Plan de Implantación de Procedimientos de Navegación por Prestaciones (PBN) y desarrollo de procedimientos satelitales de ENAIRE

La navegación aérea por satélite avanza en España

ENAIRE continúa desplegando la implantación de navegación por satélite tanto en aterrizajes y despegues como rutas en el espacio aéreo. Hace unos meses los aeropuertos de Josep Tarradellas Barcelona-El Prat, Jerez, A Coruña y San Sebastián han estrenado nuevas maniobras satelitales sumándose a las ya disponibles en los aeródromos de Seve Ballesteros-Santander, Almería, Valencia, Fuerteventura, Palma y César Manrique-Lanzarote. Este tipo de navegación es más flexible en diseño y eficiente en cuanto a costes al no depender de infraestructuras terrestres de navegación aérea convencional donde se vuela de una radioayuda a otra.

• **Texto: Alejandro Muñiz Delgado,** ENAIRE

Alejandro Muñiz Delgado

Torre de control en el Aeropuerto de Gran Canaria.

El tráfico aéreo vuela siguiendo unas áreas, sectores y rutas optimizadas que son diseñadas previamente. Los controladores aéreos prestan su servicio de control de tráfico aéreo acorde a estas estructuras de espacio aéreo. De este modo, las aeronaves son dirigidas y vigiladas manteniendo en todo momento la separación reglamentaria en función de sus dimensiones durante todas las fases del vuelo, desde el despegue al aterrizaje, y teniendo en cuenta las condiciones del entorno, planes de vuelo y preferencias operacionales.

¿Cómo funciona la navegación aérea?

La navegación aérea convencional está basada en la unión de radioayudas que son seguidas por las aeronaves que vuelan de una a otra, conformando así las aerovías en el espacio aéreo. Estas radioayudas, como son los VOR, DME y NDB, son instalaciones terrestres que emiten señales radioeléctricas que, captadas por los equipos embarcados, permiten conocer la distancia u orientación relativa a las mismas, es decir, su posición relativa. Con esta información, los aviones navegan siguiendo estos sistemas terrestres por lo que las rutas aéreas están fuertemente condicionadas a la disponibilidad y existencia de estas radioayudas terrestres.

Actualmente, gracias a la navegación por satélite no es necesario disponer de estas instalaciones, y poco a poco se va extendiendo la navegación de área, también conocida como RNAV. Esta forma de navegación permite a las aeronaves volar en cualquier rumbo deseado. Su desarrollo ha ido de la mano de la evolución de los sistemas de navegación y equipos a bordo de los aviones que permiten saber en todo momento la posición de la aeronave respecto a la Tierra, y no solo respecto al emplazamiento de las radioayudas.

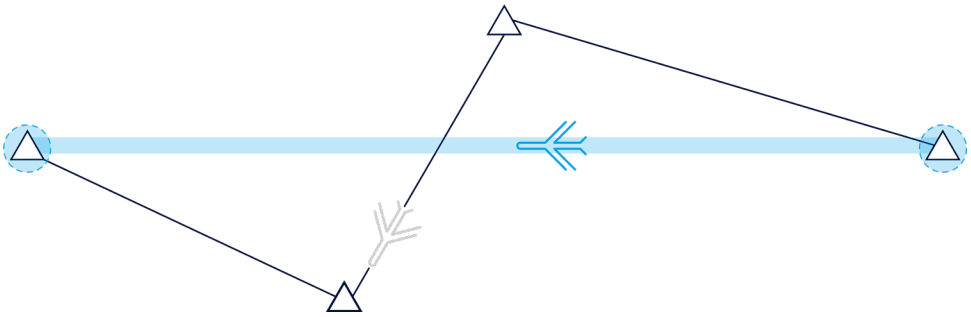
En el número 701 de esta revista, publicado en enero de 2020, compartíamos un análisis de los beneficios que supone la navegación por satélite para todos los usuarios del espacio aéreo. En este artículo se presentan, con casos concretos, los avances en el Plan Nacional de Implantación que ENAIRE está llevando a cabo en España.

La sostenibilidad del tráfico aéreo pasa por un uso eficiente del espacio aéreo disponible. Existen distintos factores que contribuyen en este aspecto y uno de ellos es la navegación aérea basada en prestaciones (PBN en sus siglas en inglés). ENAIRE, con este tipo de navegación, diseña trayectorias más flexibles y unos procedimientos de aproximación adecuados a cada nivel de vuelo y protegiendo el medioambiente.

La navegación PBN se ha convertido en un estándar de seguridad operacional, de capacidad y sostenibilidad que la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha dictado implantar para hacer frente al aumento del tráfico aéreo. Pese a la crisis que ha supuesto la pandemia en el transporte aéreo, el tráfico aéreo se está recuperando progresivamente y ENAIRE ha seguido y sigue desarrollando nuevos procedimientos de navegación basados en prestaciones que puedan contribuir a la mejora de la actividad aérea.

En cumplimiento de lo establecido en el Reglamento (UE) 2018/1048 (PBN IR), la autoridad competente CIDETMA (la Comisión Interministerial de los ministerios de Defensa, Transportes, Movili-

dad y Agenda Urbana, Dirección General de Aviación Civil y la Agencia Española de Seguridad Aérea, AESA), encargó a ENAIRE el desarrollo de una estrategia de espacio aéreo y un plan de apoyo a la implementación y transición de PBN para asegurar el cumplimiento normativo de la PBN IR. Este plan optimizará la capacidad y eficiencia del espacio aéreo sin impactar en la seguridad.



Navegación convencional (negro) vs. navegación de área (azul).

Ventajas del cambio a PBN

La implantación de PBN tiene como objetivo optimizar la seguridad, capacidad y eficiencia global de las operaciones de vuelo en España gracias a:

- ☑ Mejora de la seguridad operacional, reduciendo la probabilidad de Vuelo Controlado al Terreno (CFIT), agregando guía vertical en escenarios que anteriormente carecían de dicha guía (por ejemplo, solo con aproximaciones que no son de precisión, o cuando algún sistema de aterrizaje instrumental (ILS) no está en operación).
- ☑ Reducción de la demora general del sistema ATM (Gestión del tránsito aéreo), proporcionando a los usuarios rutas alternativas con distancias de vuelo similares.
- ☑ Mejora de la gestión y fluidez del tráfico aéreo y de la carga de trabajo de los controladores aéreos gracias, por un lado, a la disponibilidad de trayectorias predecibles y repetibles y por otro, a aplicaciones para secuenciar o hacer esperas del tráfico aéreo.
- ☑ Mayor accesibilidad al aeródromo porque se reducen los mínimos operacionales de aproximación en pistas que no son de precisión.
- ☑ Flexibilidad para diseñar el espacio aéreo, rutas y procedimientos asociados de acuerdo con las necesidades operacionales, optimizando así la gestión del espacio aéreo.
- ☑ Reducción de la dependencia e inversión en ayudas a la navegación convencionales y sus costes de mantenimiento.
- ☑ Mitigación del impacto ambiental:
  - ✓ Reducción de ruido en zonas pobladas próximas a los aeropuertos:
    - La mayor precisión proporciona trayectorias de vuelo predecibles y repetibles que evitan áreas sensibles (aunque esto puede no ser posible en escenarios de alta densidad).
    - La flexibilidad en el diseño de los procedimientos de vuelo permite incrementar el número de ellos disponibles para la aeronave, de manera que el tráfico y el ruido se distribuyan de manera más uniforme.
  - ✓ Reducción de las emisiones de combustibles utilizados:
    - La flexibilidad para diseñar procedimientos de vuelo permite rutas más cortas y, por lo tanto, menor consumo de combustible de la aeronave.

Ruido y emisiones de CO_2, son los dos impactos ambientales más importantes asociados con la aviación. Una forma significativa de reducir los niveles de ruido es adoptar perfiles de vuelo de llegada y salida más precisos. Las reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero se logran mediante unas estructuras de rutas más eficientes, disminuyendo las demoras e implantando prácticas operativas que aumentan la eficiencia. La navegación PBN permite un enrutamiento más preciso de las aeronaves, lo que brinda mayores oportunidades para mejorar la huella ambiental.

En cuanto a la gestión del impacto sonoro de las aeronaves, esto se logra mediante la introducción de múltiples trayectorias de vuelo para mitigar el ruido. Estas técnicas deben aplicarse siempre que sea posible, teniendo en cuenta las circunstancias locales y preferencias. La sociedad experimentará beneficios cuando las rutas PBN estén diseñadas para priorizar el sobrevuelo de áreas no residenciales (por ejemplo, tierras agrícolas, comerciales o industriales).

Sin embargo, la redistribución de los impactos del ruido entre diferentes zonas causados por cambios en las rutas de llegada y

salida y la mayor precisión de la navegación basada en prestaciones pueden crear molestias en algunas áreas que viven bajo las rutas de vuelo. A veces es posible diseñar rutas alternativas a través de un área para dar un respiro predecible en las poblaciones afectadas, siempre que esto no afecte la seguridad operacional ni comprometa la capacidad del espacio aéreo.

Más específicamente, PBN permite lograr los objetivos de reducción de ruido y consumo de combustible establecidos por la estrategia ambiental de ENAIRE, según lo definido por el Plan Estratégico de ENAIRE, el Plan de Vuelo 2025. El cumplimiento de estos objetivos garantizará que ENAIRE cumpla con la estrategia medioambiental del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma) así como con otros requisitos europeos y globales.

PBN, por ejemplo, contribuirá a lograr el objetivo de eficiencia de vuelo horizontal de ENAIRE para 2025 (un 3,27 % KEA [ineficiencia de la red de rutas], es decir, un 11 % menos que en 2019). Esto implicará una reducción del consumo de combustible de 55 550 toneladas y una reducción de las emisiones de CO_2 de 175 000 toneladas (2021/2025).

ENAIRE, pionera en la implantación de sistemas de navegación por satélite, basada en su amplia experiencia en la provisión de servicios de navegación convencional, está desarrollando un ambicioso plan de implantación de la navegación basada en prestaciones (PBN) que supondrá amplios beneficios. El diseño de las rutas PBN tiene más flexibilidad al no depender de los sistemas terrestres por lo que las aerolíneas pueden volar de un punto a otro que estimen y, en ocasiones, recortar las millas voladas. Además, se racionaliza la red de infraestructuras de navegación aérea lo que permite incrementar la eficiencia de las operaciones y mejorar su seguridad al no estar sujetas a la disponibilidad de las radioayudas.

Cabe señalar que la implantación de la PBN, proporcionada fundamentalmente por los sistemas de navegación por satélite, requiere que las aeronaves estén equipadas y las tripulaciones capacitadas para operar de acuerdo con este nuevo escenario operativo.

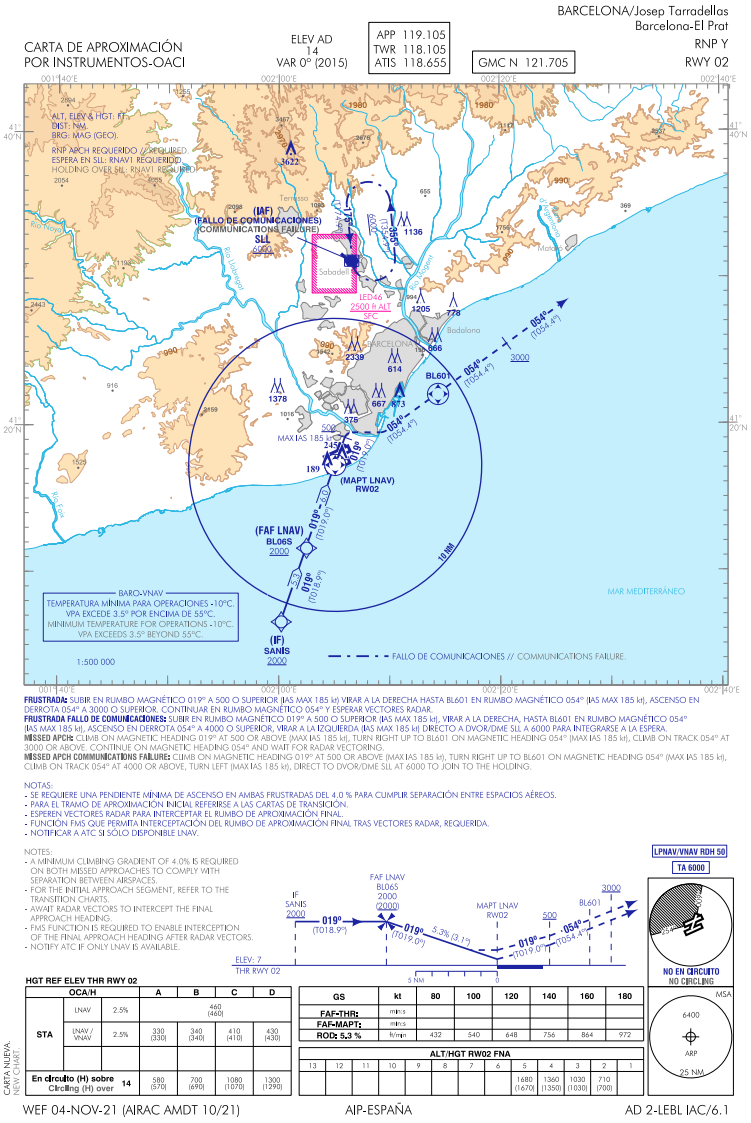
Aproximaciones satelitales

En los últimos años, siguiendo la normativa europea, ENAIRE ha ido desplegando procedimientos de navegación por satélite en nume-

Imagen del radar y torre de control del Aeropuerto Josep Tarradellas-Barcelona El Prat desde radioayuda VOR.

rosas maniobras de aproximación en determinadas cabeceras de aeropuertos españoles como parte del Plan de Implantación de Procedimientos de Navegación por Prestaciones (PBN) de ENAIRE.

basada en prestaciones, conocidas en inglés como RNP APCH (Required Navigation Perfomance Approach). Las maniobras PBN utilizadas en las fases de despegue y descenso se denominan RNAV1 y llevan unos



Carta de aproximación satelital al Aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat.

Entre ellos están los aeropuertos de Josep Tarradellas Barcelona-El Prat, Seve Ballesteros-Santander, Almería, Valencia, Fuerteventura, Palma de Mallorca, César Manrique-Lanzarote, Vigo, A Coruña, Andorra-La Seu, Jerez y San Sebastián. Es la aproximación

requisitos y especificaciones concretos para tripulaciones, controladores aéreos y aeronaves.

Además, en el Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol se dispone de un sistema de navegación por satélite con aumentación en tierra, denominado GBAS y procedimientos para operaciones de precisión instrumental basados en dicho sistema.

Últimas mejoras

En el mes de septiembre ENAIRE mejoró la operatividad del Aeropuerto de San Sebastián con maniobras satelitales en procedimientos de aproximación de salida y llegada. Destaca la implantación de un procedimiento de aproximación instrumental basado en la señal satelital a la cabecera 04 restringida para uso en condiciones óptimas de visibilidad. Anteriormente no existían aproximaciones instrumentales en esta cabecera, por lo que la nueva maniobra implantada proporciona guiado instrumental hacia la cabecera 04 . Además, por primera vez se cuenta con maniobras con guiado vertical para la cabecera 22. Esta mejora aumenta la accesibilidad del aeropuerto, y la seguridad de las operaciones con respecto a los actuales procedimientos convencionales.

En noviembre, el de Barcelona fue el primer aeropuerto de España en el que entran en servicio procedimientos instrumentales de aproximación de tipo SBAS (Satellite Based Augmentation System, esto es, Sistema de Aumentación Basado en Satélite) en categoría de operación CAT I, ofrecido por el sistema de navegación por satélite europeo, EGNOS. Otra innovación a escala nacional de este proyecto es el uso de la navegación por satélite en operaciones de aproximación a pistas paralelas.

A Coruña y Jerez

Y, el pasado mes de diciembre, entraron en vigor nuevas maniobras satelitales en los aeropuertos de A Coruña y Jerez.

Alejandro Muñiz Delgado

Simulador GammaSim en torre de control del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas.

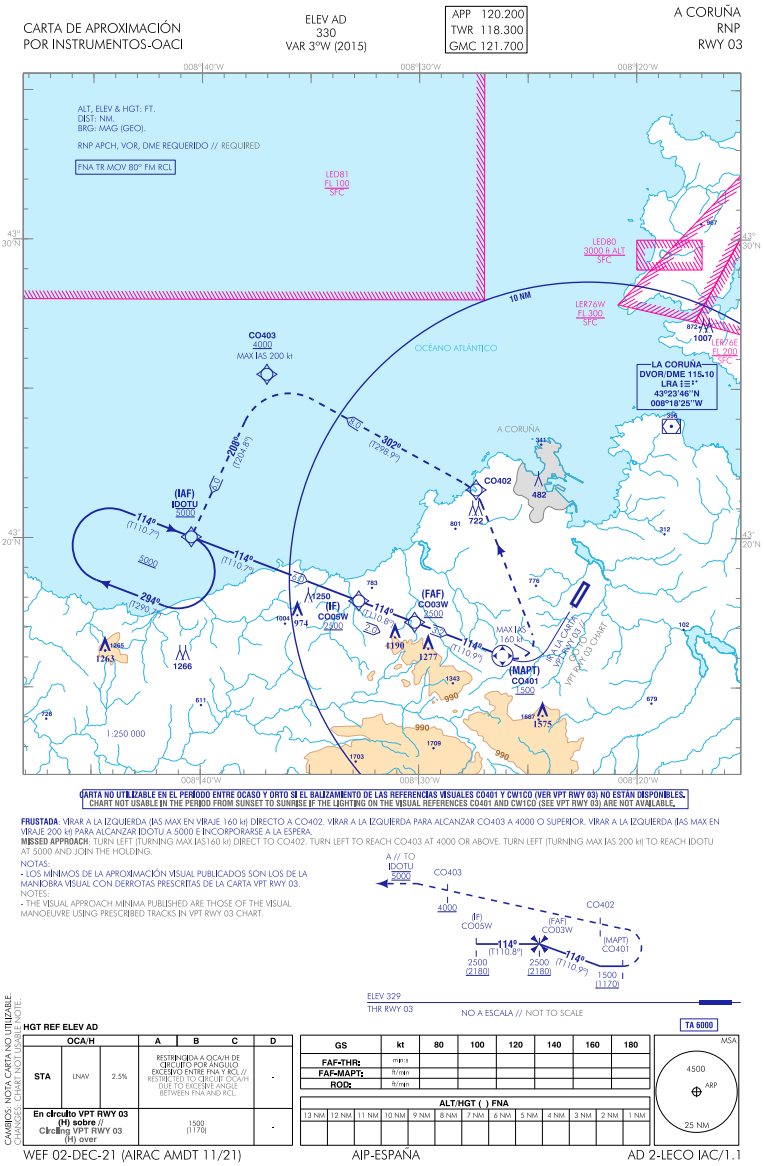
ENAIRE, en coordinación con Aena, incorporó una mejora en la operatividad del Aeropuerto de A Coruña al eliminar la restricción de uso exclusivo diurno de la maniobra basada en navegación por satélite a la pista 03 del aeropuerto, que se completa con una maniobra con trayectoria visual con derrota prescrita.

Al implantarse esta maniobra, en diciembre de 2019, se limitó su uso a las horas de sol debido a la falta de iluminación de algunas de las referencias visuales necesarias para llevar a cabo la maniobra con derrota prescrita.

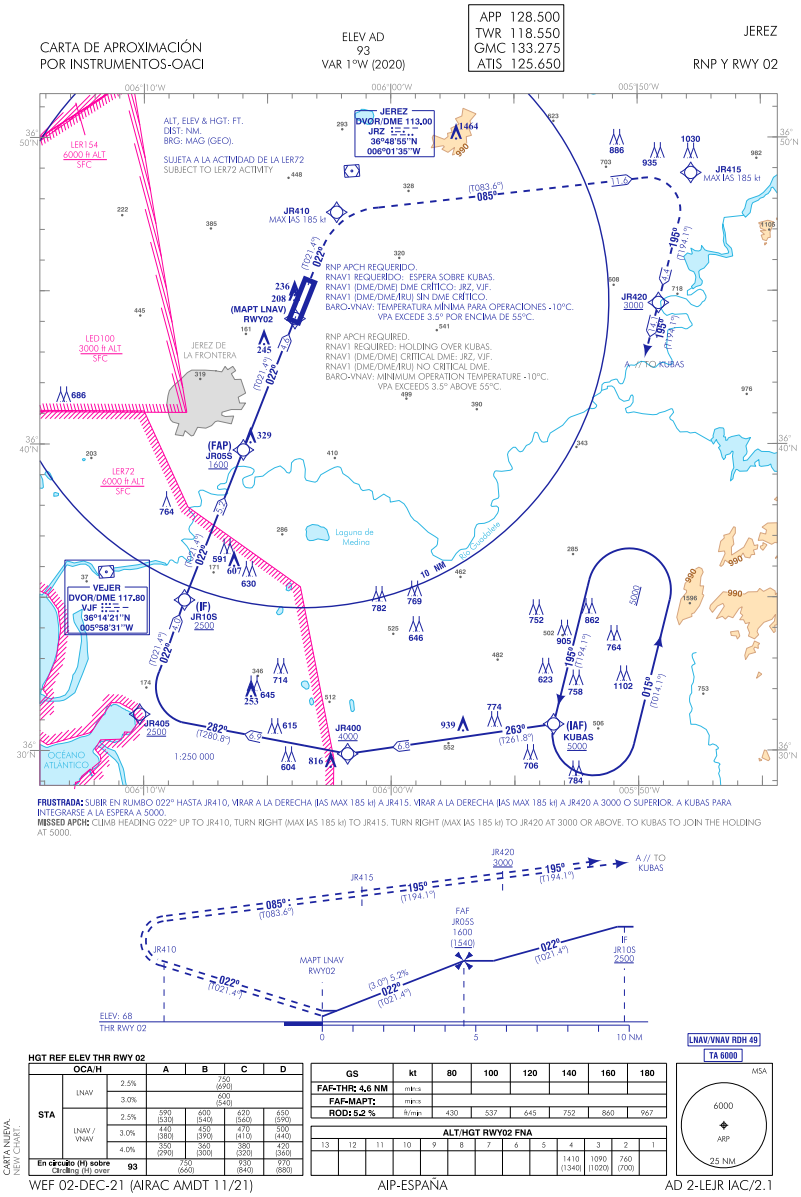
Gracias al balizamiento de estas referencias visuales instalado por Aena, ha sido posible la modificación de los términos del certificado de aeródromo, permitiendo las operaciones instrumentales en periodo nocturno a la pista 03 del aeropuerto.

Con esto, ENAIRE mejora la accesibilidad del aeropuerto, permitiendo la operación instrumental a la pista 03 del Aeropuerto de A Coruña también durante la noche y completar el aterrizaje siempre que se den las condiciones exigidas para llevar a cabo las maniobras.

Con respecto al Aeropuerto de Jerez, tenía, en la pista 02, un procedimiento instrumental de aproximación de no precisión basado en radioayudas VOR/DME. Ahora dispone de un nuevo procedimiento basado en satélite que mejora las prestaciones permitiendo el guiado vertical de las aeronaves en la fase final de la aproximación, acercando al umbral de la pista el punto donde el piloto debe decidir continuar o abortar el aterrizaje, lo que permite mejorar la continuidad de servicio del aeropuerto.



Carta de maniobra de aproximación satelital al Aeropuerto de A Coruña.



Carta de aproximación satelital y perfil de maniobra del Aeropuerto de Jerez.

Alejandro Muñiz Delgado

Controlador aéreo del Aeropuerto. Adolfo Suárez Madrid-Barajas.

Madrid-Barajas

Durante el World ATM Congress, celebrado en octubre, ENAIRE presentó el proyecto satelital GBAS para Madrid-Barajas. Bautizado con el nombre de MAGIC, que obedece a las siglas Madrid-Barajas Airport GBAS Implementation for CAT II/III ops, permitirá al aeropuerto operar con una señal de navegación aérea más precisa. GBAS se considera el futuro de las aproximaciones de precisión con altas necesidades de resiliencia. Concebida hace más de veinte años, GBAS es la tecnología terrestre que aumenta la señal GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite, en inglés,Global Navigation Satellite System) dotándola de una mayor integridad.

Aena será la encargada de implementar el sistema GBAS Categoría II/III en el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas mediante la adquisición e instalación de los equipos. De este modo, se refuerza la implantación de avanzadas ayudas de navegación aérea por satélite que permitirán realizar aproximaciones con mayor precisión y favorecerán la sostenibilidad. Con este equipamiento, Adolfo Suarez Madrid-Barajas se situará también entre los primeros aeropuertos del mundo en contar con este avanzado sistema, que maracá el futuro de las maniobras de aterrizaje de precisión.

Ficha electrónica en torre de control de Aeropuerto de Palma de Mallorca.

ENAIRE y Aena fueron pioneros de GBAS al poner en servicio las operaciones de GBAS CAT I en el Aeropuerto de Málaga Costa del Sol en 2014. Era el segundo aeropuerto en Europa con esta tecnología, cuarto en el mundo. Posteriormente se instalaron dos prototipos de GBAS CAT II/III en dos aeropuertos españoles dentro del marco de investigación industrial de SESAR.

Actualmente, ENAIRE y el Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas trabajan estrechamente para lograr las operaciones GBAS CAT III en este aeródromo, que podría convertirse en el primer escenario GBAS CAT III en el mundo.

Estos proyectos representan una mejora para aerolíneas y pasajeros al establecer nuevas opciones de llegada a los aeropuertos. Estas maniobras diseñadas por ENAIRE suponen una alternativa eficiente en coste frente a las aproximaciones convencionales, que se basan, en el uso de sistemas en tierra. En los próximos años se incorporarán el resto de los aeropuertos que aún no disponen de estos procedimientos, así como el resto de las cabeceras pendientes en los aeródromos que cuentan con estas maniobras en alguna de sus entradas y/o salidas.

Antena GBAS en el Aeropuerto de Málaga-Costa del Sol.

Alejandro Muñiz Delgado

Rutas satelitales en espacio aéreo superior

El diseño de estas rutas, como se ha indicado anteriormente, es flexible lo que permite una mayor adaptación a las necesidades de las aerolíneas. También se procura que sigan las rutas preexistentes de la navegación aérea convencional por seguridad de controladores aéreos y pilotos. ENAIRE trabaja para desplegar rutas aéreas en espacio aéreo que sigan este tipo de procedimientos basados en navegación por satélite. Es lo que se conoce como RNAV5 y permite llevar al espacio aéreo superior e inferior la navegación de área. Actualmente se dispone de navegación PBN en el nivel de vuelo 145 y superiores y, a partir de 2024, será en niveles inferiores.

Antes se prevén cambios en varias áreas de aproximación terminal (TMA en sus siglas en inglés) de Madrid y Barcelona, así como Tenerife Sur y Málaga que pasarán a ser RNAV1.

ENAIRE cuenta con proyectos planificados de RNAV1 para las principales áreas terminales de aproximación de nuestro país, que son las zonas donde el tráfico aéreo es más denso debido a su menor separación en las fases de aterrizaje y despegue. Entre ellos figuran

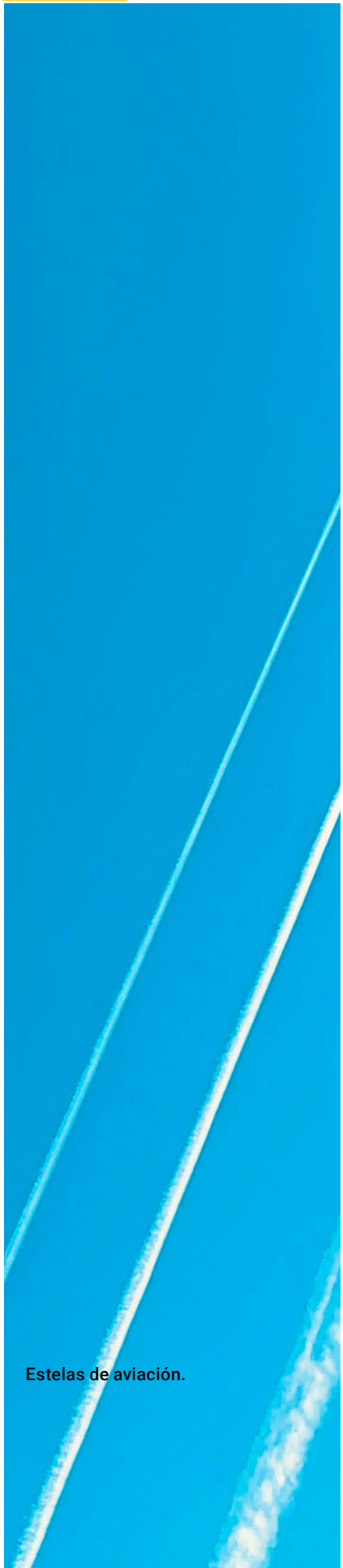
Presentación de la Estrategia Movilidad Mitma.

los proyectos de: Madrid (AMBAR, 2023), Barcelona (BRAIN, 2023), Málaga (MIDAS, 2023), Tenerife Sur (NIVARIA, 2023), y Alicante (AMELIA, 2025). Todas estas maniobras son sometidas a información pública con las entidades implicadas (ayuntamientos, aerolíneas, etc.) y pasan estudios de seguridad y evaluación de impacto ambiental por parte del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Una vez superadas estas fases e implementadas las mejoras que surjan, con los controladores aéreos formados, entran en vigor.

El concepto de espacio aéreo nacional de ENAIRE está definido en distintos planes acorde al Plan de Implementación de la Navegación PBN con el objetivo de reducir ineficiencias de rutas horizontales (por ejemplo, las rutas indirectas), consumo de combustible y emisión de CO_2.

Las medidas de espacio aéreo previstas para alcanzar esos objetivos incluyen:

- Nuevas rutas de tráfico aéreo directas y más eficientes.
- Uso flexible del espacio aéreo: zonas militares que son permanentes podrían ser utilizadas temporalmente.
- Segmentos de ruta directos e implementación de Free Route en el espacio aéreo, esto es, un volumen designado de espacio aéreo en el que los usuarios pueden planificar rutas de vuelo libremente entre puntos definidos (UDS), sin apenas restricciones y sin tener que ceñirse a la trayectoria de aerovías ni a segmentos directos predefinidos.
- Procedimientos de nuevas entradas y salidas más eficientes y de aproximación instrumental, acorde a los requisitos y demandas de los usuarios del espacio aéreo.



Estelas de aviación.

Alejandro Muñiz Delgado

- Llegadas y salidas alternativas para mantener la accesibilidad del aeropuerto por si fallara una ayuda de navegación terrestre.
- Clasificación del espacio aéreo optimizada, ya lograda en ruta, en 2019. Con proyectos de armonización de áreas de control (TMA y CTA).
- Implementación de aterrizajes en descenso continuo (CDA) en las principales áreas terminales de maniobras (TMA) en coordinación con los principales usuarios del espacio aéreo.
- Reducción de los tiempos de espera mediante aproximaciones paralelas independientes habilitadas por PBN (Madrid TMA) y transiciones habilitadas por PBN en aproximación final (Barcelona TMA).

El avance en el despliegue de la navegación por satélite en España, llevado a cabo por ENAIRE, permitirá a nuestro país situarse a la vanguardia de un transporte aéreo eficiente en línea con la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030, del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, aprobada por el Gobierno el pasado mes de diciembre.

La Estrategia está incluida en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) como una reforma del Componente 6 y su aprobación supone cumplir uno de los hitos pactados con la Comisión Europea para recibir 69 510 millones de euros en ayudas para impulsar y transformar la economía tras la Covid-19.

La Estrategia se basa en tres principios: seguridad, sostenibilidad y conectividad a los que ENAIRE contribuye de manera firme con el Plan de Implementación de PBN y el desarrollo de procedimientos satelitales tanto en aeropuertos como nuestro espacio aéreo. ■