



Vuelos más óptimos y eficientes gracias a la navegación por satélite

# Nuevos retos, nuevas soluciones

**El crecimiento del tráfico aéreo y la necesidad de un desarrollo sostenible exigen, cada vez con mayor intensidad, un uso más eficaz y eficiente del espacio aéreo disponible. Uno de los avances que hará posible esta armónica convivencia es la prestación de servicios de gestión del tránsito aéreo apoyada en el uso de la navegación basada en prestaciones (PBN). Gracias a este tipo de navegación, ENAIRE, gestor de la navegación aérea en España, puede diseñar rutas aéreas más flexibles y procedimientos de aproximación adecuados a trayectorias más óptimas para los vuelos.**

■ *Texto: ANA BODERO ALONSO, jefa del Departamento de Navegación por Satélite de ENAIRE / JAVIER DE ANDRÉS DÍAZ, ingeniero experto en GNSS*



## La PBN abre

no solo un camino hacia la capacidad, eficiencia operacional y la sostenibilidad medioambiental, sino que va acompañada también de una mejora en la seguridad del transporte aéreo. Tanto es así que la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha identificado la implantación de la Navegación Basada en Prestaciones como la mejor forma de hacer frente al aumento del tráfico aéreo, manteniendo la eficiencia de los vuelos, aumentando la seguridad del transporte aéreo y protegiendo el medio ambiente.

### Crecimiento del tráfico y desarrollo sostenible

El pasado año 2019 ENAIRE superó los 2,1 millones de vuelos gestionados. El tráfico aéreo continúa creciendo, pero a un

ritmo menor que en meses pasados. Esta previsión de crecimiento del tráfico aéreo es afrontada con el doble enfoque de, por un lado, gestionar el incremento de capacidad y, por otro, tratar de minimizar el impacto generado sobre el medio ambiente.

ENAIRE está comprometida a favorecer y apoyar un desarrollo sostenible a nivel global, manteniendo un equilibrio entre todos los actores implicados: medio ambiente, sociedad y desarrollo económico. Para lograr este objetivo, mantiene un espíritu de innovación continua en la gestión del espacio aéreo y sistemas que lo soportan; participando en numerosos proyectos internacionales de investigación y desarrollo de los futuros sistemas y servicios CNS (de comunicaciones, navegación y vigilancia) y ATM (de gestión del tránsito aéreo).

Como resultado de esta estrategia, ENAIRE se ha convertido en pionera en la implantación de sistemas de navegación aérea por satélite y está llevando a cabo un ambicioso plan de implantación de la navegación basada en prestaciones (PBN), que conllevará numerosos beneficios. No obstante, 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 a este nuevo escenario operativo.

### ¿Cómo se gestiona el tráfico aéreo?

La gestión del tránsito aéreo (ATM) se basa en un diseño previo del espacio aéreo (ASM) mediante la creación de estructuras que incluyen una sectorización y unas rutas aéreas optimizadas. Luego,





**ENAIRE es pionera en la implantación de sistemas de navegación por satélite: nueve aeropuertos españoles disponen de maniobras satelitales diseñadas por ENAIRE**

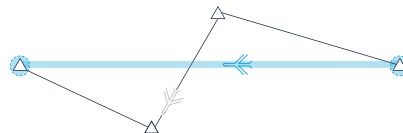
como parte de los servicios de tránsito aéreo (ATS), los controladores aéreos utilizan directamente estas estructuras para prestar un servicio de control de tráfico aéreo (ATC). Mediante este servicio, las aeronaves son vigiladas y dirigidas para mantener continuamente una separación segura entre las mismas, integrarlas en el tráfico y mantener desde el inicio de los vuelos hasta su finalización, teniendo en cuenta las condiciones del tránsito y del entorno, y atendiendo a sus planes de vuelo y preferencias operacionales.

**¿Qué es PBN?**

En lo que respecta a la PBN, se entiende mejor el concepto y sus ventajas al explicar antes la navegación convencional en aviación. La navegación aérea convencional se basa en esencia en volar directamente de una radioayuda a otra. Estas radioayudas, como 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

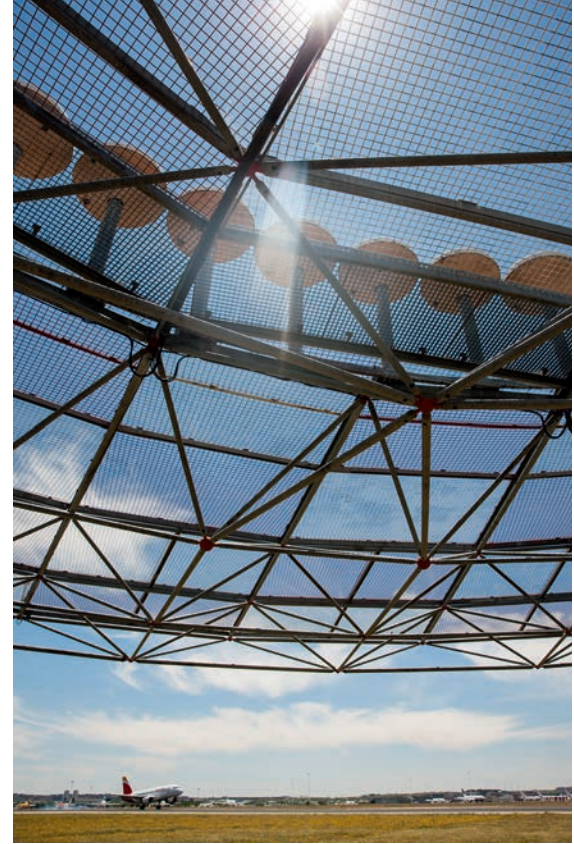
relativa. Con esta información, y sin cargar en exceso el trabajo de los pilotos, las aeronaves navegan dirigiéndose de una radioayuda a otra. Podría decirse que la unión de las radioayudas forma las aerovías en el aire.

Con la navegación convencional, las opciones de rutas posibles están fuertemente restringidas por la red terrestre de instalaciones de radioayudas existentes. Para superar estas restricciones, el método de navegación que se está implantando hoy en día, de forma global y coordinada internacionalmente, es la llamada "navegación de área", también conocida por el término RNAV. Este método de navegación permite a las aeronaves volar en cualquier rumbo deseado. Su desarrollo ha sido posible gracias a la evolución de los sistemas de navegación y equipos embarcados que ahora permiten en todo momento conocer la posición de la aeronave respecto a la Tierra, y no solo respecto al emplazamiento de las radioayudas.



Navegación convencional vs de área (azul)

Con la navegación de área (RNAV) se puede conocer el posicionamiento de la aeronave respecto de la Tierra y respecto del terreno circundante, y esto ayuda a mejorar la conciencia situacional, lo que redundará en una mejora en la seguridad operacional. Volviendo a la flexibilidad para diseñar rutas y procedimientos, en la navegación de área, el grado de flexibilidad dependerá de la precisión con la que se conozca la posición de la aeronave, y la certeza sobre lo correcto de dicha posición. Además, la probabilidad de que este posiciona-

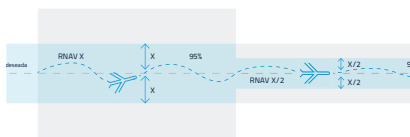


miento esté listo para usarse en cualquier momento, y el riesgo de que en algún momento deje de estar disponible, deben ser adecuados para que sea utilizable. Estas cuatro características, denominadas precisión, integridad, disponibilidad y continuidad, definen las prestaciones del sistema de navegación.

Con todo esto, la navegación de área da la flexibilidad de poder definir cualquier ruta para volar de un lugar a otro. Las prestaciones de navegación que se requieran para volar esas rutas serán determinantes, en un espacio aéreo particular, para precisar la distancia mínima de separación entre ellas y con los obstáculos del terreno.

Varios sistemas de navegación pueden cumplir con las prestaciones requeridas para volar una determinada ruta. El concepto de navegación basada en prestaciones (PBN) le añade, a la navegación de área, el requisito de tener que cumplir con un determinado nivel de prestaciones, con independencia del sensor empleado para hacerlo. En PBN se definen los valores mínimos

de precisión, integridad, disponibilidad y continuidad que debe cumplir el sistema de navegación que se use durante el vuelo de una ruta o procedimiento de aproximación, sin determinar un sistema de navegación específico. Cualquier sistema que permita guiar a la aeronave en esas trayectorias, cumpliendo dichos requisitos de navegación (prestaciones), puede ser usado. El concepto PBN es, por lo tanto, lo opuesto a tener que usar un sensor embarcado específico (asociado a una radioayuda determinada, por ejemplo) para cada tramo de la ruta a seguir, es decir, la navegación convencional.

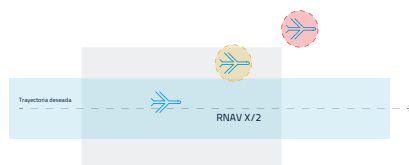


Desviaciones esperadas en PBN.

De cualquier forma, cuando el concepto PBN se aplica a una operación y un espacio aéreo concreto, se identifican las opciones de sistemas de navegación que podrían ser usados para cumplir con las prestaciones de navegación requeridas para dicha operación.

Dentro del concepto PBN se diferencian 2 tipos de especificaciones. Por un lado, aquellas para las que se requiere un nivel de

confianza en el posicionamiento respecto a la ruta prefijada, es decir, un nivel de integridad; se denominan especificaciones RNP. Y, por otro lado, aquellas para las cuales no se especifica ningún nivel de integridad y se denominan RNAV. Esto se traduce en que en los sistemas RNP el equipo de a bordo vigila en todo momento el nivel de integridad en el posicionamiento del sistema y alerta al piloto si no es el adecuado para la operación en curso o que se va a efectuar.



Alerta con sistemas RNP.

Es por ello que la seguridad mejora especialmente con el uso de rutas y operaciones RNP, pues los pilotos son alertados si las prestaciones del sistema de navegación dejan de garantizar que no se sobrepasa el máximo error de navegación aceptable en dicha ruta u operación. Otra diferencia entre las rutas y procedimientos de aproximación de tipo RNAV y de tipo RNP es que mientras ambas permiten tramos rectos, solo las de tipo RNP pueden incluir tramos curvos (que son de radio fijo, es decir,

arcos de circunferencia), que son volados con la misma precisión que los tramos rectos. El uso conjunto de estos tramos rectos y curvos de radio fijo facilita la definición de trayectorias más precisas, a las que las aeronaves se ajustarán con gran exactitud cada vez que las vuelen.

El concepto PBN es además aplicable a todas las fases de vuelo, desde ruta hasta aproximaciones de precisión. Se podría decir que, dejando a un lado las limitaciones impuestas por el entorno (orografía, áreas pobladas a evitar sobrevuelo por ruido, etc.), las únicas restricciones en el diseño de estas rutas o procedimientos PBN son las determinadas por la propia maniobrabilidad y dinámica de las aeronaves.

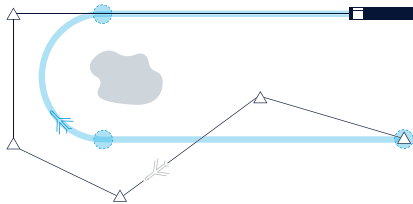
Dependiendo de los servicios de navegación disponibles (sistemas de navegación) y la capacidad de las aeronaves (que depende de los sensores y sistemas de guiado embarcados) que vuelan en un determinado espacio aéreo, se definirán rutas y operaciones RNAV o RNP, con unas prestaciones más o menos exigentes.

### Trayectorias óptimas

Si algo caracteriza al concepto PBN es la flexibilidad para diseñar rutas y procedimientos de aproximación por instrumentos optimizados. Los planificadores



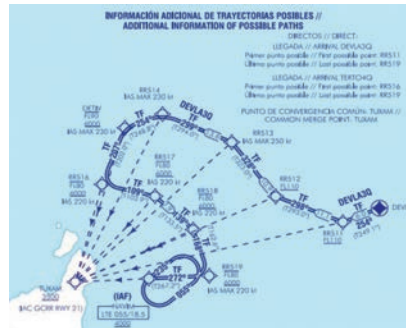
del espacio aéreo, junto con los diseñadores de procedimientos, estudian el entorno e identifican los servicios de navegación disponibles para decidir qué tipo de rutas o aproximaciones PBN serían las más adecuadas, pues eso determinará el necesario espaciado entre rutas y la separación mínima entre aeronaves (en particular en zonas sin vigilancia ATC), y el criterio de distancia libre a los obstáculos del terreno. Las posibilidades en la mejora de la eficiencia operacional son evidentes, pues al poder elegir cualquier trayectoria, al no tener que volar de radioayuda en radioayuda, se puede volar directamente desde cualquier punto al siguiente punto deseado, es decir, siguiendo la trayectoria más corta.



Aproximación más directa con RNP (azul).

En la mejora de capacidad hay que destacar que PBN está permitiendo diseñar procedimientos de aproximación por instrumentos donde antes no era posible, por ejemplo, debido a la mala orografía del terreno o la imposibilidad de instalar radioayudas terrestres. En estos aeropuertos, o cabeceras de pistas de aterrizaje, donde solo se podía acceder siguiendo procedimientos de vuelo visual, es decir, usando referencias visuales, la disponibilidad dependía fuertemente de las condiciones climatológicas. Este es el caso de la cabecera 03 del Aeropuerto de A Coruña, que en diciembre pasado estrenaba maniobra GPS diseñada por ENAIRE para minimizar los desvíos en caso de niebla.

En aeropuertos con tráfico elevado, PBN permite diseñar estructuras de rutas de llegada que mejoran la eficiencia operacional en todo momento, tanto en periodos de tráfico alto como de tráfico bajo, gracias a que facilitan la labor de los controladores en la integración y secuenciación del tráfico para el aterrizaje. Así, por ejemplo, en las Islas Canarias, concretamente en Lanzarote y Fuerteventura, ENAIRE ha implantado, en el área terminal, rutas que permiten aplicar la técnica de "pointmerge" (punto de convergencia).



Estructura PBN para pointmerge.

Y, en Barcelona, ENAIRE ha publicado procedimientos de aproximación mediante "trombones", denominados así por la similitud entre las trayectorias que siguen los aviones y la forma y posiciones del tubo móvil de un trombón. Estas trayectorias se alargan o acortan para crear una secuencia de vuelos a la pista de aterrizaje con una separación adecuada entre ellos.



Estructura en trombón Proyecto BRAIN - ENAIRE.

Ambas técnicas, el "pointmerge" y los "trombones", reducen la carga de trabajo del controlador aéreo para la gestión del tráfico en aproximación, lo que se traduce en la capacidad de gestionar más tráfico. Pero, además, en todo momento las distancias voladas por las aeronaves se reducen al mínimo necesario para que esta ordenación en el aterrizaje se efectúe asegurando que las separaciones mínimas entre aeronaves se respetan, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y una menor emisión de CO<sub>2</sub>.

## PBN con navegación por satélite

Las prestaciones de navegación requeridas para operaciones PBN, sean de tipo RNAV o de tipo RNP, y más o menos exigentes, se alcanzan gracias a una combinación de las ayudas a la navegación disponibles en un determinado espacio aéreo y el equipamiento de navegación a bordo de las aeronaves.

La navegación por satélite es un elemento fundamental para la implantación de la PBN, pues es el único sistema de ayuda a la navegación que soporta las operaciones PBN en todas las fases de vuelo, tanto en ruta oceánica como en aproximaciones de precisión. Además, no requiere una infraestructura terrestre allí donde se vaya a utilizar, pues en el sistema de navegación por satélite (GNSS) las señales de navegación son transmitidas desde satélites que orbitan la Tierra. La excepción es el sistema GBAS (Ground-Based Augmentation System), el elemento de "aumentación" GNSS que soporta las aproximaciones de precisión más exigentes, y que debe estar emplazado en el aeropuerto donde se efectúan dichas aproximaciones.



Los sistemas GNSS se basan en las señales de radiofrecuencia transmitidas por las llamadas constelaciones básicas, una de las cuales es el famoso GPS. A ésta se le están sumando otras, como la constelación europea Galileo.

Para que estas constelaciones GNSS soporten todas estas operaciones PBN, necesitan ser usadas junto a los llamados sistemas de "aumentación" GNSS, gracias a los cuales se alcanzan las prestaciones de precisión, integridad, disponibilidad y continuidad requeridas. Actualmente se usan 3 sistemas de "aumentación" GNSS, los sistemas ABAS, SBAS y GBAS. Las características de espacio aéreo en el que están disponibles, y las operaciones que soportan, los hacen en cierta medida complementarios.

ENAIRE es pionera en la implantación de sistemas de navegación por satélite gracias a su amplia experiencia en la provisión de servicios de navegación convencional. Somos el segundo proveedor de Europa y el cuarto a nivel mundial que ha puesto al servicio de compañías aéreas, pilotos y gestores aeroportuarios la tecnología GBAS, que guía a las aeronaves con máxima precisión en la fase de aproximación final al aeropuerto.

ENAIRE alberga y opera, para el proveedor de servicio de navegación por satélite europeo ESSP, uno de los dos únicos centros de control europeos de EGNOS, el sistema europeo de aumentación basado en satélite (SBAS), así como cinco estaciones de monitorización de integridad de este sistema ubicadas en territorio español.

### Implantación y transición a PBN

La implantación de PBN por parte de ENAIRE conlleva la publica-

ción de procedimientos de vuelo en el espacio aéreo, y debe considerar la infraestructura CNS/ATM disponible y el equipamiento de navegación a bordo de las aeronaves. Es por ello que se requiere de un plan de transición compartido por todas las partes implicadas, considerando en particular que, durante un cierto tiempo, hasta el año 2030, habrá

un tráfico aéreo mixto convencional-PBN.

Con el fin de aprovechar todas estas ventajas y mejorar el rendimiento de la red europea de gestión del tránsito aéreo, es necesario establecer requisitos de utilización del espacio aéreo y procedimientos operativos armonizados relativos a la navegación basada en prestaciones. ■

## Aplicación de la PBN en Europa

En Europa se espera que la aplicación de la PBN, en las áreas terminales de control de alta densidad, permita mejorar la eficiencia y precisión de la trayectoria de aproximación de las aeronaves y facilite la secuenciación del tránsito aéreo con mayor anticipación. Esto reduce el consumo de combustible y disminuye el impacto medioambiental de las fases de descenso y llegada, así como en las salidas de las aeronaves. Del mismo modo, posibilita la aproximación con guiado vertical a cabeceras de pista que hoy carecen de dicha funcionalidad, mejorando la seguridad de las operaciones y accesibilidad a aeropuertos en condiciones de meteorología adversa por baja visibilidad.

La Comisión Europea ha publicado dos regulaciones para la implantación de la PBN en varias fases: la regulación PCP (Regulation (EU) 716/2014) y la regulación PBN (Regulation (EU) 2018/1048). Para dar cumplimiento a ambos reglamentos, ENAIRE ha desarrollado un plan de implantación y transición PBN en el que se describen los cambios propuestos en el espacio aéreo para asegurar el cumplimiento de estas regulaciones. Este Plan, actualmente en fase de consulta, podría estar aprobado por la autoridad aeronáutica nacional (AESA) durante el transcurso del 2020.

