

Beneficios de la **vigilancia** **ADS-B** en España



ENAIRE está extendiendo, de forma paulatina, por toda la geografía española estaciones de vigilancia dependiente automática, sistema denominado ADS-B, por sus siglas en inglés. Se trata de una tecnología de vigilancia de la posición de los aviones, donde estos emiten una señal que es captada por receptores en tierra o satélites, lo que permite llevar a cabo su seguimiento. Estas actuaciones de modernización del espacio aéreo dan cumplimiento al Reglamento Europeo (UE) 1207/2011 y a sus posteriores modificaciones que son supervisadas por el SESAR Deployment Manager.

- **Texto: Alejandro Muñoz Delgado,** periodista de ENAIRE

ENAIRE es pionera a nivel mundial por dirigir su I+D+i hacia una vigilancia que permita utilizar los sistemas de vigilancia de tráfico aéreo más avanzados, como ADS-B y los radares Modo S (Modo Selectivo), según las necesidades específicas de cada caso.

Con la introducción generalizada de sistemas ADS-B, ENAIRE dota

de vigilancia a zonas no cubiertas con sistemas de vigilancia de otra índole y complementa la cobertura existente al optimizar la red de vigilancia desde el punto de vista económico, medioambiental y de calidad del servicio.

El Modo S complementa la vigilancia tradicional radar y permite una mejor identificación de los tráficos, reduce la congestión radioeléctrica y ofrece información adicional al control del tráfico aéreo relativo a la intención a corto plazo de las aeronaves. El Modo S, de Modo Selectivo, es una extensión del legado radar de vigilancia secundario (SSR), tal y como se describe en el Anexo 10, de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), Volumen IV, que utiliza un direccionamiento selectivo para interrogar aeronaves y transmitir información aérea como la Identificación de la Aeronave (distintivo de llamada, ID de vuelo o marca de matrícula) desde la aeronave hasta tierra para tener una correlación directa con el plan de vuelo en tierra.

Todas las aeronaves sujetas al requisito deben incorporar un Transpondedor Modo S y una función de identificación de la aeronave para permitir que la tripulación de vuelo establezca la identificación de la aeronave, comúnmente conocida como ID de vuelo, para su transmisión por el transpondedor.

En las zonas oceánicas ENAIRE ofrece un servicio de vigilancia ADS-C, basada en tecnología FANS (Future Air Navigation Systems), que permite monitorizar el tráfico gracias al enlace de datos vía satélite donde un sistema de aviónica conecta al piloto y al controlador aéreo. Estas comunicaciones incluyen autorizaciones de control de tráfico y solicitudes de pilotos, así como informes de posición.

Así vieron los controladores el primer vuelo con ADS-B en Granada.



ADS-B (Automatic Dependant Surveillance Broadcast) es una tecnología de vigilancia cooperativa en la que un avión determina su posición, calculada principalmente a través de la navegación por satélite, y la emite periódicamente, siendo recibida por las estaciones ADS-B y transmitida al sistema automatizado de control de tráfico aéreo SACTA-iTEC para el seguimiento de las aeronaves. Esto se transmite en intervalos cortos mediante un enlace de datos en el espectro de radiofrecuencia.

ADS-B es automático porque no requiere ningún estímulo externo, y es dependiente porque depende de sistemas a bordo para proporcionar información de vigilancia a otras partes. Finalmente, los datos se difunden, la fuente de origen no tiene conocimiento de quién recibe los datos y no hay interrogatorio ni contrato bidireccional (es una emisión de tipo *broadcast*). Por el contrario, una aeronave puede equiparse con un receptor-procesador ADS-B para mostrar al piloto las transmisiones ADS-B detectadas desde otras aeronaves.

Con ADS-B se proporciona visibilidad rentable en tiempo real al control del tráfico aéreo y a otras aeronaves equipadas con ADS-B con datos de posición y velocidad transmitidos periódicamente. En entornos de alta complejidad, como el espacio aéreo de la UE, se



Vuelo con señal ADS-B.



Indicativo de vuelo equipado con ADS-B.

prevé que ADS-B opere junto con cadenas cooperativas independientes existentes, mejorando en gran medida la precisión, la disponibilidad de datos y reduciendo la carga de frecuencia.

El Reglamento de Ejecución Europeo EU1207/2011 obliga a las aeronaves a estar equipadas con transpondedores ADS-B o, en casos debidamente autorizados, que lo estén antes de que termine

el año 2023. Por su bajo coste, su mínimo impacto ambiental y electromagnético, así como por los beneficios que aporta, el sistema ADS-B es la elección idónea para proveer cobertura de vigilancia en ciertos emplazamientos.

ENAIRE cuenta con una red de sistemas de vigilancia para ruta, aeródromo y superficie para la detección de aeronaves, la determinación de su posición y la transmi-

sión de estos datos al controlador, cubriendo la totalidad del espacio aéreo español:

- **PSR** (Primary Surveillance Radar): permite la detección de blancos no cooperativos en entornos de ruta y TMA.
- **SSR** (Secondary Surveillance Radar): permite la detección de blancos cooperativos en entornos de ruta y TMA, incluyendo el Modo S.
- **SMR** (Surface Movement Radar): permite la detección de blancos no cooperativos en entornos aeroportuarios.
- **MLAT** (Multilateration Systems): permite la detección de blancos cooperativos en entornos de TMA (WAM) y entornos aeroportuarios.
- **ADS-C** (Automatic Dependant Surveillance Contract): vigilancia dependiente automática por contrato.
- **ADS-B** (Automatic Dependant Surveillance Broadcast): vigilancia dependiente automática por radiodifusión.

Con esta avanzada infraestructura, ENAIRE presta los siguientes servicios certificados:

- Provisión de datos a partir del radar de vigilancia primario (PSR).
- Provisión de datos a partir del radar de vigilancia secundario (SSR). Modo A/C y Modo S.
- Provisión de datos a partir del radar de superficie (SMR).
- Provisión de datos a partir de sistemas de multilateración (MLAT).
- Provisión de datos a partir de Automatic Dependant Surveillance (ADS). ADS-C y ADS-B.

Entre los objetivos del programa de implementación de la vigilancia ADS-B en España están:

- Bajar las altitudes de cobertura en las proximidades de los aeropuertos.

- Cubrir la superficie de aeropuertos y áreas oceánicas.
- Ofrecer soluciones a los gestores aeroportuarios y otros clientes.
- Reducir la dependencia de otros proveedores.
- A largo plazo, racionalizar la red de vigilancia.

Implantación en España

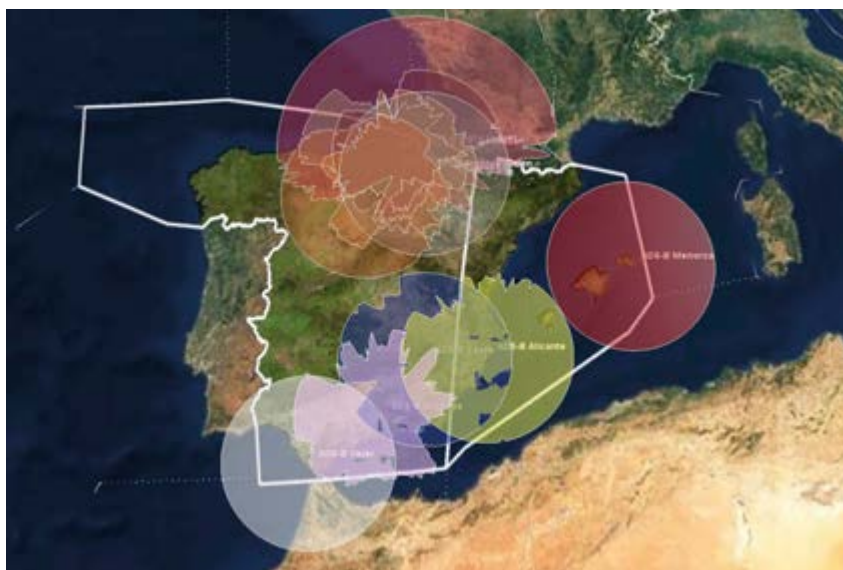
Con objeto de cumplir la regulación europea y satisfacer los requerimientos de sus usuarios, ENAIRE tiene en marcha un Plan de despliegue ADS-B que contempla la instalación de sensores en emplazamientos estratégicos de todo el territorio nacional.

Las primeras estaciones se han instalado en Alicante, Granada y Menorca, para las cuales ENAIRE ha aportado las evidencias y la documentación necesaria para certificarse como proveedor de servicios ADS-B. La obtención del certificado, en diciembre de 2021, como proveedor de servicios ADS-B supuso un importante hito para ENAIRE dado que, una vez termine el proceso de integración de la señal ADS-B en el sistema SACTA para el control del tráfico aéreo, se procederá a la puesta en servicio operativa de la ADS-B de forma progresiva en las distintas dependencias.

Además de las estaciones ADS-B independientes, los datos ADS-B también estarán disponibles desde radares Modo S y sistemas de multilateración (MLAT). Actualmente, ENAIRE tiene estaciones disponibles en los siguientes lugares: Madrid (distintas ubicaciones con banco de pruebas, monitoreo y grabación); aeropuertos de Alicante-Elche, Federico García Lorca Granada-Jaén, Menorca, Vitoria, Burgos, San Sebastián y Bilbao, así como en Vejer de la Frontera, Yeste, Cabo Higuer, Monte del Perdón y



Alcance de la cobertura con ADS-B en Vitoria.



Cobertura ADS-B esperada a final de 2023.

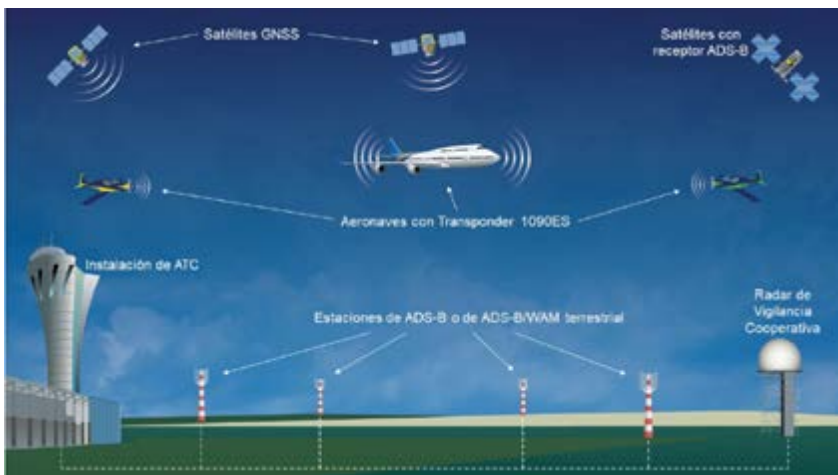
Galicia, junto a una estación móvil de ADS-B.

En el Complejo Radioeléctrico de Monte del Perdón, en Pamplona, mediante la instalación de un sistema ADS-B en el entorno del aeropuerto de Pamplona, se da cobertura de vigilancia a los procedimientos de aproximación al aeropuerto de Pamplona, al mismo tiempo que se complementa la cobertura de vigilancia existente en ruta mitigando los efectos en caso de que algún radar próximo existente pase fuera de servicio temporalmente, cubriéndose las faltas de coberturas de radares de ENAIRE a diferentes niveles, que antes solo se cubrían con radares

de terceros, (radares militares y radar francés de Biarritz). Adicionalmente se aportará cobertura de vigilancia a la superficie del aeropuerto. Es el mismo caso de los aeropuertos de Bilbao y San Sebastián.

Caso de Vitoria

En Vitoria, a niveles bajos de aproximación no se disponía de información de vigilancia radar en su espacio aéreo controlado. La incorporación de un sensor ADS-B en Vitoria y otro en Burgos, en sus respectivas torres de control, ha ayudado a suplir esta carencia en los aterrizajes y salidas en el aeropuerto de Álava y a mejorar el



Funcionamiento de la tecnología ADS-B.



Controlador aéreo en la torre de control de Tenerife Norte.

servicio prestado a los vuelos que operan en Burgos.

Con este sistema se mejora la vigilancia aérea dotando de cobertura a zonas no cubiertas por otros sensores, o complementando y reforzando la cobertura ya existente, con inversiones mucho menores a las requeridas por otros sistemas alternativos y con mínimo impacto ambiental y electromagnético.

La puesta en servicio de las estaciones ADS-B de Vitoria y Burgos constituyó un hito importante en la introducción de ADS-B en España por su contribución al Plan

Vitoria, con el que se ha pretendido mejorar la operativa en la zona. Además, coincide con los últimos pasos del proceso de integración de la señal ADS-B en el sistema SACTA para el control del tráfico aéreo, que estaba planificado para el año 2023. Una vez que finalizó la integración, se procedió a la puesta en servicio operativa de la ADS-B de forma progresiva en las distintas instalaciones.

Siguientes desarrollos

Las siguientes estaciones se pondrán para mejorar la cobertura del

sur peninsular en Córdoba, Sevilla, Almería, así como en Ceuta, Melilla y el Estrecho de Gibraltar.

En Canarias también está prevista su colocación mediante acuerdos con terceros y otras instituciones, en Malpaso (El Hierro), Roque de los Muchachos (La Palma), Igualero (La Gomera), Fagundo (Tenerife), Pico de la Gorra (Gran Canaria), Pico Yaiza (Lanzarote), y en el Aeropuerto de Nuadibú, en Mauritania, con el proveedor de navegación aérea ASECNA, para disponer de cobertura ADS-B en parte del sector Oceánico de la Región de Información de Vuelo de Canarias (FIR). Esta zona del Atlántico Sur está cubierta actualmente por vigilancia radar y, en el futuro, gracias a estas estaciones, tendrá ADS-B.

La inversión de ENAIRE en sistemas ADS-B en los próximos años contribuirá a los objetivos del Plan Estratégico de ENAIRE, Plan de Vuelo 2025 y a aumentar la eficiencia, la sostenibilidad ambiental, la calidad de los servicios y a la recuperación del sector de la aviación.

ADS-B Satelital

Los sistemas de comunicación y vigilancia se basan principalmente en tierra, lo que significa que en el espacio aéreo remoto y oceánico existe una provisión limitada de los servicios correspondientes, lo que está afectando gravemente a la capacidad del espacio aéreo y la eficiencia de los vuelos. El cambio a las tecnologías espaciales es un salto fundamental hacia el futuro de la aviación sostenible que permite reducir la separación entre las aeronaves, aumentar la flexibilidad del uso del espacio aéreo, romper el preestablecimiento de las rutas aéreas y así generar fuertes beneficios económicos, ambientales, de seguridad y operativos.



Avión aterriza en el Aeropuerto de Tenerife Sur.

En este sentido, los sistemas de vigilancia y comunicación VHF basados en satélites otorgarán una solución de cobertura global de alto rendimiento que es clave para afrontar los retos futuros de la aviación en términos de emisiones, capacidad y eficiencia, al tiempo que proporcionan la flexibilidad requerida por los usuarios para hacer una aviación sostenible a largo plazo, por ejemplo, habilitando el concepto de rutas preferidas por el usuario en áreas oceánicas.

Los sectores oceánicos tendrán ADS-C con servicio de enlace de datos y el futuro sistema de navegación aérea (CPDLC-FANS) y, potencialmente cobertura satelital ADS-B que será desarrollada a través de Startical, una *joint-venture* de ENAIRE e Indra que lanzará una constelación de satélites específicamente diseñada para la gestión del tráfico aéreo. Startical proporcionará servicios basados en satélite de comunicaciones VHF (voz y datos) y de vigilancia ADS-B con cobertura global, clave para reducir la separación de aeronaves en áreas oceánicas y continentales remotas, reduciendo así los estándares de separación, aumentando la eficiencia y la capacidad, al tiempo que reforzará el nivel de seguridad requerido. Además, servirá como respaldo para las áreas continentales. Startical no requerirá ningún cambio en la aviónica, y los pilotos

y controladores aéreos no necesitarán formación adicional, de hecho, los datos ADS-B y VHF serán procesados por los actuales sistemas de control de tráfico aéreo sin modificaciones.

ENAIRE, en nombre de SATMA, la Agencia de la OACI que monitoriza el Atlántico Sur, realizó en 2021 un análisis del corredor EUR/SAM. El corredor EUR/SAM cubre las rutas entre Europa y América del Sur atravesando las Regiones de Información (FIR/UIR) de Atlántico, Dakar Oceanic, Sal Oceanic y Canarias.

Como proveedor de servicios de navegación aérea responsable de los servicios de control de tráfico (ATS) en Canarias, ENAIRE supervisa mensualmente el sistema futuro de navegación aérea, FANS 1/A, en el espacio aéreo de Canarias. El análisis arrojó que casi el 80 % (79,69 %) del total de vuelos dentro del Corredor EUR/SAM se conectaron al Sistema Tierra FANS de ENAIRE.

Financiación europea

La instalación de esta tecnología ha sido financiada dentro del marco de la convocatoria de los fondos CEF (Connecting Europe Facility) de 2017 de la Comisión Europea bajo el título de "Despliegue de ADS-B en el Bloque Funcional de Espacio Aéreo del Suroeste", para España y Portugal, con ENAIRE

como coordinador y NAV Portugal. Su presupuesto estimado es de 9,3 millones de euros y ha contado con un plazo de ejecución de 2018 a 2023, gestionado a través de la Agencia Ejecutiva Europea sobre Clima, Infraestructuras y Medio Ambiente (CINEA). Esto ha permitido su gestión, coordinación y validación de las actividades, así como la integración de la vigilancia ADS-B en el sistema de control de tráfico aéreo, la certificación para proveer servicios ADS-B para el control aéreo y el despliegue de nuevas estaciones ADS-B.

A petición de la Comisión Europea, SESAR Deployment Manager, con el apoyo de EUROCONTROL, ha coordinado y supervisado la planificación e implementación de ADS-B en la UE desde 2018. Tras una intensa campaña de implementación emprendida por los operadores aéreos, en la primavera de 2021 la tasa de instalación alcanzó el 85 %. Para salvaguardar un despliegue armonizado y coordinado, en 2021 SESAR Deployment Manager orientó el enfoque de monitoreo en el dominio del proveedor de servicios de navegación aérea, en forma de una serie de visitas virtuales específicas y entrevistas con varios ANSP que demostraron haber logrado avances sustanciales en la implementación de ADS-B como tecnología de vigilancia ATC.

Aviación General

ENAIRE apoya firmemente la Aviación General con el objetivo de mejorar la seguridad operativa. Existen diferentes iniciativas europeas para promover procedimientos y sistemas para mejorar el conocimiento situacional de los pilotos. La Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) ha establecido los requisitos de las Reglas Estanda-



Paneles de Airbus en cabina. EUROCONTROL.

rizadas del Aire, recogidas en el SERA (AMC/GM a SERA.6005(c)) para todas las aeronaves pilotadas que operan en U-space donde no se proporcionan servicios ATC y deben ser visibles electrónicamente para todos los proveedores de servicios U-Space.

El proyecto EASA iConspicuity busca una “capacidad en vuelo” para transmitir la posición y/o recibir, procesar y mostrar información sobre otras aeronaves, espacio aéreo o clima en tiempo real con el objetivo de mejorar la conciencia situacional de los pilotos, y está facilitado por ADS-B con tecnología certificada instalada a bordo bajo los estándares de la OACI.

Hito en Granada

El pasado mes de octubre, en el marco de la Presidencia española del Consejo, con la celebración de la cumbre de la Comunidad Política Europea (CPE) y la de jefes de Estado o de Gobierno, ENAIRE integró la información de vigilancia ADS-B en las pantallas de los controladores aéreos de la torre de control del Aeropuerto Federico García Lorca Granada-Jaén.

La activación, el 28 de septiembre, permitió una mejor cobertura de vigilancia de todos los vuelos desde la torre del aeropuerto. Un total de 75 aeronaves del Estado y delegaciones aterrizaron y despegaron, con motivo de la cumbre, en Granada y Málaga, haciéndolo

la mayoría en la pista de Chau-china con este nuevo servicio de ENAIRE. Los controladores aéreos de ENAIRE disponían de mejor información en sus puestos de control al integrar esta tecnología en el sistema de control de tráfico SACTA-ITEC.

El sensor escogido para esta primera puesta en servicio fue ubicado en las inmediaciones del aeropuerto, con el objetivo principal de proporcionar una mejor cobertura del servicio de vigilancia de los vuelos.

Desafíos

El gestor del despliegue de SESAR (SESAR Deployment Manager, SESAR DM), responsable de la implantación de esta tecnología, analizó los desafíos encontrados:

- **ADS-B espacial (SBA por sus siglas en inglés) para espacio aéreo oceánico:** el espacio aéreo oceánico en la Región de Información de Vuelo (FIR) de Canarias es un candidato perfecto para implementar SBA. La coordinación con los países vecinos no pertenecientes a la UE es esencial para garantizar los beneficios, ya que sería necesaria su implementación en todo el Corredor del Atlántico Sur.
- **Cooperación internacional:** ENAIRE está profundamente integrada en los esfuerzos y actividades paneuropeos para desplegar y utilizar ADS-B opera-

tivamente, y ha desarrollado una intensa cooperación transfronteriza con los estados vecinos. Esto incluye un proyecto de uso compartido de sensores con NAV Portugal en Galicia, utilizando una antena direccional para mejorar la cobertura hacia el mar.

- **Interferencias de radiofrecuencia GNSS:** las interferencias y posibles suplantaciones de GNSS se encuentran con una frecuencia cada vez mayor y se describen con gran detalle en términos de efecto e impacto desde 2016. En respuesta y en colaboración con las autoridades nacionales, ENAIRE desarrolló y desplegó un sistema de detección y localización en los alrededores del aeropuerto de Madrid (DYLEMA), un Signal-In-Space conjunto de monitoreo (RECNET) implementado en una docena de sitios en todo el país, y una evaluación interna de amenazas y herramienta de clasificación (APRESTA) para permitir la detección de interferencias GNSS basadas en datos ADS-B (indicadores de calidad) para evaluar un evento en curso e implementar mitigaciones según corresponda. Este aspecto puede encontrarse en el número 740, de octubre de 2023, de esta revista.
- **Evolución de la estandarización:** para seguir impulsando el despliegue paneuropeo de ADS-B, ENAIRE destaca dos áreas de preocupación en particular: la claridad y la falta de ambigüedad en los estándares de certificación, así como el material de evaluación, y la financiación continua para el desarrollo y mantenimiento de herramientas de apoyo a la vigilancia, como SASS-C, en particular en lo

que respecta a la vigilancia de superficie.

- **COVID:** La crisis del COVID ha tenido un leve impacto en la marcha de las actividades de ADS-B en ENAIRE.

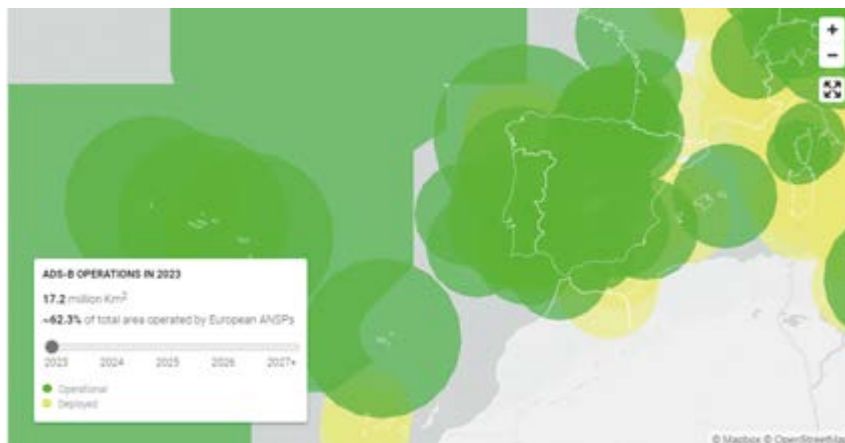
Beneficios

EUROCONTROL, que tiene un acuerdo de colaboración con el SESAR DM en el avance de esta tecnología, destaca que el uso operativo de datos de vigilancia ADS-B basados en el espacio comenzó en 2019 y se ha integrado desde finales de abril de 2021 en el Sistema mejorado de gestión de flujo táctico (ETFMS) del Gestor de Red EUROCONTROL. Ahora, admite operaciones activas y mejora el rendimiento de la red. Esta tecnología enriquecerá los complejos cálculos de asignación de franjas horarias y demanda de tráfico de ETFMS, que actualmente se basan principalmente en datos de vigilancia en tierra y sistemas de procesamiento de planes de vuelo.

Como resultado, el sistema de gestión de flujo primario de Europa será más preciso en sus predicciones de trayectoria y desbloqueará más capacidad del espacio aéreo. La integración de datos de vigilancia en tiempo real ADS-B basados en el espacio que cubre el tráfico dentro del área de Gestor de Red, el espacio aéreo adyacente alrededor del área de Gestor de Red y el tráfico de larga distancia 6 horas antes de llegar al área de Gestor de Red.

Las aeronaves equipadas que cumplan con el Modo S ofrecen los siguientes beneficios operativos:

- **Identificación inequívoca de la aeronave.** La disponibilidad de casi 17 millones de direcciones únicas de aeronaves, junto con la notificación automática de la identidad del vuelo, permite la identificación inequívoca de las



Situación del despliegue ADS-B en Europa. EUROCONTROL.

aeronaves independientemente de cualquier asignación de código Modo 3/A. El Modo S es el medio principal para correlacionar las pistas de radar con los planes de vuelo del sistema en los sistemas ATC automatizados.

- **Integridad mejorada de los datos de vigilancia.** La interrogación selectiva y la capacidad de resolución superior del Modo S sobre las instalaciones radar SSR y MSSR existentes eliminan la confusión sincrónica, resuelven los efectos de la sobreinterrogación y simplifican la identificación de aeronaves en el caso de reflejos de radar.
- **Imagen y seguimiento de la situación del aire mejorados.** Los controladores de radar obtienen una mejor imagen de la situación aérea actual mediante la adquisición del sistema de identidad de vuelo y técnicas de seguimiento mejoradas. La mayor precisión de los radares Modo S (menos errores aleatorios o sistemáticos junto con la producción de vectores de velocidad más estables) da como resultado una capacidad de seguimiento horizontal y vertical mejorada con respecto a las instalaciones SSR actuales.
- **Mitigación de la escasez de códigos Modo 3/A.** La situación relativa a la escasez de códigos SSR en la región EUR está llegando a una fase crítica. La capacidad única de direccionamiento de aeronaves del Modo S, junto

con otras medidas, ayudará a aliviar este problema.

- **Mejoras a las redes de seguridad,** por ejemplo, alerta de conflicto a corto plazo (STCA). La capacidad del Modo S para eliminar la confusión sincrónica, producir un vector de velocidad más estable y adquirir informes de altitud de la aeronave en incrementos de 25 pies (si es compatible con la aviónica barométrica compatible) proporciona valiosas mejoras a la calidad de las redes de seguridad. Estas mejoras deberían reducir el número de alertas molestas y mejorar la integridad de la garantía de separación.
- **Mayor capacidad objetiva.** Para hacer frente a los aumentos de tráfico actuales y previstos, los radares Modo S pueden procesar muchas más trazas de aviones (aproximadamente el doble) que las instalaciones MSSR convencionales. Además, se mejora la conciencia situacional y la seguridad al tener una imagen más clara del espacio aéreo, con un seguimiento mejorado donde el acceso a la información pertinente directamente desde la aeronave permite al controlador beneficiarse de un reconocimiento más rápido y preciso de los eventos en el aire. Se reduce progresivamente la carga de trabajo por vuelo entre el controlador y los vuelos al introducir progresivamente esta vigilancia mejorada del Modo S. ■