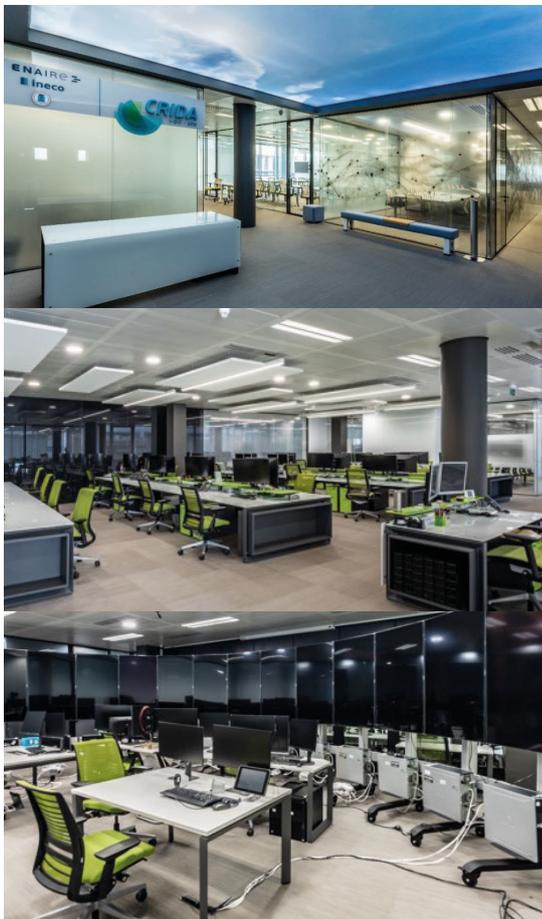
Asimismo, se ha continuado con la formación corporativa de nuestros empleados a través del Máster en Gestión de Servicios de Navegación Aérea impulsado por ENAIRE.

5 Sus instalaciones

CRIDA tiene sus instalaciones distribuidas en dos localizaciones. Su sede oficial está en el mismo complejo empresarial en el que se encuentran las **oficinas centrales de ENAIRE**. Se localiza en el parque empresarial *Kudos Innovation Campus Las Mercedes*, C/ de Campezo, 1, Edificio 7, Planta 4, 28022 Madrid.

CRIDA tiene también oficinas en la **Universidad Politécnica de Madrid**, en concreto en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE). El contacto directo con la universidad facilita la transferencia de conocimiento, sirviendo CRIDA de puente entre las nuevas ideas en el campo de la gestión del tráfico aéreo que surgen en la universidad y ENAIRE.

CRIDA dispone de varios **laboratorios de simulación** en ambas oficinas. Desde su creación, CRIDA ha empleado estas instalaciones para validar nuevas soluciones de I+D+i a través de distintas técnicas como son la simulación en tiempo real y en tiempo acelerado, la validación de procesos colaborativos entre diversos actores, o pruebas en vuelo en colaboración con ENAIRE.



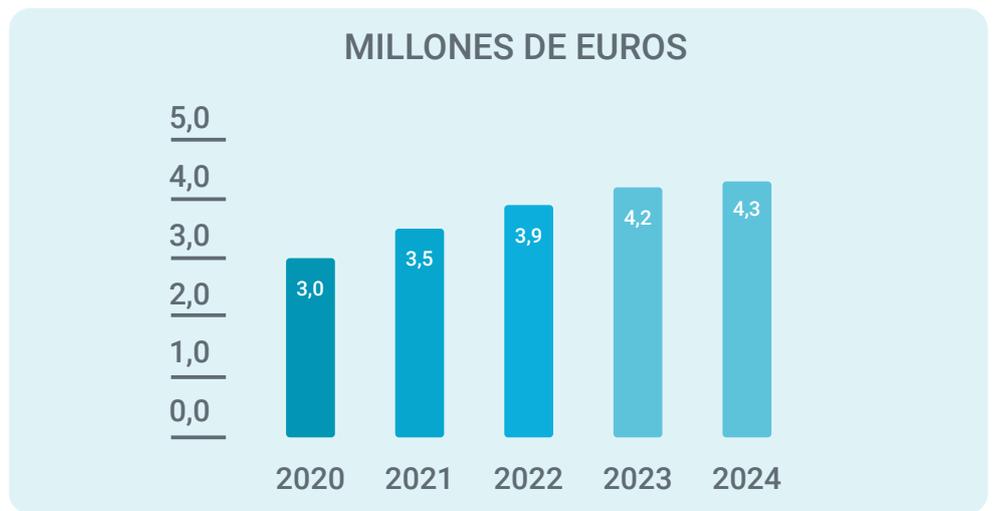
Oficinas Centrales de CRIDA en el centro empresarial Kudos



Oficinas en la Universidad Politécnica.

6 Su negocio en cifras

La siguiente gráfica presenta la evolución de la cifra de negocio de CRIDA incluyendo su previsión para los dos próximos años, donde **los ingresos de explotación ascendieron a 3,5 millones en 2021 y 3,9 en 2022**.



Evolución de Ingresos 2020-2024.

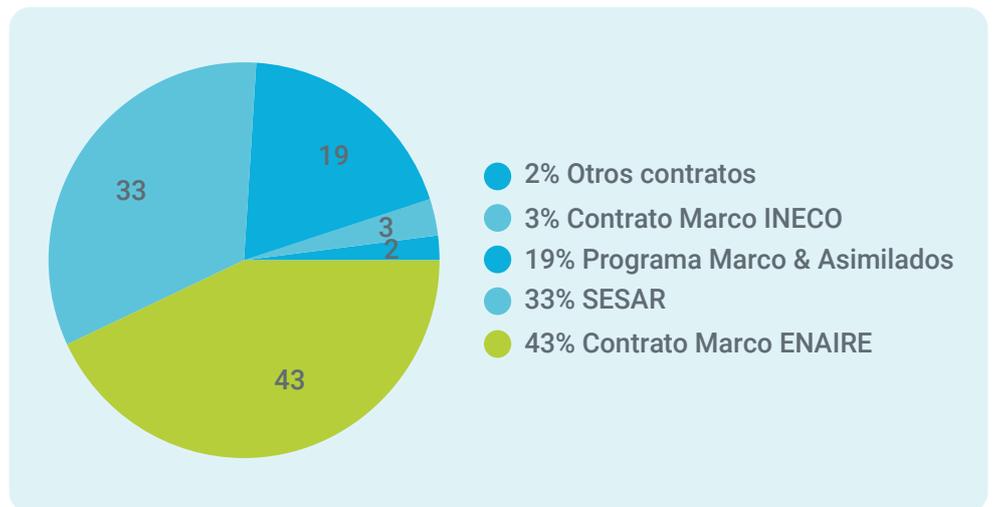
El cierre de los ejercicios de 2021 y 2022 reflejaron **resultados positivos con un resultado de gastos de 3,3 y 3,7 millones de euros** respectivamente



Resumen balance de cuentas ejercicios 2021-2022.

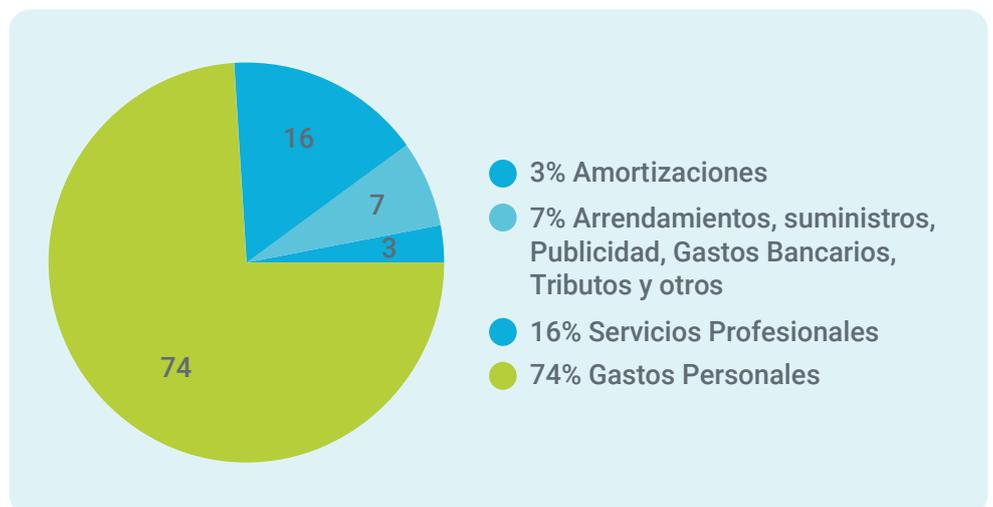
Durante los años 2021 y 2022, **más del 50% de los ingresos de CRIDA procedieron de fuentes de financiación externa**, incluyendo el marco de investigación e innovación de la Unión Europea (Horizonte 2020) y el programa de investigación de Cielo Único Europeo, SESAR.

En menor medida, CRIDA ha obtenido financiación procedente de organismos nacionales como el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI).



Fuentes de Ingresos 2021-2022.

El presupuesto de CRIDA está dedicado al I+D+i, siendo el 74%, gastos de personal de investigación, y una parte importante de la cantidad restante servicios profesionales proporcionados a través de contratos con universidades y empresas para la ejecución de actividades de investigación.



Distribución de gastos 2021-2022

7 Resumen del periodo

En los años 2021 y 2022 han estado activos más de **20 proyectos financiados por el programa de investigación SESAR 2020** en los que CRIDA ha participado, y en los que se han desarrollado y validado del orden de 35 soluciones para mejorar el sistema de gestión de tráfico aéreo. El programa, que comenzó en 2016, llegará a su fin a mediados de 2023. Por ese motivo, especialmente el año 2022 ha sido muy activo en la ejecución de validaciones a gran escala y en la consolidación de resultados. En CRIDA se han llevado a cabo ocho simulaciones en tiempo real, con participación de personal operacional de ENAIRE. Es destacable por su magnitud el **ejercicio de validación del control sin sectores** (concepto *Flight Centric ATC*) con la plataforma de gestión de tráfico aéreo iTEC, que involucró 12 controladores durante dos semanas.

Complementariamente, y para satisfacer necesidades específicas de sus socios, CRIDA ha desarrollado más de **30 actividades internas en colaboración con ENAIRE, INECO o la UPM**. Entre ellas cabe destacar la incorporación de algoritmos de *Machine Learning* para la identificación de pérdidas de separación en PERSEO, que ha sido galardonada con el **CANSO Safety Award 2021**, o el desarrollo del modelo de predicción de demanda DELFOS, que da respuesta a la necesidad de realizar prognosis de tráfico teniendo en cuenta situaciones de alta incertidumbre como la generada tras la pandemia COVID-19. Otras colaboraciones destacables han sido la contribución al desarrollo de espacio aéreo Free Route en España (proyecto HISPAFRA) y a la validación de la torre Remota.

Tras el cierre de SESAR 2020, las actividades de Cielo Único Europeo tendrán continuidad dentro del marco de un nuevo programa, SESAR 3. En el verano de 2022 CRIDA hizo un gran esfuerzo para asegurar la continuidad de sus líneas activas de investigación, participando en la **preparación de propuestas de proyectos para SESAR 3** (21 de *Industrial Research*, 16 de *Exploratory Research* y 3 *Digital Sky Demonstrations*). También presentó propuestas al programa **Horizonte Europa**, donde el proyecto INDIGO ha resultado ganador. En el ámbito nacional, se ha completado, junto con ENAIRE, la **propuesta de participación en el PERTE aeronáutico**.

Investigación Fase Preindustrial	Demostraciones	Investigación Fundamental
  	 	 
   	 	 
  	 	 

Proyectos SESAR participados por CRIDA.

Para dar soporte a la creciente actividad y asegurar la consecución de los objetivos del plan estratégico, **la infraestructura de validación ha sido ampliada significativamente** en este periodo. Se incorporan al porfolio de plataformas de validación un simulador de Torre de Control que incluye visual de torre; simuladores de mayor flexibilidad para probar soluciones de menor madurez entre las que se incluyen operaciones de drones; y un simulador de vuelo.

EVENTOS DESTACADOS 2021- 2022



ENERO 2021

JORNADAS DE DISEMINACIÓN

ABRIL 2021

3ª JORNADA CLÚSTER DE INNOVACIÓN EN ATM

OCTUBRE 2021

ADQUISICIÓN SIMULADOR DE TORRE

MAYO 2022

4ª JORNADA CLÚSTER DE INNOVACIÓN EN ATM

JUNIO 2022

CANSO SAFETY AWARD
WORLD ATM CONGRESS



SEPTIEMBRE 2022

CANSO SAFETY AWARD
WORLD ATM CONGRESS



OCTUBRE 2022

VALIDACIONES FLIGHT CENTRIC ATC

OCTUBRE 2022

PRESENTACIÓN PROPUESTAS SESAR 3

NOVIEMBRE 2022

INSTALACIÓN SIMULADOR DE VUELO



Durante los años 2021 y 2022, CRIDA ha publicado **más de 50 becas**, incluyendo becas curriculares y no curriculares. Una empleada de CRIDA, Chen Xia, obtuvo en 2021 el premio **SESAR Young Scientist Award 2021** por su trabajo fin de grado.

El periodo también ha sido muy activo en lo referente a la innovación abierta, donde cabe destacar la celebración de la tercera y cuarta **jornadas del clúster de universidades**. En ellas se presentaron las becas e iniciativas de innovación abierta y se revisó el contenido.

de nuevas convocatorias de becas. La participación en el *Think Tank* de innovación en el sector aeronáutico auspiciado por el Colegio de Ingenieros Aeronáuticos (COIAE) dio lugar a un acuerdo entre el COIAE, la UPM y CRIDA para financiar de forma conjunta un doctorado.

Otras iniciativas importantes son el lanzamiento de los primeros **concursos de ideas de Negocio y de Retos**. En este caso se seleccionó el reto de desarrollar una nueva posición de control iFOCUS para "*Minimizar el riesgo de contagio de enfermedades por vía aérea en el futuro puesto de trabajo del controlador aéreo*". Previamente, se realizaron talleres con el comité de innovación de ENAIRE para la identificación de retos.

En el ámbito de la diseminación, se ha participado en foros de análisis y definición de futuras actividades de I+D+i tales como ACARE (*Advisory Council for Aviation Research and Innovation*), Eurocontrol Long-Term Innovation Research, ASDA (*Association for the Scientific Development of ATM in Europe*), y EUROCAE WG81 (*European Organisation for Civil Aviation Equipment Working Group*), y se ha participado también en el Comité del Programa ATM Seminar. Han de destacarse la activa participación de CRIDA en el **World ATM Congress (Madrid)**, con organización de mesas redondas y presentación de resultados de proyectos, una ponencia en los **Aeronautics, Space and Defence (AED) Career Days** y otra en la **Conferencia Anual de SESAR 3 JU**. Durante el periodo 2021-2022, se han publicado más de 10 artículos en foros de divulgación tales como el *ATM Seminar*, *SESAR Innovation Days*, *European Aeronautics Science Network* y el congreso *Air Transport Research Society*.

En enero de 2021 se presentaron los resultados de los proyectos realizados en el año 2020 a ENAIRE, INECO y la UPM en la **segunda edición de las jornadas divulgativas de CRIDA**. En la próxima edición de este evento, en 2023, se presentarán los resultados correspondientes a 2021 y 2022.

8 Avances técnicos

Las actividades de CRIDA se agrupan en Áreas Técnicas que contribuyen a la consecución de los objetivos del Plan Estratégico de CRIDA y que evolucionan para adaptar la organización de la empresa a las necesidades de sus socios.

El Plan Estratégico se actualizó en el año 2020 para alinearlo con las prioridades del Plan de Vuelo 2025, hoja de ruta de ENAIRE que identifica seis objetivos estratégicos y elabora 11 planes para el periodo 2021-2025. La mayor parte de las diez Áreas Técnicas de CRIDA contribuyen a los objetivos relativos a reforzar la seguridad operacional, mejorar la calidad, escalabilidad y resiliencia de los servicios, mejorar la movilidad sostenible, aumentar la eficiencia y competitividad, y acelerar la transformación y modernización de ENAIRE. Adicionalmente, las Áreas Técnicas contribuyen al desarrollo de los Planes de Seguridad, Cielo Digital, Sostenibilidad Ambiental, Clientes y grupos de interés, Servicios Estratégicos, Drones y nuevos usuarios e Innovación.

El aporte más evidente de CRIDA responde al hecho de que no se puede mejorar lo que no se puede medir y entender, siendo el impacto en factores humanos uno de los aspectos fundamentales a medir al desarrollar nuevas soluciones. Es por ello que CRIDA define tres Áreas Técnicas transversales que desarrollan métodos y herramientas para medir el sistema real, y para analizar nuevas soluciones: [Medición de prestaciones y calidad del servicio](#), [Análisis de Factores Humanos e Infraestructura de validación](#).

Otra área con carácter transversal es la de [previsión de trayectorias y demanda](#), que introduce mejoras en las previsiones de tráfico como elemento necesario para mejorar la seguridad operacional, la calidad del servicio o la eficiencia en costes.



Por otro lado, CRIDA desarrolla soluciones dentro de varias áreas técnicas para impulsar la modernización del espacio aéreo, contribuyendo con ello a mejorar la seguridad operacional, sostenibilidad ambiental y la calidad del servicio proporcionado por ENAIRE. Entre ellas se incluyen el área de **gestión de la demanda y la capacidad** al dimensionamiento óptimo del sistema ATM, y el área de **gestión de recursos de control**, que contribuye además a mejorar la escalabilidad, resiliencia y capacidad de la red. Adicionalmente, las soluciones para hacer frente a los desafíos derivados de una ineficiente previsión y gestión de la **meteorología** se tratan en un área específica.

Dos áreas singulares son la de **Aeropuertos** y la de **Drones**. La primera contribuye a la mejora de la percepción y confianza de los aeropuertos como clientes de ENAIRE e impulsa el desarrollo de nuevos servicios globales y deslocalizados. La segunda se creó para promover el desarrollo de los drones y de la Movilidad Aérea Urbana.

Todas estas áreas se ven soportadas por el área de **Inteligencia Artificial**, que da respuesta a la necesidad de digitalización identificada en diversos objetivos del Plan de Vuelo 2025 y más directamente apuntada en el Plan de Innovación, que persigue “la implantación significativa de Big Data e Inteligencia Artificial en el Sistema de Navegación Aérea a través de CRIDA como motor de la innovación en ENAIRE”.

A continuación, se resume el avance en cada área técnica en los años 2021 y 2022, frente a los objetivos previstos en cada una de ellas. Se indican además los proyectos de I+D+i con financiación externa que soportan parte de los trabajos realizados.

8.1. Medición de prestaciones y calidad del servicio

Líneas de actuación

Esta área técnica está presente en el Plan Estratégico de CRIDA, tanto en su versión actual como en las anteriores. Esto se debe a que soporta directamente la misión de CRIDA de “analizar cuantitativa y sistemáticamente las prestaciones del sistema, diagnosticar los problemas e identificar sus causas”.

Las líneas de actuación en el área son:

1. **Análisis causal y predicción de prestaciones del sistema actual** para una gestión en la provisión de servicios de tráfico aéreo basada en prestaciones.
2. **Predicción de beneficios de nuevas soluciones** ATM en el momento de su implantación, y desarrollo de nuevas metodologías para predecir prestaciones.
3. Evaluación de **interdependencias** entre indicadores de prestaciones.
4. Evolución en el análisis de **factores humanos** y su impacto en seguridad.

Avances técnicos

La medición de prestaciones en CRIDA parte de un punto de madurez muy alto, tanto a nivel interno con el desarrollo iterativo de la plataforma PERSEO como a nivel europeo, donde CRIDA lidera las actividades transversales de gestión de prestaciones del programa SESAR desde su inicio en 2008 hasta la actualidad.

Actividades en colaboración con terceros

Durante los años 2021 y 2022 CRIDA ha liderado el proyecto PJ19.04 de SESAR. Este proyecto gestiona la medición de prestaciones de todo el programa y es una continuación de iteraciones anteriores del programa.

De igual manera, CRIDA ha liderado los proyectos de investigación fundamental FARO y NOSTROMO de SESAR, y participado en el proyecto SIMBAD, todos ellos vinculados directamente a esta área y que continúan líneas de investigación iniciadas en años precedentes.



CRIDA ha estudiado nuevos métodos para la predicción de prestaciones

En la línea de **predicción de beneficios** se ha definido el marco de prestaciones para poder evaluar el beneficio de una solución dentro del programa SESAR de manera homogénea, en una actividad dirigida por PJ19.04. Esto ha incluido la definición de un nuevo marco de medición de prestaciones aplicables al sistema de gestión de tráfico de drones, U-space, así como una nueva serie de indicadores para cuantificar la Digitalización del sistema ATM. Por otro lado, se ha participado en la definición de la hoja de ruta que conecta las actividades de investigación de SESAR con los escenarios de despliegue y el nivel de prestaciones a través del proyecto PJ20 "ATM Master Plan" de SESAR.

De manera complementaria, en los proyectos de investigación fundamental antes mencionados, CRIDA ha estudiado nuevos métodos para la predicción de prestaciones. En particular, se ha participado en el **desarrollo de metamodelos** para anticipar de manera ágil las prestaciones esperadas de nuevas soluciones a través de simuladores de tiempo acelerado.

Como parte de la línea de **evaluación de interdependencias** entre indicadores de prestaciones, se han identificado las interdependencias esperadas entre las soluciones del programa SESAR a través del proyecto PJ19.04. En el resto de los proyectos mencionados se han desarrollado metodologías para la estimación de estas interdependencias a través de simuladores de tiempo acelerado.

Los avances en la línea del análisis de **factores humanos** y su impacto en seguridad también se han nutrido de las actividades de SESAR, donde CRIDA ha coliderado junto con EUROCONTROL el área de Factores Humanos, evolucionando las metodologías con especial énfasis en la relación con la seguridad. El proyecto FARO ha adoptado un enfoque metodológico innovador para desarrollar modelos predictivos de seguridad al mismo tiempo que incorpora los avances más recientes en la investigación sobre resiliencia y factores humanos.

Actividades internas para ENAIRE

Las actividades internas se han centrado en la evolución de la plataforma PERSEO y alimentan a la **línea de actuación de análisis causal y predicción de prestaciones del sistema actual**. Incluyen el soporte a su industrialización a nivel de definición de arquitectura y especificaciones de la herramienta EYWA, en colaboración con ENAIRE.

Las nuevas características desarrolladas en PERSEO han incluido, además de la evolución continua de las funcionalidades existentes, mejoras tales como la monitorización automática de aterrizajes frustrados, la medición de eficiencia medioambiental vertical en ruta, la incorporación de algoritmos de Machine Learning para la identificación de pérdidas de separación (galardonada con el *CANSO Safety Award 2021* en colaboración con ENAIRE), o la integración de la información meteorológica en algunas vistas de PERSEO.



De igual forma, se ha mantenido y mejorado la base de datos de PERSEO, incorporando nuevas fuentes de información (Meteo) y evolucionando los procesos de análisis de la calidad del dato para facilitar su explotación. Este sistema, que contiene más de 15 años de información operacional, es el pilar central tanto para la medición automática de prestaciones como para todo lo relacionado con modelos predictivos, inteligencia artificial y *Machine Learning*.

Siguientes pasos

Los retos pendientes asociados a cada línea son:

En el **análisis causal y predicción de prestaciones del sistema** se identifican cuatro actividades:

- Evolución y mejora de funcionalidades PERSEO, incluyendo la exploración de modelos predictivos.
- Vigilancia e incorporación de nuevas fuentes de datos, con especial interés en las de tiempo real.
- Análisis y estudios específicos de aspectos del sistema ATM.
- Soporte a la industrialización de PERSEO en EYWA.

Como parte de la línea de **predicción de beneficios aportados por una solución**, se pretende continuar con el liderazgo de las prestaciones en el programa SESAR 3 así como influir en la definición de objetivos de prestaciones para los indicadores definidos para U-space y asociados al nivel de Digitalización del sistema.

8.2. Previsión de tráfico y trayectorias

Líneas de actuación

Esta área técnica persigue la mejora de la previsión de la demanda de tráfico y de la predicción táctica de las trayectorias. Las mejoras en la predicción de trayectorias permiten entender las situaciones de tráfico que requieren acciones de control, mientras que una adecuada previsión de la demanda permite mejorar el dimensionamiento del sistema ATM y sus recursos.

Las actividades que se desarrollan en esta área contribuyen a la consecución de dos objetivos del plan estratégico de CRIDA. Por un lado, la predicción precisa de la demanda y de las trayectorias es vital para la construcción de un modelo causal y predictivo de la operación y de la seguridad operacional de ENAIRE, contribuyendo al objetivo de **gestión basada en la evaluación y predicción de las prestaciones**. Por otro lado, el aprendizaje automático es una tecnología que permite mejorar las predicciones que alimentan funciones de automatización de distintos procesos ATM, contribuyendo al objetivo de **facilitar la adopción de tecnologías de AI/ML en niveles más altos de automatización**.

De acuerdo con estos objetivos estratégicos, CRIDA identifica tres líneas de actuación:

1. **Predicción táctica de trayectorias** con horizontes temporales de hasta 30 minutos, mediante el desarrollo de una infraestructura de predictores de trayectoria basada en servicios que explotan aprendizaje automático.
2. **Predicción de la demanda pre-táctica** con caracterización de su precisión y volatilidad para mejorar la toma de decisiones asociadas a la gestión de la capacidad y demanda.
3. Provisión de **predicciones estratégicas** de la demanda tanto a corto plazo (hasta un año vista), incluyendo su distribución horaria y espacial, como a medio/largo plazo (a partir de un año vista), incluyendo su distribución espacial y granularidad mensual.

Avances técnicos

Durante los años 2021 y 2022 los avances técnicos en el área de previsión de tráfico se han centrado en la previsión estratégica dentro del contexto de alta incertidumbre provocado por la pandemia de COVID-19, en concreto a través del proyecto DELFOS desarrollado como actividad interna para ENAIRE. Además, CRIDA ha participado en proyectos financiados mediante el programa SESAR, donde se ha investigado en la predicción de la trayectoria y la demanda pre-táctica.

Actividades en colaboración con terceros

El enfoque de CRIDA en **la predicción de trayectorias** se centra en explotar los datos históricos relativos a la intención de la aeronave y la intención de control. De este modo, las predicciones reflejarán con mayor precisión el comportamiento real de las aeronaves en el espacio aéreo, facilitando con ello la gestión del tráfico aéreo basada en trayectorias.

Se han logrado avances importantes en la evolución de los predictores de trayectorias, incluyendo predictores multi-horizonte adaptados a los flujos del sector. En particular, se han desarrollado modelos que evalúan el error de la predicción y su impacto en la eficacia de la detección de conflictos. Así, dentro del proyecto SESAR PJ18-W2 4D Skyways, ENAIRE y CRIDA han trabajado en la automatización de las herramientas de detección y resolución de conflictos con horizontes temporales de entre 15 y 20 minutos.



La estrategia de desarrollo de los predictores de trayectoria multihorizonte en CRIDA supone un cambio de paradigma en la gestión de tráfico aéreo, situando la predicción de las trayectorias, como principal elemento de soporte en la toma de decisiones de los procesos.

En el mismo proyecto se han llevado a cabo análisis iniciales sobre el impacto potencial de proporcionar información procedente del sistema de gestión del vuelo de la aeronave para mejorar la predicción del perfil vertical del vuelo. Se concluyó que la información de a bordo utilizada, denominada *Extended Projected Profile (EPP)*, tiene el potencial de mejorar significativamente las predicciones de trayectorias.

En cuanto a la **demanda pre-táctica**, CRIDA ha desarrollado DEMANDIA, una herramienta cuyo propósito es evaluar la precisión del tiempo de llegada de la demanda a un sector basada en el estado de toda la red de sectores. La primera versión de la herramienta ha

facilitado el desarrollo de estudios de caracterización del origen de la volatilidad en la demanda pre-táctica. La herramienta incluye una estructura que sintetiza gran cantidad de datos históricos de vuelos y los relaciona con cada sector teniendo en cuenta el efecto red. Con ello se identifican situaciones que introdujeron volatilidad en el sistema, como meteorología adversa o congestiones en países adyacentes.

DEMANDIA, que se encuentra en un estado inicial de investigación, ha sido desarrollado y validado en el marco del proyecto PJ09-W2 *Digital Network Management Services* cofinanciado por SESAR.

Actividades internas para ENAIRE

La pandemia COVID-19 modificó profundamente los patrones de demanda del tráfico aéreo e hizo que los métodos estacionarios usados dejaran de ser útiles, lo que llevó a CRIDA y ENAIRE a definir la metodología DELFOS (*criDa aEriaL FOrecaSt*). La metodología permite desarrollar **predicciones estratégicas** de la demanda teniendo en cuenta diversas características del vuelo tales como las combinaciones de origen/destino o las aerolíneas. DELFOS se basa en la monitorización continua de errores, actualizando su predicción de forma semanal y es robusta ante escenarios no-nominales, empleando el impacto de la evolución de variables socioeconómicas.

Las previsiones a corto plazo, que se realizan hasta con un año de antelación y a nivel de cada vuelo, especifican el paso por unidades.



ATC y la distribución horaria de salidas y llegadas a los aeropuertos. Para el medio y largo plazo DELFOS proporciona previsión de demanda de hasta 5 años vista con una granularidad de volumen de tráfico diario.

Para mitigar la falta de precisión de las técnicas clásicas (por ejemplo, para la estimación de sobrevuelos) se ha iniciado la integración de algoritmos de *Machine Learning*.

La metodología completa se ha traducido en un prototipo funcional que se ha entregado a ENAIRE para su explotación.

En relación a la **predicción táctica de trayectorias**, en el año 2022 se colaboró con ENAIRE en el proyecto HISPAFRA, cuyo objetivo es implantar espacio aéreo sin rutas predefinidas en España (espacio aéreo *free-route*). CRIDA analizó el impacto en la complejidad del espacio aéreo de los nuevos directos basados en las metodologías desarrolladas en el proyecto PJ18-W2 mencionado anteriormente. Los predictores de trayectorias basados en aprendizaje automático se entrenaron para simular las nuevas trayectorias que surgen por la nueva estructura de rutas. De este modo, fue posible identificar y analizar el impacto de estas nuevas trayectorias en la complejidad.

Siguientes pasos

CRIDA ambiciona desarrollar una infraestructura basada en servicios que integren los **predictores de trayectorias** desarrollados en este periodo y que sirva para la detección de conflictos potenciales antes de la operación, lo que podría explotarse en el área de seguridad.

Adicionalmente, se prevé investigar cómo la mejora de la precisión de los predictores de trayectoria se puede emplear para proporcionar herramientas de soporte para la detección de conflictos por parte del controlador planificador, con el objetivo de extender el horizonte temporal para la resolución de conflictos hasta los 30 minutos.

En cuanto a la continuación del desarrollo de las **predicciones pre-tácticas**, CRIDA prevé profundizar en el entendimiento de los mecanismos de volatilidad y su impacto en la efectividad de las decisiones en el entorno pre-táctico, principalmente en los procesos de gestión de la demanda y la capacidad – *Air Traffic Flow and Capacity Management* (ATFCM).

Finalmente, en el marco de las predicciones estratégicas, las mejoras para las predicciones de DELFOS previstas se centrarán en:

- Implementación de técnicas de *Machine Learning*.
- Extensión de las previsiones a un periodo de tiempo más largo.
- Mejora de la granularidad, incluyendo la provisión de un plan de vuelo completo por cada vuelo de la demanda prevista.
- Predicción de las tasas de navegación aérea.
- Predicción de indicadores de prestaciones del sistema ATM basados en la demanda estratégica prevista.

8.3. Gestión de la demanda y la capacidad

Líneas de actuación

En su plan estratégico, CRIDA identifica la necesidad de validar soluciones que puedan dar respuesta al problema de crisis de capacidad y variabilidad de la demanda. Para ello es necesario el desarrollo de **medios y técnicas de validación eficientes** que permitan evaluar las soluciones propuestas en el área de la gestión de la demanda y capacidad del espacio aéreo. Además, CRIDA considera que **la adopción de tecnologías de Inteligencia Artificial y/o aprendizaje automático** en los sistemas de gestión del espacio aéreo y de la afluencia es esencial para mejorar el uso y provisión de capacidad. De manera complementaria, CRIDA contribuye a **acelerar el ciclo de vida de I+D y despliegue de soluciones** con propuestas de mejora en la evaluación de la capacidad que se basan en sus resultados de investigación.

De acuerdo con los anteriores objetivos estratégicos, CRIDA identifica tres líneas principales de actuación:

- 1. Propuesta de mejoras para el incremento de la capacidad de espacio aéreo y optimización de la gestión del control de afluencia.** Mejorando la toma de decisiones en la selección óptima de la configuración del espacio aéreo, así como en la identificación de las medidas de demanda más eficientes, evitando demoras y afecciones a los usuarios del espacio aéreo.
- 2. Incorporación de la Automatización e Inteligencia Artificial en los sistemas.** Trabajando en la investigación de técnicas para alcanzar mayores niveles de automatización en la gestión de espacio aéreo, lo que permite una gestión más eficiente y una optimización de las medidas de gestión de demanda y capacidad.
- 3. Validación de Soluciones de gestión de demanda y capacidad.** Mediante el desarrollo de prototipos de los sistemas para la validación de soluciones y herramientas. El uso de estos prototipos acorta de forma significativa los tiempos de desarrollo y permite la adaptación de los servicios y funciones a las necesidades operativas.

Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

CRIDA desde sus orígenes ha trabajado en la mejora de la capacidad y la optimización de la gestión de la demanda y los avances técnicos en el área durante los años 2021 y 2022 son en su mayoría continuación de investigaciones de largo recorrido.

Relacionado con el **incremento de la capacidad de espacio aéreo**, se ha trabajado sobre el concepto de configuración dinámica (DAC, *Dynamic Airspace Configuration* en sus siglas en inglés) que permite un diseño y configuración de espacio aéreo con mayor capacidad de adaptación a los flujos de tráfico aéreo y proporcionando más resiliencia a la cambiante demanda.

CRIDA ha liderado el desarrollo de este concepto en el programa SESAR (Proyecto PJ.09-W2), continuación de proyectos previos que trabajan en el mismo concepto, esta vez con el objetivo de llevarlo al nivel de madurez necesario para ser transferido a la fase de industrialización.

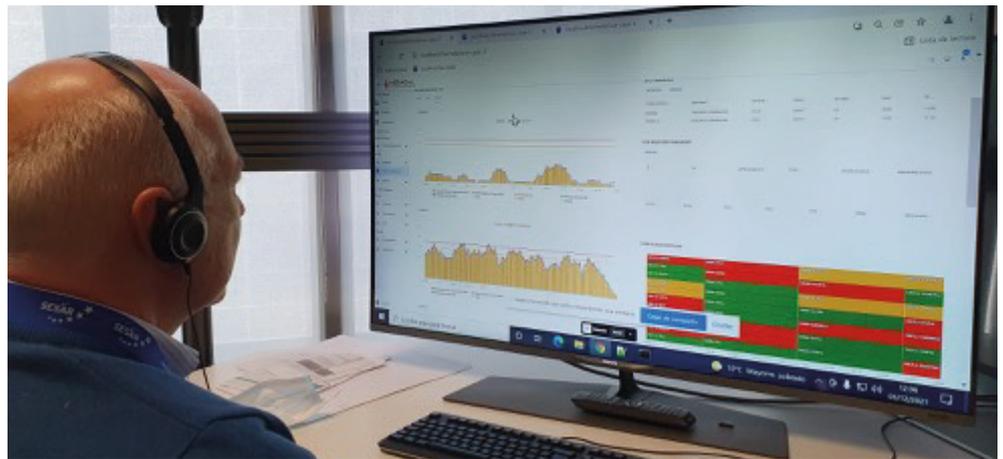
El estudio del concepto DAC ha motivado la creación de herramientas de apoyo para la posición de gestión de afluencia (FMP). En concreto, CRIDA ha desarrollado el optimizador de configuraciones SECTORIA, que permite optimizar el uso de la capacidad disponible y contribuye al uso eficiente de los recursos humanos.



Captura de la herramienta de optimización SECTORIA.

En cuanto a la **optimización de la gestión de afluencia**, CRIDA ha trabajado dentro del mismo proyecto SESAR en la integración de forma fluida de los procesos que tienen lugar entre 6 horas y 15 minutos antes de la operación. Este concepto (*Integrated Network Management and ATC Planning, INAP*) permite identificar las actuaciones que serán más efectivas con un menor impacto en las operaciones de las líneas aéreas.

Para explotar el concepto INAP, se han desarrollado servicios para la identificación de situaciones en los que hay un desequilibrio de demanda y capacidad. Además, se han desarrollado herramientas para diseñar e implementar medidas STAM (*Short Term ATFCM Measures*), concretamente re-enrutamientos, limitaciones de nivel de vuelo, u horas de paso por un punto obligatorias. Dichas herramientas se han integrado dentro de un prototipo de sistemas llamado HEIMDAL, que CRIDA ha usado para probar funcionalidades de apoyo al FMP.



Plataforma HEIMDAL usada para validar nuevas funcionalidades a incorporar en la posición del FMP.

Con el fin de facilitar una detección más precisa de las situaciones de desequilibrio entre demanda y capacidad, CRIDA ha trabajado durante este periodo con personal operacional de ENAIRE para utilizar el Modelo Cognitivo basado en Complejidad del Tráfico (eCOMMET). Dicho modelo, que se desarrolló en los años anteriores dentro del área técnica de factores humanos, es una herramienta que se basa en las estrategias cognitivas para manejar la complejidad del tráfico y que se utiliza para predecir las situaciones de alta complejidad.

eCOMMET tiene en cuenta el impacto de los factores humanos en la generación de la capacidad y en la modulación de la demanda. En el periodo de referencia, eCOMMET se ha empaquetado como un servicio, mejorando los tiempos de respuesta y los requisitos de información.

En lo referente a la **incorporación de la Automatización e Inteligencia Artificial en los sistemas**, se han desarrollado servicios de adquisición y fusión de datos, orientados a la integración de la información. Mediante estos servicios, la plataforma HEIMDAL puede conectarse e integrar la información del gestor de red, del aeropuerto (a través de SCENA) y de la base de datos interna de CRIDA. Estos servicios se han usado en los proyectos de SESAR (PJ.09 centrado en la parte de monitorización en ruta, y PJ04, centrado en la parte de monitorización en aeropuertos). La disponibilidad de información integrada ha permitido el desarrollo de un servicio de predicción de la demanda basado en el aprendizaje realizado sobre datos históricos y de tiempo real.

Además, durante estos dos últimos años CRIDA ha trabajado en la preparación de los modelos de datos y la recopilación de la información, con el fin de preparar el desarrollo e implementación de sistemas automatizados que permitan identificar problemas y soluciones de forma continua.

En la línea de validación de soluciones de gestión de demanda y capacidad y también dentro del marco de SESAR, se ha llevado a cabo una validación en tiempo real y de alta fidelidad con la participación de controladores aéreos de ENAIRE. Dicha validación incluyó el uso de los prototipos SECTORIA, HEIMDAL y eCOMMET.



Imagen de la validación del concepto de sectorización dinámica realizada en 2022.

Actividades internas para ENAIRE

CRIDA ha fomentado acelerar el ciclo de vida de I+D de las soluciones para el **incremento de la capacidad y la optimización de la gestión de afluencia** a través de la colaboración con ENAIRE en la integración de resultados en sus sistemas y operaciones.

Entre ellas, CRIDA ha trabajado en el refinamiento de su optimizador de configuraciones SECTORIA y herramienta eCOMMET para su potencial incorporación a la herramienta operacional de ENAIRE (IMPACT).

Por otro lado, también en colaboración con ENAIRE, CRIDA ha trabajado en la elaboración de un estudio sobre el impacto cruzado de regulaciones (proyecto LANCELOT). En este estudio se analizaba la influencia que las acciones de FMPs colaterales tienen sobre el propio espacio aéreo. Se estudiaba también cuándo era mejor implementar una regulación y qué tipo de regulación era mejor implementar teniendo en consideración la demanda y las acciones de los FMPs adyacentes.

Otro estudio llevado a cabo es el relacionado con el uso de umbrales de ocupación en lugar de umbrales de entradas a la hora de monitorizar la demanda e implementar medidas como las regulaciones. CRIDA ha elaborado una metodología de cálculo estadístico de estos umbrales de ocupación y del análisis de las mejoras que su aplicación conllevaría (aproximadamente un 39% de reducción de la demora esperada en ENAIRE). Este nuevo procedimiento se ha puesto ya en práctica en algunos sectores de Barcelona Ruta el verano pasado de 2022.

Siguientes pasos

En cuanto a los siguientes pasos dentro del área técnica, será necesario continuar con la actividad de las tres líneas de actuación, con especial atención en el incremento de la automatización y en la mejora del algoritmo de capacidad y demanda.

El incremento de la **automatización** se prevé mejorando las herramientas de soporte del diseñador de espacio aéreo, FMP y controladores de tráfico aéreo, permitiendo una reducción de su carga de trabajo sin **perjuicio de la consciencia situacional**.

La mejora y validación del algoritmo de capacidad y demanda se buscará con funciones de soporte para el análisis y búsqueda de soluciones a desequilibrios. Hasta ahora las principales identificadas son:

1. El desarrollo de un algoritmo que proporcione el umbral de capacidad para los nuevos sectores operacionales en un entorno de sectorización dinámica.
2. La mejora de las funcionalidades *what-if* e incorporación de las *what-else*, incluyendo factores importantes en la toma de decisiones tales como el efecto de la transición entre configuraciones; la selección de vuelos afectados por las medidas de demanda, la meteorología y el impacto medioambiental.

8.4. Meteorología

Líneas de actuación

Un aspecto que requiere especial atención es la gestión de los efectos meteorológicos en el tráfico aéreo. Conocer de forma anticipada las ocurrencias adversas y sus efectos en el tráfico es clave para minimizar su impacto. Pero, hoy en día, no se dispone de herramientas precisas de predicción meteorológica adaptadas a usos ATM e integradas en las plataformas de gestión de tráfico existentes. También queda mucho por avanzar en el análisis del impacto en prestaciones de ciertas ocurrencias meteorológicas, aspecto crítico para la seguridad y eficiencia de las operaciones, ámbito en el que la digitalización tiene mucho que aportar.

En respuesta a esta necesidad, CRIDA define un objetivo específico en su propio plan estratégico: Incorporación de información meteorológica al análisis de prestaciones y desarrolla un área técnica dedicada a la integración de la información meteorológica con el resto de los datos del sistema, de forma que pueda incorporarse su explotación y uso a todos los niveles, desde la operación al análisis. Para cubrir este objetivo, las líneas de actuación son:

1. **Análisis del impacto de ocurrencias y condiciones meteorológicas**. en las operaciones y las prestaciones del sistema de gestión de transporte aéreo.
2. **Desarrollo de metodologías y herramientas**, bien sea de mejora de la predicción meteorológica adaptada a uso ATM; o bien de apoyo a la gestión de condiciones meteorológicas adversas.
3. **Integración de información meteorológica** en herramientas existentes de gestión y análisis de datos ATM.

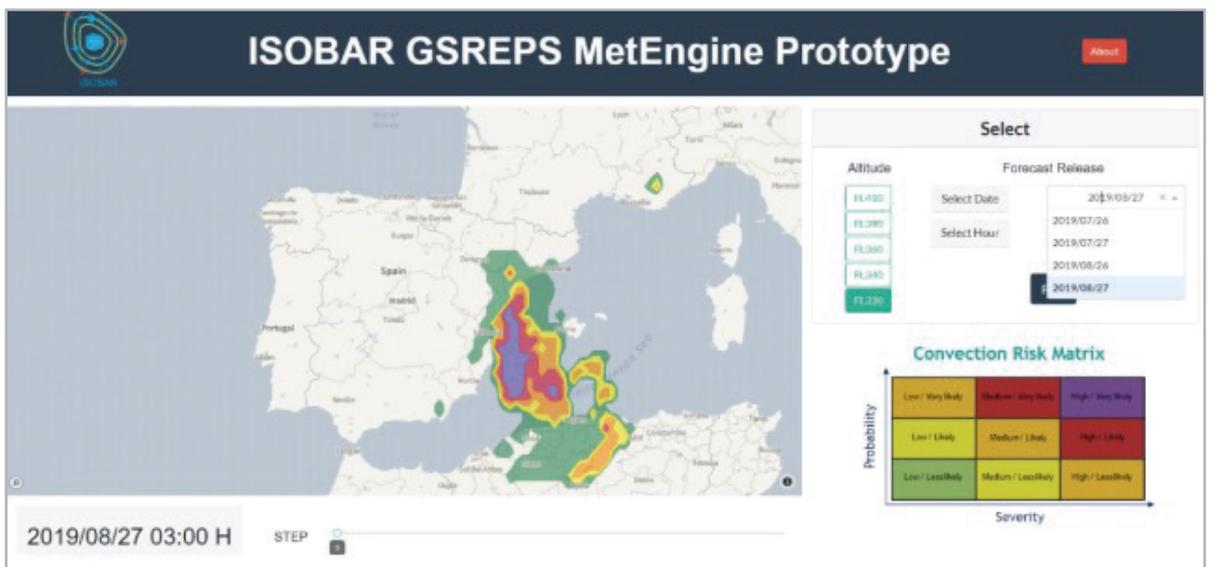
Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

En la línea de actuación de **desarrollo de metodologías y herramientas**, el mayor exponente ha sido el proyecto ISOBAR, en el que se han convertido las predicciones meteorológicas en información adaptada al uso ATM. En este caso, el proyecto se ha centrado en la *gestión de afluencia y capacidad en fase pre-táctica* (desde un día hasta 2 horas antes de la operación) frente a situaciones críticas que impactan en la capacidad del sistema, tales como fenómenos convectivos.

Se ha partido de modelos numéricos de predicción de condiciones atmosféricas, como el modelo Gamma-SREPS de AEMET, participante en el proyecto. Estos modelos se han tratado para obtener la información necesaria para mejorar el proceso de *gestión de afluencia y capacidad* (ATFCM por sus siglas en inglés) obteniendo una mejor predicción del impacto de fenómenos convectivos adversos en la capacidad de los sectores de ruta, así como la propuesta de soluciones de mitigación que minimicen la interrupción de las operaciones.

El proyecto ha incluido una evaluación operacional de las mejoras en el proceso ATFCM con la participación de controladores de ENAIRE, DSNA y EUROCONTROL como gestor de la red europea. Se ha simulado un escenario transfronterizo con tormentas que evolucionaban afectando a sectores de España y Francia.



Vista del prototipo ISOBAR que predice fenómenos convectivos adversos.

Actividades internas para ENAIRE

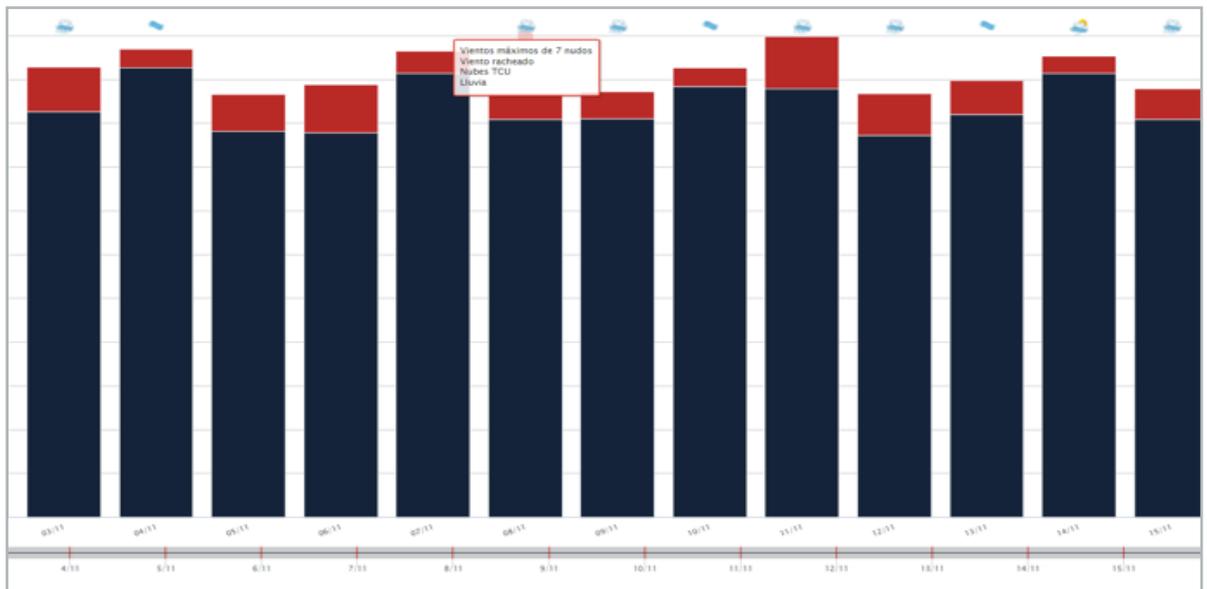
En el ámbito del **análisis de impacto de la meteorología adversa** en las prestaciones del sistema, CRIDA ha llevado a cabo un análisis estadístico de impacto de eventos meteorológicos potencialmente adversos y de incidencia local (nivel aeropuerto) en las prestaciones del sistema en llegadas a aeropuertos. Se analizó la presencia de tormentas, vientos o nieblas, y se cuantificó la relación estadística entre ellos y cambios en prestaciones.

Se seleccionaron para el estudio los cinco aeropuertos principales en cuanto a movimientos de aeronaves en España: Madrid Barajas, Barcelona El Prat, Palma de Mallorca, Málaga-Costa del Sol y Gran Canaria. Estos aeropuertos, distribuidos en distintos puntos clave de la geografía nacional, constituyeron una muestra representativa de meteorología adversa diversa.

Los resultados del estudio han servido para establecer una metodología para cuantificar la relación entre parámetros meteorológicos (i.e. vientos, visibilidad, tormentas, lluvia, nubes y temperatura extraídos de informes de aeródromo METAR) y prestaciones (Número de esperas, Tiempo de ocupación de pista y Frustradas, que son maniobras de aborto de aterrizaje).

Por último, en el ámbito de **integración de información meteorológica** en herramientas existentes, CRIDA ha incluido datos de los principales parámetros de los informes meteorológicos de aeródromo METAR en los informes de la herramienta PERSEO. En concreto, la nueva vista de históricos de prestaciones, que estará operativa en 2023, permite analizar información meteorológica de forma visual (mediante iconos meteorológicos) y textual (con detalles de valores de los diversos fenómenos) junto con datos de esperas en llegadas.

La herramienta incorporará esta vista para más de veinte aeropuertos en históricos de 2021 y 2022, y años posteriores. La presentación se completa con un mapa de fenómenos significativos (basados en informes meteorológicos SIGMET) por tipo, duración y altitud, y una tabla de viento con indicación visual de dirección, variabilidad y máxima intensidad.



Vista de PERSEO que incorpora información meteorológica (iconos) sobre la información del número de esperas (tramo rojo)

Siguientes pasos

En la línea de **análisis de impacto** centrada en 2021 y 2022 en los cinco principales aeropuertos españoles, se deberá globalizar el análisis de meteorología adversa incluyendo espacio aéreo de fase de ruta y TMA y espacios aéreos adyacentes al español. Se aumentará el tamaño de la muestra de cara a mejorar la representatividad estadística de los resultados, así como el número de prestaciones analizadas, incluyendo demoras.

Por otro lado, está previsto analizar los informes y/o predicciones meteorológicas actuales, así como los criterios que se usan en cada dependencia para la toma de decisiones con el fin de poder identificar recomendaciones operacionales derivadas de los resultados del análisis de impacto.

En la línea de **desarrollo de metodologías y herramientas**, se prevé mejorar los modelos predictivos adaptados a usos ATM con observaciones radar para afinar la precisión de las predicciones. Se desarrollarán herramientas capaces de proporcionar predicciones basadas en diversos modelos seleccionables, e información meteorológica en tiempo real. Finalmente, se prevé madurar las herramientas predictivas adaptadas al uso en ATM mediante simulaciones en plataformas ATFCM y validaciones en tiempo real.

En lo referente a la **integración de información meteorológica**, se extenderá a otras vistas de PERSEO la presentación integrada de parámetros meteorológicos junto con indicadores de prestaciones tales como demoras, y se evaluará también la incorporación de otras fuentes de información meteorológica.

8.5. Gestión de recursos de control en el día de operación

Líneas de actuación

La gestión de recursos de control de tráfico aéreo es una tarea compleja que requiere la consideración de múltiples factores, como las restricciones asociadas a los tiempos de trabajo y descanso, la correcta rotación entre sectores para el mantenimiento de las habilitaciones, la estacionalidad del tráfico en ciertos centros de control o las desviaciones respecto a la planificación. La conciliación de todos estos aspectos no siempre es posible, pudiendo llegar a impactar negativamente en coste-eficiencia (turnos sobre o infra dimensionados), capacidad (que deriva en exceso de regulaciones y demoras) o en factores humanos (sobrecarga mental, fatiga, estrés o la desconexión de la tarea).

Para mitigar el impacto negativo en prestaciones, CRIDA plantea tres líneas de actuación en el área de Gestión de Recursos de Control ligadas a sus objetivos de **análisis causal y predicción de prestaciones del sistema actual para una gestión basada en prestaciones** y de **acelerar el ciclo de vida de I+D, y su despliegue**:

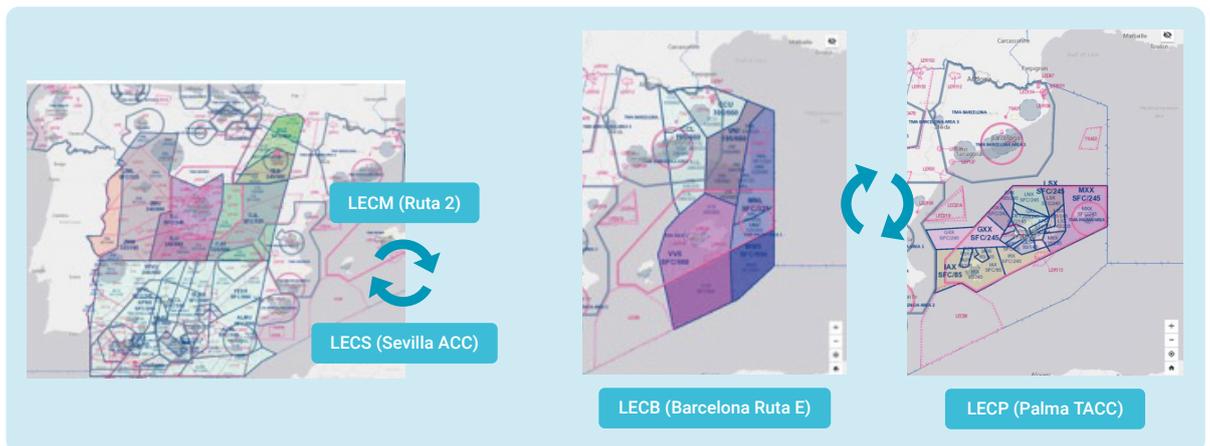
1. Análisis del impacto de futuros **conceptos de operación en la gestión de los recursos de control** para reducir las demoras asociadas a la falta de capacidad y mejorar el coste-eficiencia.
2. Definición de nuevos **procedimientos y herramientas de soporte** para mantener u obtener habilitaciones de sectores, reduciendo el tiempo de formación.
3. Desarrollo de nuevas **herramientas de soporte para la optimización y asignación de turnos de control** tanto en fase de planificación como en fase táctica.

Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

Durante los años 2021 y 2022, CRIDA ha participado en tres proyectos de SESAR en los que se han definido y validado **conceptos de operación** que ofrecen nuevas posibilidades para la organización de los turnos de control.

El proyecto PJ.10-W2 ha diseñado un nuevo concepto de operación que permitirá la transferencia de la responsabilidad de control de un volumen de espacio aéreo entre distintos núcleos del mismo Centro de Control (ACC), o, incluso, diferentes centros. La aplicación de este concepto impacta en las habilitaciones requeridas por los controladores, así como en la definición de roles y responsabilidades.



Casos de uso de la validación del concepto de delegación de espacio aéreo

Las validaciones en tiempo real realizadas en febrero 2022 contaron con 12 Técnicos de Control de Afluencia (TCAs) de ENAIRE para validar hasta 21 escenarios en la plataforma SACTA. Dichas validaciones han demostrado la viabilidad operacional del concepto para sectores de ruta en situaciones nominales de baja o media carga, aumentando la capacidad y el coste-eficiencia.

La aplicación de este concepto operacional permitiría solucionar los problemas relacionados con la estacionalidad del tráfico y las desviaciones respecto a la planificación, así como reducir los costes en los períodos nocturnos.

Dentro del proyecto PJ.10-W2 se ha validado el concepto de *Flight Centric ATC* (FCA). FCA pretende eliminar los límites de los sectores siendo un controlador responsable de gestionar un número específico de vuelos a través de un espacio aéreo de grandes dimensiones, mientras otros controladores serán responsables de otros vuelos dentro del mismo espacio aéreo. La definición del concepto operacional incluye la descripción de nuevos roles y responsabilidades asociados al mismo.

En octubre 2022 se realizaron simulaciones en tiempo real con personal operacional de ENAIRE para validar este concepto, dichas simulaciones emularon hasta 12 posiciones de control en plataforma iTEC y demostraron la viabilidad operacional del concepto en sectores altos con poca evolución y con baja densidad de tráfico, también pusieron en relieve la necesidad de una mayor automatización en las herramientas de soporte.

Las simulaciones han mostrado un impacto positivo en el coste-eficiencia y su potencial para solucionar desviaciones respecto a la planificación tanto de demanda como de personal, mediante una nueva organización de los turnos de control.

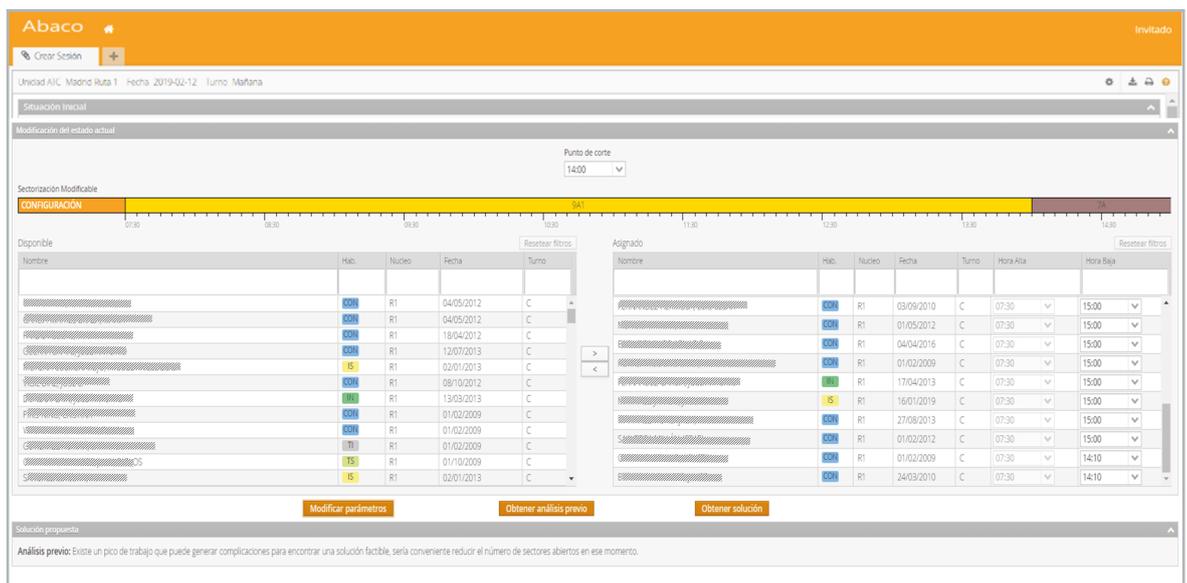


Imagen de las validaciones llevadas a cabo del concepto Flight Centric ATC.

El proyecto PJ.33-W3 propone la implantación de **habilitaciones flexibles con ayuda de herramientas de soporte** en la propia posición de control y procedimientos simplificados, permitiéndose la habilitación del control de más sectores que los recogidos en la habilitación de unidad.

Los resultados de las validaciones en tiempo real llevadas a cabo en septiembre 2022 han demostrado la viabilidad operacional del concepto de habilitaciones flexibles para sectores de baja o media carga en situaciones nominales, siempre que se realice un briefing previo al turno y se utilicen herramientas de soporte.

El concepto de habilitaciones flexibles es una solución transversal que serviría de habilitador para la implementación de los conceptos de Delegación de Espacio y FCA.



Vista del prototipo ABACO.

Actividades internas para ENAIRE

Durante 2021, CRIDA desarrolló un prototipo, denominado ABACO, basado en la aplicación de algoritmos de Inteligencia Artificial para lograr una **planificación de turnos de control** más eficiente y flexible.

Las técnicas clásicas usadas para la planificación de turnos de control, si bien resuelven el problema, lo hacen muchas veces de forma rígida y poco eficiente (uso de patrones predefinidos). Es por eso que evaluar la eficiencia de la planificación de los turnos de control resulta imprescindible para encontrar mejoras en el sistema que maximicen el aprovechamiento de los recursos de control. Con este fin se realizó un análisis de la operativa de los distintos centros de control españoles comparando los resultados de la aplicación de patrones predefinidos (situación actual) frente a los de ABACO.

El prototipo ABACO está diseñado para resolver la asignación de controladores a puestos de control sin la utilización de plantillas predefinidas y respetando las restricciones relacionadas con los tiempos de trabajo y descanso, gracias al uso de un algoritmo iterativo basado en técnicas de inteligencia artificial. Este prototipo puede funcionar tanto en fase de planificación, como en fase táctica, para adaptarse a cualquier incidencia realizando cambios a lo largo del turno. El prototipo debe evolucionar de acuerdo con los resultados del análisis.

Siguientes pasos

Partiendo de las conclusiones de los proyectos realizados en 2021 y 2022, hay retos por abordar asociados a las distintas líneas de actuación del área.

Es necesario mejorar las herramientas de soporte disponibles en la posición de control para implementar el concepto FCA, validando su usabilidad y fiabilidad.

Se debe investigar el posible despliegue del concepto de delegación de la provisión de servicio ATC entre volúmenes de espacio aéreo de diferentes centros.

El concepto de **habilitaciones flexibles** requiere profundizar en la validación de su viabilidad operacional y el desarrollo de asistentes digitales considerando la inteligencia artificial como un miembro más del equipo de control para optimizar la gestión de los recursos de control.

8.6. Factores humanos

Líneas de actuación

El principal objetivo de CRIDA dentro del área de Factores Humanos es la identificación de los límites del factor humano, en particular de los controladores de tráfico aéreo. En estas situaciones el rendimiento de la tarea de control puede quedar degradada y como consecuencia plantear riesgos para la seguridad de la operación. Situaciones de gran complejidad de tráfico, de forma sostenida o puntual en el tiempo pueden provocar situaciones de fatiga o estrés, estrechamente relacionadas con la sobrecarga mental. Situaciones de muy poca complejidad, donde la tarea se centra más en la monitorización de lo que sucede y que se relaciona con entornos futuros de alta automatización, generan desconexión de la tarea, pérdida de conciencia situacional, y en casos extremos, pánico a que la automatización falle, todo ello muy relacionado con la infra carga mental.

Por ello CRIDA plantea dos líneas de actuación en el área de Factores Humanos:

1. Investigación, desarrollo, validación e implementación de **medios y modelos para la medición de la carga mental** del controlador de tráfico aéreo. Esta línea persigue la identificación y mitigación de la fatiga, el estrés o la desconexión de la tarea.
2. **Análisis del impacto de futuros conceptos** de operación, niveles de automatización, nuevos interfaces o la entrada de nuevos operadores, en el rendimiento de la tarea del controlador para evitar las situaciones límite antes descritas.

Este objetivo está alineado con la Línea Estratégica de CRIDA *Medición sistemática de prestaciones*, en particular con su objetivo estratégico **Evolución en el análisis de factores humanos y su impacto en seguridad**.

Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

CRIDA ofrece el conocimiento experto de las metodologías definidas en el marco de SESAR y Eurocontrol para la identificación de problemas y beneficios sobre el rendimiento de las tareas del controlador. Esta metodología es aplicable a todos los posibles niveles de madurez de un nuevo concepto y permite extraer requisitos y recomendaciones para mejorar el potencial impacto en el factor humano. Las medidas típicas que se usan para este análisis son medidas subjetivas tomadas en tiempo real durante las validaciones o a través de cuestionarios tras cada ejercicio.



Se han aplicado las metodologías de SESAR en el análisis de conceptos futuros

Durante este periodo se han aplicado las metodologías de SESAR en el **análisis de conceptos futuros** desarrollados en el mismo programa.

Sectorización Dinámica. Se ha analizado cómo la variación en la morfología de los sectores adaptados dinámicamente a los flujos de tráfico y su complejidad impacta en la conciencia situacional del controlador y su productividad.

Delegación de la provisión de servicio ATC entre volúmenes de espacio aéreo de diferentes centros. Por razones ATFCM, contingencia o en situaciones de baja carga, la delegación del servicio ATC entre diferentes centros puede mitigar la aplicación de demoras, pérdidas de capacidad o aumento de costes respectivamente. Esta delegación impacta en la formación requerida por los controladores (habilitaciones), en nuevos roles y responsabilidades.

Funcionalidad automática que muestra en la posición de control la iluminación del indicativo del vuelo. El reconocimiento automático de voz y el contenido semántico del mensaje han permitido implementar en el sistema una visualización que destaca el indicador de vuelo cuando el piloto llama. Esto ha favorecido la detección más rápida de los aviones entrantes y por lo tanto una mejor conciencia situacional y mayor tiempo para la planificación de las tareas de control.

Nuevas alertas en la posición de control de aeropuerto para la detección temprana de potenciales conflictos. Aunque desde el punto de vista de la seguridad operacional el aumento de alertas avisando de posibles pérdidas de separación puede mejorar la seguridad en la operación, hay que llegar a un equilibrio entre información proporcionada e información que el controlador puede procesar sin saturar los recursos perceptivos del controlador.

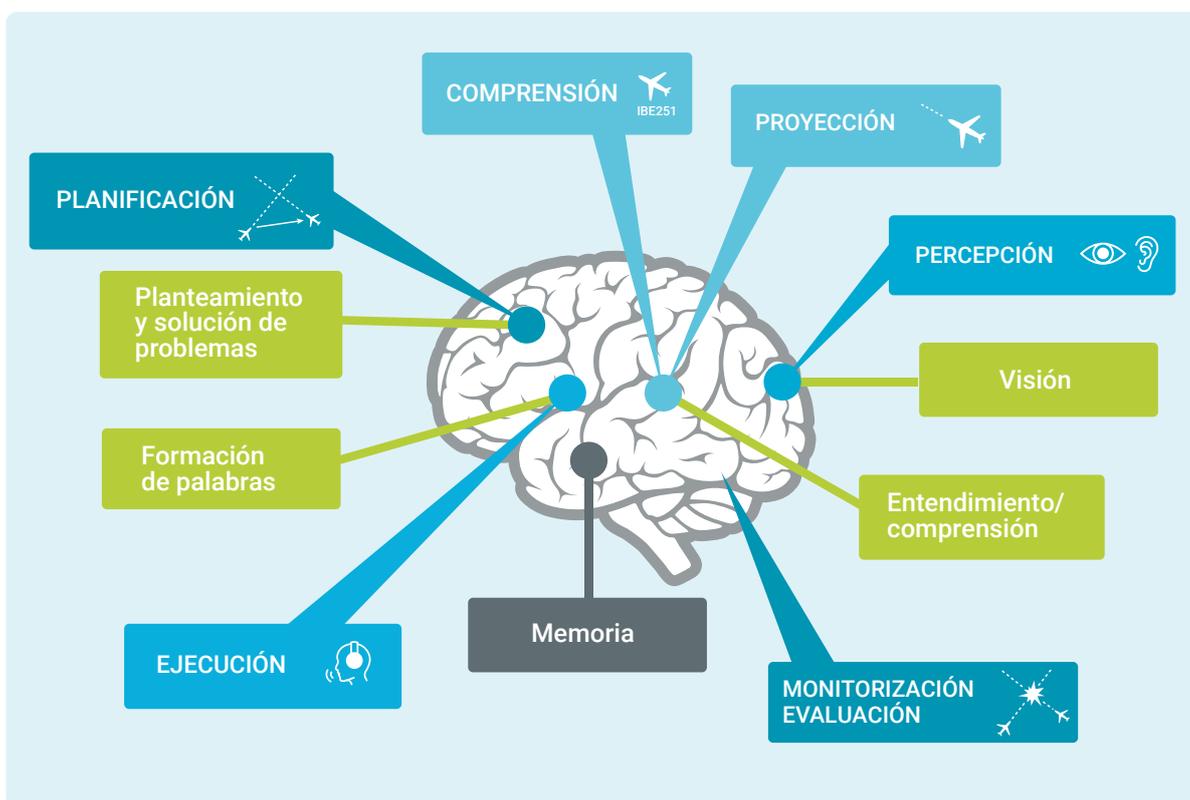
Drones y nuevos usuarios. La operación de los drones en un entorno aeroportuario implica nuevas tareas y responsabilidades para el controlador que pueden generar sobrecargas mentales, frustración o estrés especialmente en situaciones donde se debe recuperar el espacio delegado a drones para su uso por aviación ATC.

Flight Centric ATC. Este concepto implica que en un mismo espacio aéreo varios controladores gestionan en la misma frecuencia a diferentes aeronaves dependiendo del flujo de tráfico al que pertenezca y a la carga mental del controlador aéreo.

Actividades internas para ENAIRE

Modelo Cognitivo basado en las tareas del controlador en tiempo real. Este modelo es una extensión del modelo existente COMETA, pero aplicado al tiempo real y teniendo en cuenta las tareas que realmente está realizando el controlador aéreo en cada momento. El controlador aéreo es responsable de gestionar el tráfico en un entorno operacional. En base a la información recogida de SACTA (trazas radar, plan de vuelo, información SACTA, voz procesada, contenido del mensaje y sectorización) se identifican las tareas

en tiempo real que el controlador está realizando, asignando los procesos cognitivos que se están llevando a cabo, así como los recursos mentales utilizados. Durante el año 2022 se ha comenzado con el planteamiento teórico de este proyecto junto con la Universidad de Dublín.



Estructura Cognitiva basada en las tareas del controlador en tiempo real

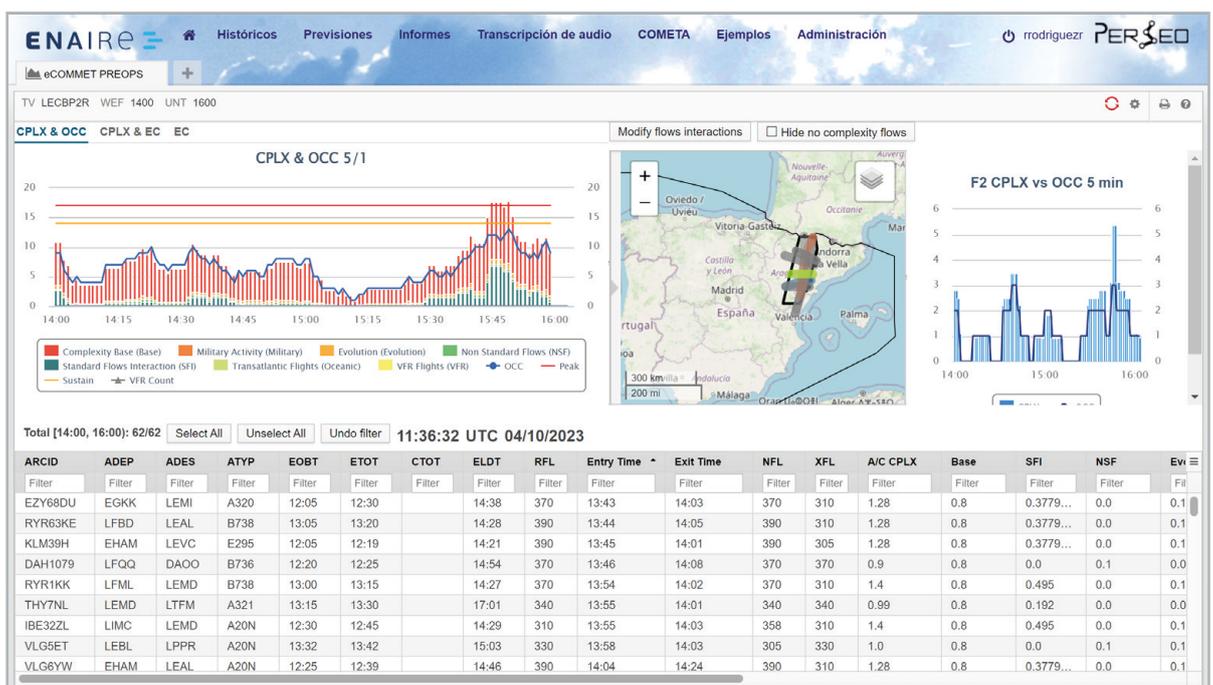
Modelo Cognitivo basado en Complejidad del Tráfico (eCOMMET). Herramienta que se basa en las estrategias cognitivas para manejar la complejidad del tráfico y que se utiliza para predecir las situaciones de alta complejidad. Los controladores aéreos modulan la complejidad objetiva del tráfico realizando abstracciones mentales que les ayudan a procesar la información relevante. Así, por ejemplo, la detección de patrones de tráfico, la identificación de aviones con las mismas presentaciones o condiciones a la salida, las áreas más comunes donde se esperan conflictos, son algunas de las abstracciones que el TCA realiza para modular la complejidad existente. Todo aquello que se salga de los patrones, serán factores que generarán complejidad. CRIDA ha estado trabajando durante estos años con personal operacional de ENAIRE para utilizar este modelo como herramienta que junto la información de la demanda esperada, los *Entry Counts* y la Ocupación mejora la detección de *hotspots*.

Investigación de modelos predictivos en base a medidas subjetivas y fisiológicas. La UPM a través del convenio de investigación existente con CRIDA ha planteado una línea de investigación muy ambiciosa de tres años de duración, en la que

alumnos de control (37 participantes) ejecutarán diferentes ejercicios con distintos niveles de complejidad e irán recogiendo medidas de carga subjetivas, de rendimiento y fisiológicas. El objetivo es asociar diferentes escenarios de tráfico con los niveles de carga mental y generar un modelo predictivo que permita identificar de antemano la carga mental que podrá experimentar el controlador ante unas condiciones de tráfico determinadas.

Investigación del uso de medidas psicofisiológicas para la monitorización de la carga mental. En este punto tenemos diferentes iniciativas en curso:

Convenio de Investigación con la UAM: Utilizando un simulador de baja fidelidad en entornos controlados, se han utilizado diversas medidas como el eye-tracking, la frecuencia cardíaca y las medidas subjetivas para identificar qué factores relacionados con el tráfico son los que generan mayor carga mental y por tanto son claves para modelizar la carga de trabajo de un controlador.



Modelo cognitivo basado en la complejidad del tráfico

Convenio de Investigación con la Universidad de Granada: Línea muy prometedora en la que se pretende utilizar la frecuencia fundamental de la voz (F0) para identificar si el controlador está fatigado. Se ha demostrado que la F0 de la voz (la frecuencia más baja del espectro de la voz humana) aumenta con la fatiga mental y el contenido de los mensajes. El controlador utiliza la voz como su medio de trabajo y sus comunicaciones quedan registradas siempre por cuestiones de seguridad. La investigación ha dado muy buenos resultados en entornos de laboratorio y se están haciendo análisis con grabaciones reales de control.

Eye-tracking para monitorizar la carga mental del controlador aéreo. Se sabe que ciertos parámetros oculares, como es el diámetro de la pupila, los parpadeos, las fijaciones o su

amplitud, se relacionan con la carga mental de un individuo. CRIDA ha adquirido nuevas gafas de eye-tracking y ha seguido profundizando en su uso y explotación. Así, CRIDA ha apoyado a ENAIRE en la detección de blancos desde la Torre Remota de Menorca.



Con Eye tracking se puede evaluar la ruta de exploración visual, la dilatación pupilar, parpadeos, fijaciones y movimientos sacádicos.

Investigación de nuevos interfaces vibro táctiles: A través de un Convenio entre la UAM, ENAIRE y CRIDA, se está llevando a cabo una investigación fundamental para el uso de señales hápticas (vibro táctiles) como alertas para las potenciales pérdidas de separación entre aeronaves. A través de una pulsera y/o chalecos georreferenciados con un sector del espacio aéreo, se puede indicar por qué zona del espacio aéreo se presenta un conflicto mediante la vibración del cuadrante del chaleco que referencia esa parte del sector. Estas señales podrían mitigar la saturación de información del controlador a través de la visión y la audición utilizando como alternativa el sentido del tacto.

Siguientes pasos

En esta área se continúa con los proyectos internos para ENAIRE ya descritos, así como el apoyo a las validaciones de futuros conceptos. Además, dos nuevos proyectos tienen previsto lanzarse en el año 2023 como internos para ENAIRE:

Proyecto PLATEA (PLATaforma de Análisis de actividad ATC). El objetivo de este proyecto es desarrollar una plataforma web donde se integren diferentes fuentes de información que permitan al investigador la recolección necesaria de información para el análisis de la situación operacional ATC en el momento de la sobrecarga tanto en el correspondiente horizonte ATFM.

Índice de Fatiga. El principal objetivo del proyecto es desarrollar un indicador objetivo para la monitorización y predicción de la presencia de fatiga. El reto de este proyecto es, considerando las fuentes disponibles, identificar qué factores pueden ser precursores de la aparición de fatiga, así como la probabilidad de que dada la presencia de estos factores un controlador experimente fatiga en un momento determinado.

8.7. Aeropuertos

Líneas de actuación

Los aeropuertos, como parte del sistema de navegación aérea, impactan en sus prestaciones y operaciones. Por ello, en la búsqueda de la mejora del rendimiento del sistema ATM, han de tenerse en cuenta los aeropuertos con el fin de evitar que se conviertan en cuellos de botella del sistema. Por otro lado, ellos son uno de los principales clientes de los servicios de ENAIRE y es importante asegurar un nivel de servicio.

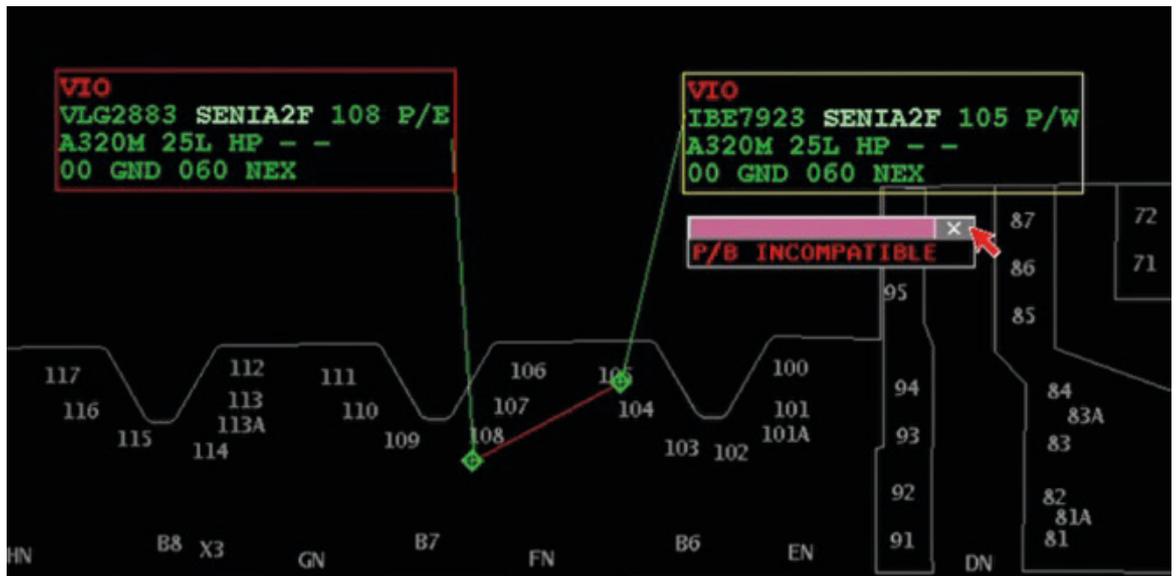
De esta forma, CRIDA identifica dos objetivos en su Plan Estratégico. Por un lado, la medición y prognosis sistemática de prestaciones en los aeropuertos y, por otro lado, la validación de soluciones innovadoras en entornos aeroportuarios. Se identificaron cuatro líneas de actuación:

1. Análisis y mejora de la **seguridad** en plataforma, calles de rodaje y pistas.
2. Desarrollo de soluciones para servicios deslocalizados y de asistencia al controlador que reduzcan los **costes** operativos en torres de control.
3. Desarrollo de herramientas que permitan optimizar el uso de la **capacidad** de los aeropuertos, como parte integrante del sistema ATM.
4. Definición de métricas e indicadores de **impacto ambiental** en el entorno aeroportuario, adaptados a los nuevos procedimientos y operaciones.

Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

En las anualidades de 2021 y 2022, CRIDA ha desarrollado herramientas para el análisis y mejora de la **seguridad** no sólo en pista, sino también en calles de rodaje y plataforma. En concreto, ha definido nuevas alertas en la posición de control de torre que permiten detectar situaciones conflictivas tanto reales como potenciales, incluyendo incursiones, falta de adherencia a procedimientos o autorizaciones que puedan generar conflictos entre aviones, entre otras. CRIDA ha validado estos conceptos a través del proyecto europeo *PJ02 Increased Runway and Airport Throughput* (Solución 21.1), financiado por SESAR.



Vista de nuevas alertas validadas en la posición de control de torre.



Validación de torre llevada a cabo por ENAIRE y CRIDA en el proyecto PJ02 de SESAR.

Con el objeto de reducir los **costes** de las operaciones, se ha trabajado por un lado en la validación de servicios deslocalizados (torres remotas), y por otro, en el desarrollo de soluciones de realidad aumentada para asistencia al controlador. Ambas soluciones se han validado dentro del proyecto *PJ05 Digital Technologies for Tower de SESAR* (Soluciones 35 y 97.1).

En dichas validaciones se ha demostrado que las torres remotas mejoran la gestión de los recursos de control en varios aeropuertos pequeños, de tal forma que se distribuye al servicio de control de varios de estos aeródromos entre diferentes torres remotas.

Por otro lado, la realidad aumentada ha demostrado mejorar las operaciones de los controladores de torre en condiciones de baja visibilidad.



Gafas de realidad aumentada usadas para mostrar información adicional al controlador en la posición de control de torre.

En lo relativo a la capacidad aeroportuaria, se ha colaborado en el desarrollo y validación de soluciones que buscan su optimización dentro de proyectos SESAR: PJ04 (Solución 28.3) y PJ02 (Solución 14.10). En primer lugar, se ha elaborado una herramienta de optimización de la capacidad de las pistas basada en el concepto TTA (*Target Time of Arrival*, por sus siglas en inglés). La herramienta mejora la distribución temporal de los vuelos de llegada al aeropuerto, de tal forma que optimiza su secuencia y reduce esperas.

Además, se ha mejorado el algoritmo de predicción de tiempo de ocupación de pista (ROT, por sus siglas en inglés, *Runway Occupancy Time*), introduciendo nuevos parámetros como la meteorología a un modelo de *Machine Learning* desarrollado por CRIDA.

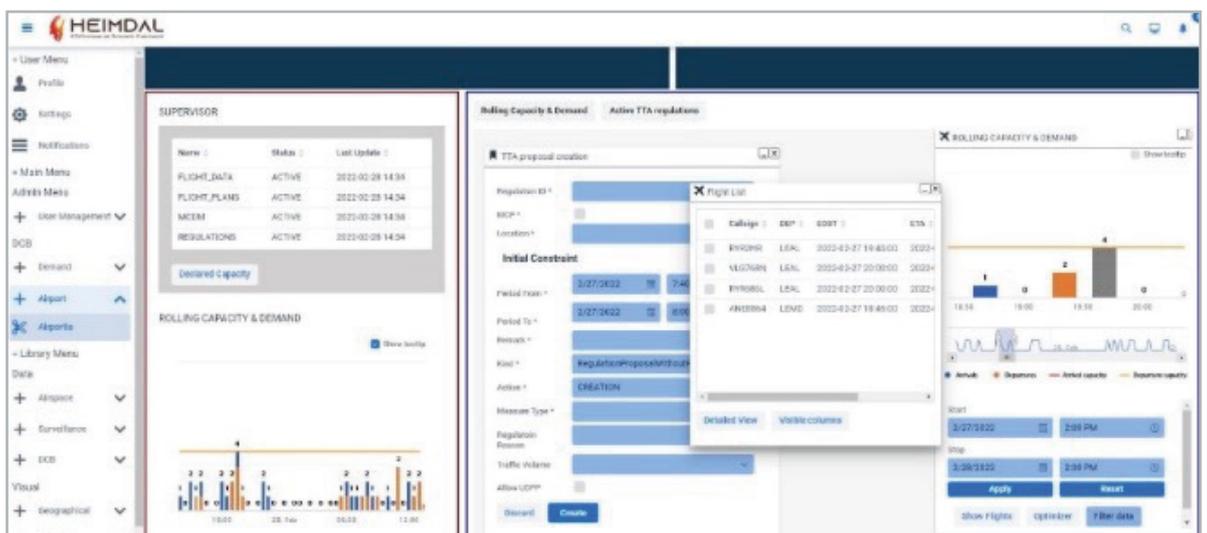
Actividades internas para ENAIRE

CRIDA ha utilizado técnicas de "eye-tracking" para la validación de la solución de torre remota antes descrita. Estas técnicas recopilan información sobre movimientos oculares, para analizar los procesos cognitivos asociados a la percepción visual durante el proceso de detección y reconocimiento de aeronaves.

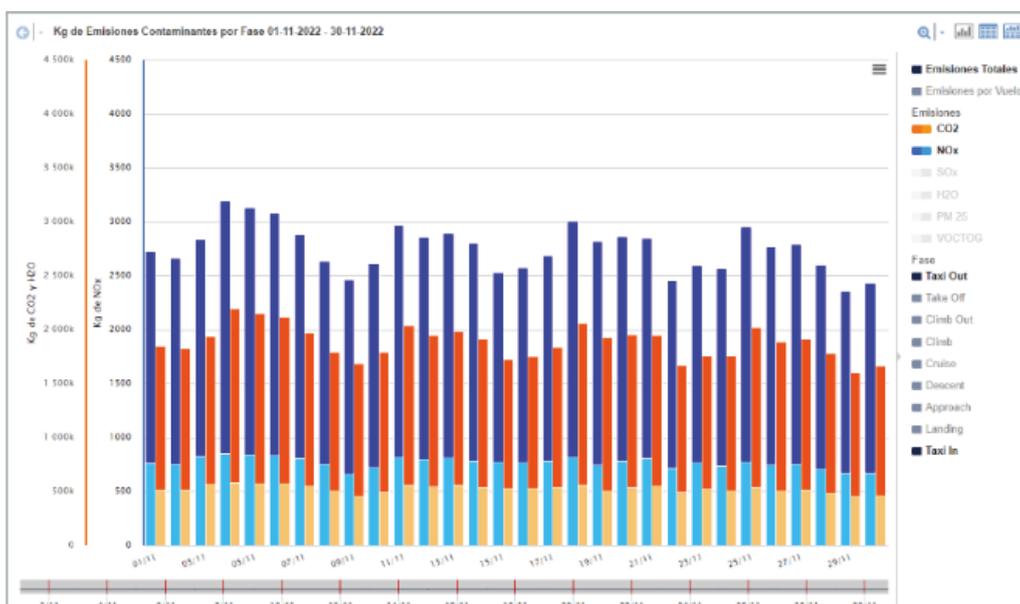
CRIDA ha desarrollado nuevos indicadores de monitorización y predicción del **impacto ambiental** de las operaciones aeroportuarias, que desglosan las emisiones producidas en el entorno aeroportuario por partículas contaminantes.

Se ha trabajado activamente en el grupo de trabajo creado por la *Performance Review Unit* (PRU) de Eurocontrol para el desarrollo de nuevas metodologías y algoritmos que permitan un cálculo más preciso del tiempo adicional ASMA (*Arrival Sequencing and Metering Area*), y de tiempo adicional de rodaje, tanto en llegadas como en despegues.

Por otro lado, se desarrollaron nuevos informes para el aeropuerto de Barcelona en los que se desglosa por compañía aérea el tiempo de ocupación real en la pista 24R, y se presenta la adherencia a los procedimientos de salida por calles de salida rápida atendiendo a la categorización de las aeronaves por estela turbulenta.



Vista de la herramienta donde se proporciona el cálculo de las TTAs a la posición de gestión de afluencia.



Vista de Indicadores de emisiones en PERSEO

Siguientes pasos

Con relación a la línea de actuación para reducir los **costes operativos**, se prevé desarrollar nuevas funcionalidades de torre remota que permitan la implantación de esta solución en Menorca, centrándose en la viabilidad técnica y operacional de la solución.

Se prevé el desarrollo de nuevas metodologías para el estudio del **impacto ambiental** de las operaciones aeroportuarias, especialmente en lo que se refiere a emisiones contaminantes y ruido.

Con respecto a la **capacidad**, se continuará con actividades relacionadas con la integración efectiva del aeropuerto en el sistema ATM. En particular, se contemplan mejoras en el algoritmo de cálculo de TTAs, y la inclusión de los aeropuertos en la resolución de desequilibrios de capacidad y demanda en ruta.

Se prevé una nueva línea de actuación sobre las operaciones de **drones en el aeropuerto**. Se llevarán a cabo demostraciones de la integración de drones y se diseñarán procedimientos para la operación conjunta de aeronaves tripuladas con drones, considerando la existencia o no de vertipuertos. CRIDA utilizará el recientemente adquirido simulador de vuelo para validar operativamente los procedimientos definidos, así como el grado de aceptación por parte del pasajero del vehículo no tripulado.

8.8. Drones

Líneas de actuación

Esta área técnica surge por la necesidad de apoyar a ENAIRE en la consecución de los objetivos fijados en su Plan Estratégico “Drones y nuevos usuarios” incluido en el Plan de Vuelo 2025. Este plan tiene como objetivo **promover el desarrollo del sector de los Drones y de la Movilidad Aérea Urbana** con programas y medidas que faciliten su integración con las demás aeronaves. Las medidas incluyen el desarrollo del futuro sistema de gestión de tráfico aéreo de aviación no tripulada (U-space) en España.

CRIDA identifica dos objetivos específicos en su propio Plan Estratégico para apoyar a ENAIRE en el Plan “Drones y nuevos usuarios”. Por un lado, CRIDA facilitará la **validación de nuevas soluciones relativas al sistema U-space**. Por otro lado, apoyará la **ejecución de pruebas en vuelo** de U-space en entornos urbanos de aquellas soluciones y servicios que tengan mayor madurez.



Pruebas de vuelo en Castelfells dentro del proyecto Europeo CORUS-XUAM

CRIDA identificó cuatro líneas de actuación dentro de esta área técnica. Las tres primeras contribuyen de forma directa a la consecución de esos objetivos. Una cuarta línea de actuación utiliza U-space como habilitador tecnológico para la automatización del sistema ATM.

1. **Definición de un marco de prestaciones** que sirva para la monitorización y la toma de decisiones en U-space.
2. **Definición de requisitos de nuevas infraestructuras de validación** adaptadas a las características de las operaciones de drones que permitan la validación de las soluciones tecnológicas y posibles arquitecturas de U-space.

3. Apoyo a ENAIRE en la **realización de estudios y pruebas en vuelo** para analizar la integración de las operaciones de drones y de Movilidad Aérea en entornos urbanos y/o en espacio aéreo controlado.
4. **Análisis del impacto de la automatización del sistema ATM a través del estudio de U-space**. Para ello, se analizará el impacto sobre el controlador aéreo de la interacción con un sistema completamente automatizado como es U-space.

Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

Durante los años 2021 y 2022 CRIDA, junto con varios de sus socios europeos, ha desarrollado un **marco de prestaciones** coherente con las particularidades de las operaciones de drones y el futuro sistema U-space. En particular, CRIDA ha definido indicadores para la evaluación de la capacidad en un espacio aéreo gestionado por U-space, considerando que éste es un sistema automatizado en el que el factor limitante no está asociado a las capacidades del controlador. Los nuevos indicadores están asociados al nivel de riesgo de las operaciones previstas en el espacio aéreo, considerando tanto el riesgo de colisión con aviación tripulada como el riesgo de incidentes con la población.

Adicionalmente, CRIDA ha diseñado indicadores que consideran el impacto social sobre los ciudadanos como factor limitante del número máximo de operaciones en entornos urbanos teniendo en cuenta aspectos tales como el nivel de ruido admisible, la densidad de población, o el impacto visual. CRIDA ha validado los indicadores en simulaciones en tiempo acelerado de drones en entornos urbanos y suburbanos a través de DACUS, proyecto europeo financiado por SESAR, así como U-SKY, proyecto financiado con fondos nacionales a través de la Agencia Gallega de Innovación (GAIN).

CRIDA ha trabajado junto con varios proveedores de infraestructura de validación, para la **identificación de requisitos de los simuladores** con el fin de poder validar escenarios realistas de drones. Una vez desarrolladas las mejoras – ver área técnica de Infraestructura de Validación -, se han validado las nuevas funcionalidades a través de simulaciones realizadas en varios proyectos europeos de investigación financiados por SESAR, en particular DACUS, AURA y ERICA.

CRIDA ha colaborado en la **realización de pruebas en vuelo** para validar el nuevo concepto de operación europeo para U-space, incluyendo la Movilidad Aérea Urbana. Se ha analizado la viabilidad y prestaciones del despliegue de U-space basado en arquitectura federada, con varios proveedores de servicio coexistiendo en la misma área junto con un proveedor de referencia que centraliza la provisión de información común y los servicios críticos. Estas pruebas se han realizado a través de los proyectos europeos CORUS-XUAM y U-space4UAM financiados por SESAR.

Finalmente, CRIDA ha completado validaciones para analizar el impacto en factores humanos de la interacción necesaria entre el sistema ATM, con el controlador como pieza esencial del sistema, y el sistema U-space. Se analizó el nivel de frustración y estrés del controlador aéreo al trabajar en entornos en los que coexisten los dos sistemas. Estos análisis y validaciones se han realizado en el proyecto AURA.

Actividades internas para ENAIRE

El sector de los drones y la Movilidad Aérea Urbana es un área de negocio reciente para ENAIRE, de forma que los servicios a proporcionar a las operaciones de drones se han implementado recientemente, o se encuentran en fase de desarrollo como es el caso del sistema U-space. Por ello, en el período 2021-2022 no se fijaron actividades concretas de apoyo a la operativa diaria de ENAIRE, como sí ocurre en otras áreas.



Pruebas de vuelo de Movilidad Aérea Urbana en Villacarrillo dentro del proyecto U-space4UAM.

Siguientes pasos

Entre los retos pendientes asociados a cada línea se encuentran:

Ampliación del estudio de los indicadores sociales y su proceso de cálculo, así como apoyo a ENAIRE en la adaptación de los indicadores propuestos para su uso en los espacios aéreos U-space a implementar en España.

Definición de nuevos requisitos de los simuladores en tiempo acelerado y real para la obtención de resultados en términos de los indicadores propuestos en el nuevo marco de prestaciones, así como su posterior validación. Adicionalmente, mejora de las capacidades de simulación con el fin de poder analizar diversas arquitecturas U-space orientadas a servicios, o el impacto del nivel de prestaciones CNS.

Desarrollo de pruebas en vuelo para validar los espacios aéreos U-space que se definirán en España con la entrada en vigor del nuevo marco regulatorio para U-space a partir de enero de 2023.

Considerando la madurez de las tecnologías de automatización empleadas en U-space, se propone la **definición de una hoja de ruta para la progresiva automatización del sistema ATM** e identificación de puntos de bloqueo en el proceso.

De acuerdo con las nuevas necesidades de ENAIRE, se contempla la inclusión de una nueva línea de actuación consistente en el **desarrollo de metodologías y prototipos para la cuantificación del riesgo de una operación en espacio aéreo U-space**, como parte del proceso de aprobación de un plan de vuelo de drones.

8.9. Big Data e Inteligencia Artificial

Líneas de actuación

El área de Inteligencia Artificial (IA) surge por **la necesidad de buscar nuevas soluciones a problemas que los métodos tradicionales no resuelven**. Entre ellos, cabe destacar las dificultades a la hora de estudiar cómo se comporta el sistema de gestión de tráfico aéreo en casos no nominales, o la obtención de previsiones fiables de su comportamiento futuro. De este modo, el uso de IA para la explotación de datos masivos permitirá el análisis de eventos de control específicos, cuyo estudio sistemático no se ha podido realizar con otros métodos. Es el caso de la determinación de operaciones frustradas o de pérdidas de separación, junto con las causas que las provocan. Por otro lado, la IA contribuirá a mejorar la previsibilidad del sistema, uno de los factores que limitan el uso óptimo de la capacidad del espacio aéreo y la gestión de los recursos, ante la dificultad de tomar decisiones basadas en previsiones fiables.

De acuerdo con el plan estratégico de CRIDA, la IA se identifica como un área transversal al servicio del resto de áreas. Por ello, las líneas de actuación definidas en IA se enfocan en favorecer el cumplimiento de los objetivos definidos en otras áreas. Las líneas son las siguientes:

1. Aplicación de IA para mejorar el **análisis del comportamiento del sistema** actual. La IA puede aportar soluciones que mejoren el análisis de prestaciones del sistema y por extensión facilitar la identificación de problemas y sus soluciones.
2. Aplicación de la IA para mejorar la **previsibilidad del sistema** y facilitar con ello la toma de decisiones que permitan optimizar la capacidad y la gestión de recursos.
3. **Automatización** en la provisión del servicio de control de tráfico aéreo por medio de tecnologías IA que permitan simplificar tareas repetitivas, ayudar en la toma de decisiones en la gestión del tráfico, así como a mejorar la comprensión y confianza del controlador en las herramientas de automatización (Explainable AI).
4. Desarrollo de un **catálogo de soluciones basadas IA** que den respuesta al conjunto de problemas que sistemáticamente se presentan en otras áreas técnicas. El catálogo de soluciones está centrado en los problemas resueltos con soluciones específicas. Se quiere para facilitar la implantación de dichas soluciones en producción, para realizar un seguimiento de su ciclo de vida y para su reutilización en caso de ser posible.

Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

Se han desarrollado varias actividades que abren puertas a futuras soluciones basadas en IA

En la línea de análisis del **comportamiento del sistema actual** se han desarrollado varias actividades dentro del marco de proyectos SESAR de investigación fundamental, las cuales abren puertas a futuras soluciones basadas en IA.

En el proyecto SIMBAD, se ha realizado un análisis de distintos indicadores a nivel ECAC, ANSP, ACC y de aeropuerto para identificar periodos de tiempo (días en este caso) con características de tráfico y operacionales similares mediante algoritmos de *clustering*.

En NOSTROMO se ha establecido una metodología para la construcción de metamodelos de rendimiento ATM con la aplicación de técnicas de *Active Learning*, que ofrece resultados similares a de los simuladores tradicionales con un coste computacional menor.

FARO utiliza procesamiento de lenguaje natural (NLP) y aprendizaje automático (ML) en informes de seguridad y datos contextuales para mostrar qué tipo de información es posible extraer y cómo se puede utilizar para generar indicadores de seguridad.

Dentro de la línea de actuación de mejora de la **previsibilidad** del sistema y la asistencia en **la toma de decisiones**, en el proyecto de SESAR PJ02-Sol14, se han realizado predicciones del tiempo de ocupación de pista (ROT) en distintos aeropuertos utilizando herramientas de Auto ML¹ para la obtención de resultados más precisos. En el área de la meteorología y la gestión de la incertidumbre que ésta genera, en ISOBAR, se ha desarrollado un predictor de demanda basado en *Machine Learning (ML)* para predecir la variabilidad de la demanda probabilística asociada a pronósticos probabilísticos de celdas meteorológicas.

Los avances en la línea de **automatización** se centran en el estudio del efecto y la interacción entre la IA y las personas que utilizan los sistemas de IA cuando se aplican técnicas de XAI (Explainable AI) dentro del proyecto TAPAS.

Actividades internas para ENAIRE

Complementariamente a las actividades desarrolladas con terceros, CRIDA ha llevado a cabo en este periodo varias actividades en el área de la IA para ENAIRE.

En el análisis del **comportamiento del sistema actual**, se han llevado a cabo tres importantes iniciativas en las que, a través de la IA, se extraen indicadores del sistema, que son útiles para el análisis de su rendimiento.

¹ AutoML es el proceso de automatizar las tareas lentas e iterativas del desarrollo de modelos ML. Permite crear modelos ML con un escalado, eficiencia y productividad altos, al mismo tiempo que mantiene la calidad del modelo.



Presentación de TAPAS en la conferencia "SESAR 3 JU Annual Conference". En Bruselas, el 12 de octubre del 2022.

- FLUJOS, es un proyecto centrado en la identificación de flujos de tráfico de forma automática en función del tráfico. Este proyecto utiliza algoritmos de *clustering* (ML) para identificar flujos operacionales a partir de planes de vuelo y asigna nuevos planes de vuelo a los flujos operacionales ya identificados. Estos resultados sirven de apoyo a otros proyectos internos y externos.
- PERSEO-Frustradas, mejora la identificación y caracterización de procedimientos de frustradas mediante algoritmos de clasificación avanzados (*XGBoost*).
- PERSEO-Seguridad, identifica situaciones en las que las aeronaves incumplen la distancia mínima de seguridad, y esta identificación se realiza mediante *XGBoost*.

Tras la crisis generada por el COVID-19, y en respuesta a la necesidad de ENAIRE de realizar nuevas **pronosis de tráfico**, CRIDA puso en marcha el proyecto Delfos. Parte de la pronosis de Delfos se realiza con algoritmos de *Machine Learning*. En concreto, se han utilizado para la clasificación de sobrevuelos nacionales y para la secuenciación de pasos por unidad ATC a nivel individual de vuelo.

Todas las soluciones desarrolladas dentro de los proyectos en colaboración con terceros, y también aquellas desarrolladas en actividades internas para ENAIRE, se han integrado dentro del **catálogo de soluciones IA de CRIDA**. Para potenciar la reutilización, difusión e implantación de dichas soluciones se han usado herramientas de *MLOps* que, además de funcionar como un catálogo de herramientas, permiten monitorizar la calidad de los resultados obtenidos y gestionar su ciclo de vida.

La flexibilidad y rapidez son factores decisivos en la investigación y desarrollo de nuevos conceptos. Por lo que se ha decidido potenciar el uso de Entornos Cloud para aprovechar la flexibilidad ofrecida, dinamizar el desarrollo de nuevas soluciones y salvar las limitaciones de los entornos físicos.

Las tecnologías basadas en IA evolucionan a gran velocidad por lo que en CRIDA se ha apostado por un plan de formación continuo de sus empleados. Dicho plan establece las necesidades de formación de los perfiles de la empresa con el fin de aprovechar el potencial que proporcionan las herramientas de IA.

Siguientes pasos

CRIDA reconoce que es requisito fundamental mantenerse actualizado en últimos avances en IA para el desarrollo de soluciones competitivas e innovadoras.

Como continuación de las actividades llevadas a cabo en este periodo, y en base al conocimiento adquirido, CRIDA identifica la necesidad de fortalecer la asistencia a las distintas líneas estratégicas y a los nuevos proyectos para mejorar el **análisis del comportamiento del sistema, su previsibilidad, y automatización**. Para ello se debe continuar con el análisis sistemático de los problemas donde la IA supone una mejora con respecto a los métodos tradicionales.

Será necesaria la exploración de técnicas y tecnologías que permitan favorecer la implantación de las soluciones. En concreto es necesario la mejora en campos como la XIA y las herramientas de *AutoML*, y explorar arquitecturas que involucren técnicas de Aprendizaje por refuerzo y algoritmos de optimización inteligente.

Estas líneas de actuación se verán beneficiadas de la implantación del plan de formación continuo desarrollado en este periodo, contribuyendo al buen desempeño de las actividades de IA, área técnica que se encuentra en constante y rápida evolución.

Se continuará asimismo con el mantenimiento y desarrollo del **catálogo de soluciones de IA**, facilitando la reutilización de técnicas de IA con el objetivo de agilizar nuevos desarrollos y optimizar esfuerzos.

8.10. Infraestructura de validación

Líneas de actuación

El área técnica de infraestructura de validación es un **área transversal de apoyo a los proyectos de CRIDA**, con el objetivo de poner los medios necesarios para validar nuevas soluciones, siguiendo una metodología que permita la comparativa de resultados con el entorno real.

CRIDA identifica dos objetivos en su propio Plan Estratégico que hacen referencia a esta área. Por un lado, CRIDA desarrollará **mecanismos de validación eficientes**, promoviendo las prácticas de automatización y estandarización donde sea posible. Por otro lado, CRIDA facilitará la **validación de nuevas soluciones** relativas al sistema U-space.

Se identificaron cinco líneas de actuación dentro de esta área técnica, con el objetivo de dar un salto cuantitativo y cualitativo en la infraestructura de validación existente y poder así responder a las nuevas necesidades de validación derivadas del Plan de Vuelo 2025 de ENAIRE.

1. Mejoras en **simuladores en tiempo real de fase de ruta y TMA** para la validación de nuevas soluciones asociadas al Cielo Único Digital Europeo. El porfolio de simuladores de CRIDA deberá permitir seleccionar el simulador más adecuado en función del grado de madurez de cada solución.
2. Mejoras en **simuladores de torre de control** para la realización de validaciones de alta fidelidad del entorno aeroportuario.
3. Mejoras en infraestructura de validación de CRIDA para el **análisis de escenarios realistas de drones**.
4. Herramientas de **soporte para mejoras en la eficiencia en la ejecución y representatividad** de las simulaciones. Esta línea incluye nuevas herramientas para explotación de resultados de simulación basados en el conjunto de indicadores de prestaciones empleados en el entorno real. También nuevos módulos que permitirán reducir los costes de las simulaciones.
5. Mejoras en infraestructura de validación para incorporar aspectos relacionados con la **aeronave y/o el punto de vista del piloto**.

Avances técnicos

Actividades en colaboración con terceros

Con relación a la primera línea de actuación, CRIDA ha colaborado, junto con uno de los proveedores de sistemas de control de tráfico aéreo de ENAIRE, en la adaptación



Se ha incorporado un simulador de torre de control, que dota a CRIDA de la capacidad para simular todas las fases de vuelo de las aeronaves

de dos de sus **sistemas de control de tráfico aéreo para las fases de vuelo de ruta y TMA** a las nuevas necesidades de validación derivadas de los proyectos de SESAR en los que CRIDA y ENAIRE participan.

Las capacidades de estos dos simuladores, uno correspondiente al sistema de control de tráfico aéreo actual (SACTA) y otro al sistema futuro (iTEC), han permitido a CRIDA y ENAIRE validar soluciones como la gestión del tráfico centrada en el vuelo (*Flight Centric ATC*), la delegación de espacios aéreos entre centros de control, o la configuración dinámica del espacio aéreo (DAC), entre otros.

Adicionalmente, para validar soluciones con menor grado de madurez, CRIDA ha incorporado un simulador en tiempo real desarrollado por Eurocontrol que se puede adaptar de forma más ágil y flexible a las nuevas soluciones de I+D. Este simulador permite incluir prototipos desarrollados por CRIDA, además de contar con herramientas adicionales como analizadores de tráfico o de carga de trabajo por sector, así como módulos para evaluar los resultados. El simulador se ha empleado para analizar mejoras en el mantenimiento de habilitaciones del controlador.

En este periodo, se ha incorporado un **simulador de torre de control**, que dota a CRIDA de la capacidad para simular todas las fases de vuelo de las aeronaves. Este simulador se ha empleado para validar soluciones desarrolladas en SESAR para el entorno aeroportuario.

CRIDA ha incorporado dos nuevos simuladores, uno en tiempo acelerado y otro en tiempo real, con el objetivo de tener la capacidad para **estudiar escenarios realistas de drones** en entornos rurales, urbanos y suburbanos, tanto en espacio aéreo U-space como en espacio aéreo controlado.

El simulador en tiempo acelerado incluye un nuevo catálogo de drones y sus prestaciones, permitiendo simular escenarios con alta demanda, considerando el impacto de las condiciones meteorológicas, así como contingencias y procedimientos asociados.

Respecto al simulador de drones en tiempo real, CRIDA ha trabajado con Eurocontrol en la adaptación de su simulador en tiempo real para poder validar soluciones que permitan operar de forma conjunta a drones y aviación tripulada en espacio aéreo controlado.

Las capacidades de ambos simuladores han permitido a CRIDA validar las soluciones planteadas en diversos proyectos europeos financiados por SESAR, en particular DACUS, AURA y ERICA.

A través de la cuarta línea de actuación, se ha automatizado el proceso de captura de ficheros de salida de las plataformas de simulación, y su posterior adaptación e integración en TESEO, aplicación desarrollada por CRIDA que permite obtener **indicadores de prestaciones para los vuelos simulados** análogos a los obtenidos en el entorno real por PERSEO.

En el año 2022, CRIDA ha incorporado un simulador de vuelo de baja fidelidad que permitirá validar el impacto de las nuevas soluciones desde el punto de vista del piloto. La explotación de esta plataforma comenzará a partir del año 2023.



Plataforma de validación de torre remota del aeropuerto de Menorca

Actividades internas para ENAIRE

Con relación a las actividades internas de apoyo a ENAIRE, durante el año 2021 y 2022 se ha empleado la [plataforma de simulación iTEC](#) con el fin de realizar ejercicios de evaluación a los candidatos de la convocatoria de control de ENAIRE.

A su vez, se ha dado apoyo a ENAIRE para el uso de la plataforma de [simulación de torre de control](#) en la validación de nuevas alertas en pista y rodadura.

Con respecto a las [herramientas de soporte](#) para la realización de validaciones, se ha colaborado con ENAIRE en la actualización del generador de tráfico para las simulaciones del sistema SACTA. Por otro lado, se ha continuado con el desarrollo de los pseudo-pilotos virtuales, que permitirán reducir el número de pseudo-pilotos necesarios para realizar simulaciones. Se ha apoyado a ENAIRE en la instalación de este módulo en la sala de simulación del Centro de Control de Torrejón.

Siguientes pasos

A partir del año 2023 se introducirán mejoras en las capacidades de los [simuladores de ruta y TMA](#), como el conectarlos con el simulador de vuelo. Ello permitirá realizar simulaciones considerando el impacto tanto en el lado tierra como en el lado aire. Entre otras, se analizará el impacto de la delegación de responsabilidad de separación del controlador aéreo al piloto, así como situaciones de contingencias considerando el impacto en el piloto o de las prestaciones de la aeronave.

Se prevé mejorar las capacidades de la **infraestructura de validación para simulaciones de torre de control**. En particular, se introducirán mejoras en la visualización desde el fanal con el fin de ganar en realismo y posibilitar la generación sencilla de visualizaciones de otros aeropuertos.

CRIDA prevé mejorar las funcionalidades de la **infraestructura de validación para drones**, con el objetivo de obtener resultados en términos de los indicadores propuestos para U-space. Los simuladores deben tener también capacidad para analizar diversas arquitecturas U-space orientadas a servicios, o el impacto del nivel de prestaciones CNS.

Con respecto a **herramientas de soporte para las simulaciones**, está previsto incorporar un sistema de reconocimiento de voz para simulaciones de torre de control, lo que permitirá incorporar pseudo-pilotos virtuales reduciendo los recursos humanos necesarios.

Finalmente, CRIDA tiene previsto explotar el **simulador de vuelo** en validar procedimientos de aproximación y despegue en aeropuertos, así como validar el concepto de operaciones con un solo piloto (*Single Pilot Operations*).



Simulador de vuelo
adquirido en 2022

9 Innovación abierta

CRIDA, en su papel de centro de referencia en España para actividades de investigación y desarrollo en la gestión del tráfico aéreo, ha creado el **Clúster español en investigación en ATM**, aglutinando a todas las universidades españolas que de alguna forma estén relacionadas con el ámbito de la Gestión del Tráfico Aéreo. El objetivo del Clúster es intercambiar experiencias en el ámbito del desarrollo y la gestión de operaciones ATM, planteando líneas de trabajo que puedan resultar de interés para una explotación común entre diferentes grupos de investigación y fomentando la colaboración de sus miembros, así como la participación en programas y líneas de trabajo nacionales y europeos. En este contexto, han surgido proyectos financiados por programas europeos como SESAR entre los que cabe citar proyectos como DACUS o CORUS-XUAM, entre otros.

Por otro lado, CRIDA ha desplegado un **Plan de Innovación Abierta para ENAIRE** con el objetivo de explotar conocimientos y cambios tecnológicos que brotan diariamente, fuera de la empresa e, inclusive, fuera del sector. Este plan permite a estudiantes, investigadores y emprendedores de cualquier localización geográfica acceder no sólo a financiación sino a la experiencia técnica para impulsar sus ideas. El citado plan se compone de 4 líneas de actuación: la captación de talento innovador, la competición de ideas de negocio, el concurso de soluciones a retos tecnológicos, y la aceleradora de startups.

La captación de talento innovador consiste en el lanzamiento de convocatorias periódicas de becas que corresponden a desafíos tecnológicos planteados por CRIDA y por ENAIRE. Las mejores propuestas disponen de una beca personal para la realización de un Trabajo Fin de Grado o de Máster. El 'Clúster español en investigación en ATM' sirve de marco para la difusión de estas convocatorias. A las convocatorias pueden presentarse los alumnos de Grado y Máster con el respaldo de un profesor de una de las universidades del Clúster.

La **competición de ideas de negocio** consiste en el lanzamiento de convocatorias para captar ideas innovadoras en el ámbito de la gestión del tráfico aéreo con el fin de promover y desarrollar estas ideas en fases iniciales. El concurso está orientado a alumnos de grado/máster, titulados superiores, doctorandos y potenciales emprendedores. El primer concurso de Ideas se lanza en septiembre del año 2022 y está organizado en dos fases: una primera fase de selección de las mejores ideas, y una segunda fase de incubación para madurar sus planes de negocio.

ENAIRe | OPEN INNOVATION

Concurso de ideas de negocio en Gestión del Tráfico Aéreo

Quién se puede apuntar

- Alumnos de grado/máster, titulados superiores, doctorandos y potenciales emprendedores que tengan una idea relacionada con la actividad que ENAIRe desempeña.
- Las ideas pueden provenir de cualquier sector siempre que se desarrollen potencialmente en el entorno de la Gestión de Tráfico Aéreo.
- Las ideas que se presenten deben de ser innovadoras y no haberse puesto en marcha en el momento de enviar la solicitud.

Premios

Finalista fase 1		Ganador fase 2 - Incubación	
5.000 € Premio único	3.000 € Premio único	1.000 € Premio único	10.000 € Premio único más subsidio por I+D+i

¿En qué consiste la incubación?

1 sesión Reunión de lanzamiento	10 horas Mentoría Lean Startup	24 módulos Formación Lean Startup
---	--	---

Inscripción abierta hasta el 31 de diciembre de 2022. Apúntate ideas.eoi.openinnovation.com

El **concurso de retos tecnológicos** pretende encontrar soluciones a retos que pueden ser resueltos con tecnologías provenientes de otros ámbitos diferentes del ATM. Son retos de naturaleza transversal y persiguen aprovechar el conocimiento y experiencia adquirida en otras áreas tecnológicas para su uso en el entorno de la gestión del tráfico. A este concurso pueden presentarse grupos de investigación universitarios o de cualquier otro tipo. En el año 2021 se lanza el primer concurso, que busca soluciones frente al reto de minimizar el riesgo de contagio de enfermedades que se transmitan por vía aérea en la posición de control. La Universidad de Zaragoza resulta la ganadora de un convenio de investigación aportando diseños viables aplicados a la posición iFOCUCS. La aceleradora de startups tiene como objeto acelerar a empresas de reciente creación (máximo tres años en el mercado), en particular, startups. Para ello, se organizan concursos en los que ENAIRe/CRIDA identifican retos de negocio del ámbito ATM a los que las startups deben proponer productos o servicios viables que se adapten al reto elegido. Las empresas seleccionadas entran en un programa de aceleración donde reciben acompañamiento personalizado, formación y acceso a redes de interés. En febrero de 2022, CRIDA lanza una llamada abierta para obtener apoyo externo en la gestión del programa de Innovación Abierta. Gana PENINSULA, empresa con experiencia y conocimiento en las iniciativas incluidas en el programa.

La **aceleradora de startups** tiene como objeto acelerar a empresas de reciente creación (máximo tres años en el mercado), en particular, *startups*. Para ello, se organizan concursos en los que ENAIRe/CRIDA identifican retos de negocio del ámbito ATM a los que las startups deben proponer productos o servicios viables que se adapten al reto elegido. Las empresas seleccionadas entran en un programa de aceleración donde reciben acompañamiento personalizado, formación y acceso a redes de interés. En febrero de 2022, CRIDA lanza una llamada abierta para obtener apoyo externo en la gestión del programa de Innovación Abierta. Gana PENINSULA, empresa con experiencia y conocimiento en las iniciativas incluidas en el programa.

10 Transferencia tecnológica a sus socios

Los mecanismos de transferencia tecnológica entre CRIDA y sus socios son esenciales para la comercialización de prototipos con potencial en el mercado. [El plan estratégico de CRIDA contempla el objetivo de facilitar la transferencia tecnológica](#) en respuesta a la necesidad de ENAIRE de acelerar el despliegue I+D, tradicionalmente difícil de abordar debido a las particularidades del sector del tráfico aéreo.

El principal mecanismo de transferencia, al que CRIDA dedica un esfuerzo importante, es [la diseminación de resultados hacia sus socios](#). Dicha diseminación se articula en torno a dos eventos, las [jornadas divulgativas](#) para ENAIRE y las jornadas de divulgación para INECO. Complementariamente, los productos desarrollados y la tecnología en la que basan son presentados a sus socios cuando estos alcanzan un nivel adecuado de madurez, ya sea a través de sesiones informativas o sesiones de formación.

CRIDA también participa en iniciativas de transferencia de resultados, con el fin de asegurar su efectiva implantación. Por ejemplo, el soporte a la industrialización de PERSEO se inició en 2021 y continúa en este periodo a través de contribuciones a la especificación de la herramienta EYWA. Entre las múltiples funciones de [medición de prestaciones](#) de PERSEO, hay que destacar la caracterización de frustradas y el análisis de incumplimientos de distancia de seguridad, ambas basadas en algoritmos de [Inteligencia Artificial](#) que están listos para su uso operacional.

Además de esta, no son pocas las iniciativas de transferencia tecnológica en las que CRIDA ha participado en el periodo 2021-2022, todas ellas se detallan a continuación.



Terceras Jornadas Divulgativas: Innovar en un entorno de cambios – CRIDA 2021-2022.

En el área de **previsión de tráfico y trayectorias**, se ha entregado a ENAIRE un prototipo funcional de predicción de demanda (DELFO) que aborda las deficiencias de los métodos de pronóstico de tráfico tradicionales en el escenario de pandemia. También se ha colaborado en el proyecto HISPAFRA, para la implantación del espacio aéreo sin rutas predefinidas en España (espacio *free-route*).

CRIDA ha iniciado la transferencia de soluciones (el optimizador de configuraciones SECTORIA y la herramienta de análisis de complejidad eCOMMET) para su potencial incorporación en la nueva herramienta operacional de ENAIRE de gestión de afluencia (IMPACT). Por otro lado, eCOMMET se ha integrado en las posiciones de **gestión de afluencia** de las dependencias de Madrid, Sevilla, Barcelona, Canarias y Palma con el fin de validar su algoritmo de cálculo de complejidad. Una nueva metodología de cálculo estadístico de umbrales de ocupación se ha puesto en práctica en algunos sectores de Barcelona Ruta.

En base a los resultados positivos del uso de Eye-tracking para el análisis de **factores humanos**, CRIDA ha propuesto su uso para la detección de blancos desde la **Torre Remota**.

Un módulo de pseudo pilotos virtuales validado en el área de **infraestructura** ha sido instalado en la sala de simulación del Centro de Control de Torrejón.

En el área de **drones**, CRIDA ha contribuido a la simiente de la implementación de U-space en España, colaborando en la realización de pruebas en vuelo para validar el concepto de operación U-space, incluyendo la Movilidad Aérea Urbana.

Finalmente, en la búsqueda de fortalecer los mecanismos de transferencia tecnológica, CRIDA ha participado en el proyecto ITACA financiado por SESAR. En él se ha trabajado en definir **leyes y normativas** que agilicen el proceso de adopción de tecnologías emergentes y aceleren su proceso de despliegue.



11 Entidades colaboradoras

La colaboración con otras empresas asegura el posicionamiento estratégico de CRIDA en el sector de la investigación y fortalece su capacidad de impacto en la mejora de la gestión del tráfico aéreo. A través de su participación en SESAR, CRIDA trabaja estrechamente con las principales entidades del contexto internacional de navegación aérea. Adicionalmente, CRIDA tiene acuerdos bilaterales con otros centros de investigación, empresas tecnológicas y universidades para la ejecución de proyectos conjuntos.

A continuación, se incluye un listado de las empresas con las que CRIDA ha trabajado en el periodo 2021-2022.

Organización Intergubernamental

- EUROCONTROL

Proveedores de servicios

- ENAIRE (España)
- NATS (Reino Unido)
- DFS (Alemania)
- DSNA (Francia)
- ENAV (Italia)
- AUSTROCONTROL (Austria)
- AVINOR (Noruega)
- LfV (Suecia)
- SKYGUIDE (Suiza)
- ANS CR (República Checa)
- PANSO (Polonia)
- HUNGAROCNTROL (Hungría)
- ON (República de Lituania)
- CROATIA CONTROL (Croacia)
- NAVIAIR (Dinamarca)
- IAA (Irlanda)
- Slovenia Control (República Eslovaca)

Industria aeronaves tripuladas y no tripuladas

- Airbus
- Dassault Aviation

- Honeywell Aerospace
- Thales AVS France
- Boeing Research & Technology - Europe
- Vertical Aerospace Group
- Volocopter
- Lilium

Industria sistemas ATM y UTM

- ATOS Belgium
- Indra Sistemas
- Leonardo
- Airtel ATN
- SAAB
- SINTEF
- Thales LAS France
- Frequentis
- Jeppesen
- Altitude Angel Limited
- Airmap
- SkyDrone
- Droniq
- Unify
- Pipistrel

Aeropuertos

- Aeroports de Paris
- Heathrow Airport

- Munich Airport
- Schiphol Airport
- Swedavia network
- Zurich Airport
- Aeropuerto de Vitoria

Aerolíneas y otros usuarios de espacio aéreo

- Swiss International Air Lines
- Air Europa
- Fundació HEMAV
- AHA
- Dronehub
- Toulouse Métropole

Centros de investigación

- CATEC
- Tecnalia
- DLR
- NLR
- Institute for Intelligent Analysis and Information Systems (IAIS)
- Transport and mobility leuven
- Zenabyte
- Nommon

Empresas tecnológicas y de ingeniería

- INECO
- Sopra Steria Group
- ISDEFE
- ISA Software
- Aslogic
- UpVision

Meteorología

- Agencia Estatal de Meteorología
- Météo-France
- Earth Networks

Universidades

- Universidad Politécnica de Madrid
- Universidad de Granada
- Universidad Rey Juan Carlos
- Universidad Autónoma de Madrid
- Universidad de Sevilla
- Universidad de Valencia
- Universidad Complutense de Madrid
- Universidad de Zaragoza
- Universidad de Vigo
- Universidad Carlos III de Madrid
- Universitat Politècnica de Catalunya
- Universidad Autónoma de Barcelona
- University of Piraeus Research Centre
- Lunds Universitet
- University of Belgrade
- The University of Westminster
- Danmarks Tekniske Universitet
- Cranfield University
- École Nationale De l'aviation Civile
- Technische Universität Darmstadt
- Universidad De Linden
- Universidad de Chicago
- KTH Royal Institute of Technology

Otros colaboradores

- ASLAM
- GSW
- VAADIN
- EML

Lista de acrónimos

ACARE	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe
ACC	Area Control Centre
AED	Aeronautics, Space and Defence
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AI	Artificial Intelligence
ANS	Air Navigation Service
ANSP	Air Navigation Service Provider
ASDA	Association for the Scientific Development of ATM
ASMA	Arrival Sequencing and Metering Area
ATC	Air Traffic Control
ATCO	Air Traffic Control Officer
ATFCM	Air Traffic Flow and Capacity Management
ATFM	Air Traffic Flow Management
ATM	Air Traffic Management
ATN	Aeronautical Telecommunication Network
CANSO	Civil Air Navigation Services Organization
CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
CNS	Communication Navigation and Surveillance
COIAE	Colegio Oficial de Ingenieros Aeronáuticos de España
CORUS	Concept of Operations for European U-Space Services
CRIDA	Centro de Referencia I+D+i ATM
DAC	Dynamic Airspace Configuration
DACUS	Demand and Capacity Optimisation in U-space
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DLR	German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)
DSNA	Direction des Services de la Navigation Aérienne
ECAC	European Civil Aviation Conference
EPP	Extended Projected Profile
ETSIAE	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio
FCA	Flight Centric ATC
FMP	Flow Management Position
IA	Inteligencia Artificial
IAA	Irish Aviation Authority
IAIS	Institute for Intelligent Analysis and Information Systems
INAP	Integrated Network ATM Planning
ISOBAR	Artificial Intelligence Solutions to Meteo-Based DCB Imbalances for Network Operations Planning
LFV	LFV Aviation Consulting
METAR	METeological Aerodrome / Aeronautical Report
ML	Machine Learning
NLP	Natural Language Processing
NLR	Royal Netherlands Aerospace Centre
PJ	Project
PRU	Performance Review Unit

ROT	Runway Occupancy Time
SACTA	Sistema Automatizado de Control de Tránsito Aéreo
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
SIMBAD	Combining Simulation Models and Big Data Analytics for ATM Performance Analysis
SINTEF	Stiftelsen for INdustriell og TEknisk Forskning
STAM	Short Term ATFCM Measures
TCA	Técnico de Control de Afluencia
TMA	Terminal Manoeuvre Area
TTA	Target Time of Arrival
UAM	Urban Air Mobility
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
UTM	UAS Traffic Management
WG	Working Group
XIA	Explainability AI