

**Doc 9992
AN/494**



Manual sobre el uso de la navegación basada en la performance (PBN) en el diseño del espacio aéreo

Aprobado por el Secretario General
y publicado bajo su responsabilidad

Primera edición — 2013

Organización de Aviación Civil Internacional

Doc 9992
AN/494



Manual sobre el uso de la navegación basada en la performance (PBN) en el diseño del espacio aéreo

Aprobado por el Secretario General
y publicado bajo su responsabilidad

Primera edición — 2013

Organización de Aviación Civil Internacional

Publicado por separado en español, árabe, chino, francés, inglés y ruso
por la ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL
999, University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7.

La información sobre pedidos y una lista completa de los agentes de ventas
y libreros pueden obtenerse en el sitio web de la OACI: www.icao.int.

Primera edición, 2013

**Doc 9992, *Manual sobre el uso de la navegación basada en
la performance (PBN) en el diseño del espacio aéreo***

Núm. de pedido: 9992

ISBN 978-92-9249-336-3

© OACI 2013

Reservados todos los derechos. No está permitida la reproducción de
ninguna parte de esta publicación, ni su tratamiento informático, ni su
transmisión, de ninguna forma ni por ningún medio, sin la autorización
previa y por escrito de la Organización de Aviación Civil Internacional.

PREÁMBULO

El propósito del presente manual es servir de guía para la implantación, paso a paso, de la navegación basada en la performance (PBN) en el desarrollo de conceptos de espacio aéreo. Concebido en un inicio como texto de apoyo a los seminarios prácticos de la OACI sobre el concepto de espacio aéreo en lo relativo a la implantación de la PBN, este manual puede ser también utilizado por las partes interesadas que intervengan en dicha implantación.

Los planificadores y diseñadores del espacio aéreo han de comprender la interdependencia que existe entre el concepto de espacio aéreo y la capacidad del sistema de navegación y considerar ambos en el contexto de otros elementos habilitantes (procedimientos e instrumentos de comunicación (COM), vigilancia (SUR) y gestión del tránsito aéreo (ATM)). Los beneficios que se deriven de la implantación de la PBN en un concepto de espacio aéreo deberán justificar el costo del equipamiento de la aeronave y del sistema de control de tránsito aéreo (ATC), de la instrucción de los pilotos y del personal de ATC, así como del diseño del espacio aéreo y de los procedimientos resultantes de la implantación. Ello se logrará merced a una planificación meticulosa en la que se tengan en cuenta los requisitos funcionales de navegación, pormenorizados, que exijan el concepto de espacio aéreo y el calendario de implantación, al depender los costos del número de células de aeronaves que hayan tenido que reacondicionarse con sistemas de navegación actualizados para satisfacer los nuevos requisitos.

El presente manual tiene por objeto complementar los procedimientos y textos de orientación sobre el diseño y la planificación del espacio aéreo que figuran en:

los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Gestión del tránsito aéreo* (PANS-ATM, Doc 4444);

los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Operación de aeronaves* (PANS-OPS, Doc 8168);

el *Manual de planificación de servicios de tránsito aéreo* (Doc 9426);

el *Manual de navegación basada en la performance (PBN)* (Doc 9613);

el *Manual sobre performance de comunicación requerida (RCP)* (Doc 9869); y

el *Manual de garantía de calidad para el diseño de procedimientos de vuelo* (Doc 9906)

- Volumen 1 — *Sistema de garantía de calidad del diseño de procedimientos de vuelo*.

Este manual también sirve de documento de referencia superpuesto a y unificador de:

el *Manual de operaciones de descenso continuo (CDO)* (Doc 9931); y

el *Manual de operaciones de ascenso continuo* (Doc 9993).

Evolución futura

Se agradecerán los comentarios sobre este manual de quienes participen en el desarrollo y la aplicación de conceptos de espacio aéreo en lo que respecta a la implantación de la PBN. Dichos comentarios deben dirigirse al:

Secretario General
Organización de Aviación Civil Internacional
999, University Street,
Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7.

ÍNDICE

Glosario	(ix)
Capítulo 1. Antecedentes	1-1
1.1 Navegación basada en la performance (PBN).....	1-1
1.2 El concepto de espacio aéreo.....	1-2
1.3 Beneficios de la PBN	1-2
Capítulo 2. Proceso.....	2-1
2.1 Introducción	2-1
2.2 Fase de planificación	2-2
2.3 Fase de diseño	2-10
2.4 Fase de validación.....	2-21
2.5 Fase de implantación.....	2-32

GLOSARIO

SIGLAS/ACRÓNIMOS

ACC	centro de control de área
AIM	información aeronáutica y cartografía
AIRAC	reglamentación y control de información aeronáutica
ANSP	proveedor de servicios de navegación aérea
ATC	control de tránsito aéreo
ATM	gestión del tránsito aéreo
ATS	servicio de tránsito aéreo
CCO	operaciones de ascenso continuo
CDO	operaciones de descenso continuo
CNS	comunicaciones, navegación y vigilancia
COM	comunicaciones
DME	equipo radiotelemétrico
DTG	distancia por recorrer
FDP	procesador de los datos de vuelo
Fpm	pies por minuto
FMS	sistema de gestión de vuelo
FTS	simulación en tiempo acelerado
GA	aviación general
GNSS	sistema mundial de navegación por satélite
HMI	interfaz ser humano-máquina
IAP	procedimiento de aproximación por instrumentos
IFR	reglas de vuelo por instrumentos
INS	sistema de navegación inercial
IRS	sistema de referencia inercial
LPV	actuación del localizador con guía vertical
NAV	navegación
NAVAID	ayuda para la navegación aérea
PBN	navegación basada en la performance
RAIM	vigilancia autónoma de la integridad en el receptor
RDP	procesador de datos radar
RNAV	navegación de área
RNP	performance de navegación requerida
RT	transmisión por radio
RTS	simulación en tiempo real
SARPS	normas y métodos recomendados
SID	salida normalizada por instrumentos
STAR	llegada normalizada por instrumentos
SUR	vigilancia
TLS	nivel deseado de seguridad [operacional]
TMA	área de control terminal
VFR	reglas de vuelo visual
VOR	radiofaro omnidireccional VHF

DEFINICIONES

Aplicación de navegación aérea.— Aplicación de una especificación para la navegación y de la correspondiente infraestructura de ayudas para la navegación a rutas, procedimientos y/o a un volumen de espacio aéreo definido de conformidad con el concepto de espacio aéreo previsto.

Nota.— La aplicación de navegación es un elemento, junto con las comunicaciones, la vigilancia y los procedimientos ATM, que cumple los objetivos estratégicos de un concepto de espacio aéreo definido.

Concepto de espacio aéreo.— Un concepto de espacio aéreo proporciona la descripción y el marco de operaciones previsto dentro de un espacio aéreo. Los conceptos de espacio aéreo se elaboran para satisfacer objetivos estratégicos explícitos tales como mejor seguridad operacional, más capacidad de tránsito aéreo y mitigación de las repercusiones en el medio ambiente, etc. Pueden incluir detalles de la organización práctica del espacio aéreo y sus usuarios basada en determinadas hipótesis CNS/ATM como, por ejemplo, estructura de rutas ATS, mínimas de separación, espaciado entre rutas y margen de franqueamiento de obstáculos.

Especificación para la navegación.— Conjunto de requisitos relativos a la aeronave y a la tripulación de vuelo necesarios para dar apoyo a las operaciones de la navegación basada en la performance dentro de un espacio aéreo definido. Existen dos clases de especificaciones para la navegación:

Especificación RNAV.— Especificación para la navegación basada en la navegación de área que no incluye el requisito de vigilancia y alerta de la performance de a bordo, designada por medio del prefijo RNAV (por ejemplo, RNAV 5, RNAV 1).

Especificación RNP.— Especificación para la navegación basada en la navegación de área que incluye el requisito de vigilancia y alerta de la performance de a bordo, designada por medio del prefijo RNP (por ejemplo, RNP 4, RNP APCH).

Nota.— El Volumen II del Manual de navegación basada en la performance (PBN) (Doc 9613) contiene directrices detalladas sobre las especificaciones para la navegación.

Función de navegación.— La capacidad detallada del sistema de navegación (como la ejecución de tramos de transición, capacidades de desplazamiento paralelo, circuitos de espera, bases de datos de navegación) requerida para satisfacer el concepto de espacio aéreo.

Nota.— Los requisitos funcionales de navegación son uno de los elementos para la selección de una especificación para la navegación en particular.

Infraestructura de ayudas para la navegación.— Expresión que designa las ayudas para la navegación basadas en tierra o en el espacio disponibles para satisfacer los requisitos de la especificación para la navegación.

Llegada normalizada por instrumentos (STAR).— Ruta de llegada designada según reglas de vuelo por instrumentos (IFR) que une un punto significativo, normalmente en una ruta ATS, con un punto desde el cual puede comenzarse un procedimiento publicado de aproximación por instrumentos.

Navegación basada en la performance (PBN).— Navegación de área basada en requisitos de performance que se aplican a las aeronaves que realizan operaciones en una ruta ATS, en un procedimiento de aproximación por instrumentos o en un espacio aéreo designado.

Nota.— En las especificaciones para la navegación los requisitos de performance se expresan en función de la precisión, la integridad, la continuidad, la disponibilidad y la funcionalidad necesarias para la operación propuesta en el contexto de un concepto de espacio aéreo en particular.

Navegación de área (RNA).— Método de navegación que permite la operación de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada, dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación referidas a la estación, o dentro de los límites de la capacidad de las ayudas autónomas, o de una combinación de ambas.

Nota.— La navegación de área incluye la navegación basada en la performance así como otras operaciones RNAV que no se ajustan a la definición de navegación basada en la performance.

Operación de ascenso continuo (CCO).— Operación, que posibilitan el diseño del espacio aéreo, de procedimientos y el ATC, en la que una aeronave que sale asciende ininterrumpidamente, en la medida de lo posible, empleando un empuje del motor de ascenso óptimo, a velocidades de ascenso hasta alcanzar el nivel de vuelo de crucero.

Operación de descenso continuo (CDO).— Operación, que posibilitan el diseño del espacio aéreo, de procedimientos y la facilitación del ATC, en la que una aeronave que llega desciende constantemente, en la medida de lo posible, empleando un empuje del motor mínimo, preferiblemente en una configuración de baja resistencia al avance, antes del punto de referencia de aproximación final o punto de aproximación final.

Nota 1.— Una CDO óptima se inicia a partir del comienzo del descenso y utiliza perfiles de descenso que reducen los segmentos de vuelo horizontal, el ruido, el consumo de combustible, las emisiones y la comunicación entre el controlador y el piloto, al tiempo que aumenta la posibilidad de predecir de los pilotos y los controladores y la estabilidad de vuelo.

Nota 2.— Una CDO que se inicie al nivel más elevado posible en las fases de vuelo en ruta o de llegada logrará la máxima reducción del consumo de combustible, ruido y emisiones.

Operaciones RNAV.— Operaciones de aeronaves en las que se usa navegación de área para aplicaciones RNAV. Las operaciones RNAV incluyen el uso de navegación de área para operaciones que no se desarrollan de acuerdo con este manual.

Operaciones RNP.— Operaciones de aeronaves en las que se usa un sistema RNP para aplicaciones de navegación RNP.

Salida normalizada por instrumentos (SID).— Ruta de salida designada según reglas de vuelo por instrumentos (IFR) que une un aeródromo o una determinada pista del aeródromo con un determinado punto significativo, normalmente en una ruta ATS designada, en el cual comienza la fase en ruta de un vuelo.

Sistema RNAV.— Sistema de navegación que permite la operación de aeronaves en cualquier trayectoria de vuelo deseada, dentro de la cobertura de las ayudas para la navegación referidas a la estación, o dentro de los límites de la capacidad de las ayudas autónomas, o de una combinación de ambas. Un sistema RNAV puede formar parte de un sistema de gestión de vuelo (FMS).

Sistema RNP.— Sistema de navegación de área que da apoyo a la vigilancia y alerta de la performance de a bordo.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1.1 NAVEGACIÓN BASADA EN LA PERFORMANCE (PBN)

1.1.1 El concepto de PBN de la OACI se introdujo en 2008 y viene detallado en el *Manual de navegación basada en la performance (PBN)* (Doc 9613). Sustituyó al de performance de navegación requerida (RNP).

1.1.2 La PBN introduce la certificación de la aeronavegabilidad y los requisitos de aprobación operacional para el uso de un sistema RNAV en la implantación de espacios aéreos. Tal como se ilustra en la figura 1-1, la PBN es uno de los elementos habilitantes del concepto de espacio aéreo.

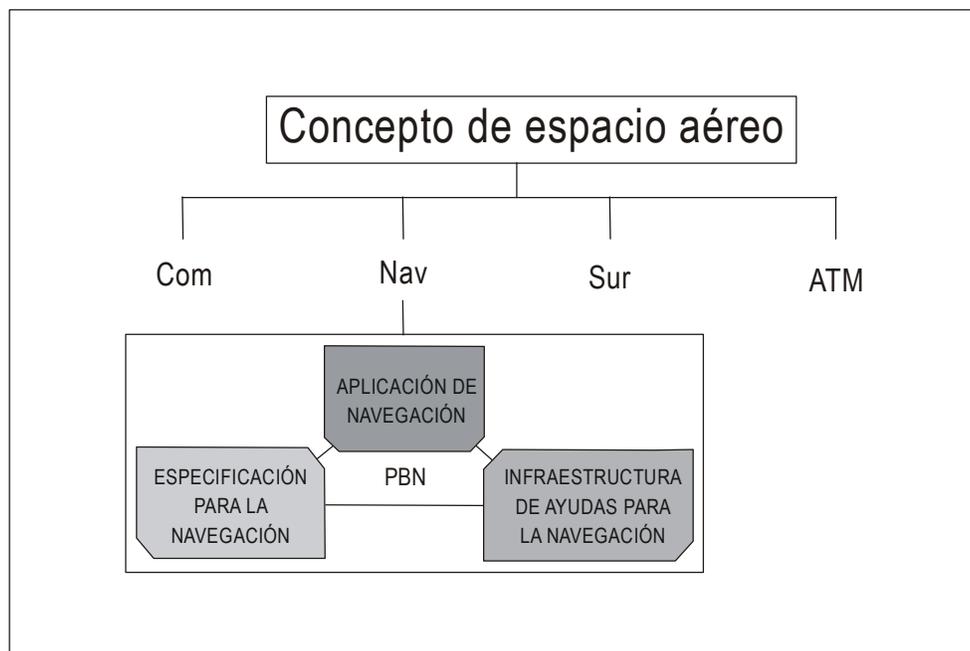


Figura 1-1. El concepto de espacio aéreo y la PBN

1.1.3 El concepto de PBN se funda en el uso de la navegación aérea y consta de los siguientes componentes:

- la infraestructura de ayudas para la navegación;
- la especificación para la navegación; y la aplicación de estos dos componentes a rutas ATS y procedimientos por instrumentos en el contexto del concepto de espacio aéreo resulta en un tercer componente:

- c) la aplicación de navegación aérea.

La aplicación de navegación es clave para el desarrollo del concepto de espacio aéreo. La infraestructura de ayudas para la navegación detalla las ayudas basadas en tierra o en el espacio que se requieren en la especificación para la navegación utilizada en apoyo a la aplicación de navegación. La especificación para la navegación es una especificación técnica y operacional en la que se detalla la performance requerida del sistema RNAV o RNP en términos de precisión, integridad y continuidad. En ella también se especifican la funcionalidad de a bordo, los sensores de navegación requeridos, así como los requisitos de instrucción y operación conexos. Los Estados usan las especificaciones para la navegación como base para la elaboración de reglamentaciones nacionales relativas a la certificación y la aprobación operacional de la PBN.

1.2 EL CONCEPTO DE ESPACIO AÉREO

1.2.1 El concepto de espacio aéreo describe las operaciones previstas dentro de un espacio aéreo y la organización de éste para posibilitarlas. Incluye muchos de los componentes del concepto operacional de ATM, comprendidos la organización y la gestión del espacio aéreo, el equilibrio entre la demanda y la capacidad, la sincronización del tránsito, las operaciones de los usuarios del espacio aéreo y la gestión de conflictos. Los conceptos de espacio aéreo se elaboran para satisfacer objetivos estratégicos explícitos e implícitos, tales como:

- a) la mejora o el mantenimiento de la seguridad operacional;
- b) el aumento de la capacidad de tránsito aéreo;
- c) la mejora de la eficiencia;
- d) las trayectorias de vuelo más precisas; y
- e) la mitigación de las repercusiones en el medio ambiente.

Los conceptos de espacio aéreo pueden incluir detalles de la organización práctica del espacio aéreo y de sus usuarios basándose en determinadas hipótesis sobre comunicaciones, navegación y vigilancia/gestión del tránsito aéreo (CNS/ATM), relativos a la estructura de las rutas de servicio de tránsito aéreo (ATS), las mínimas de separación, el espaciado entre rutas y el margen de franqueamiento de obstáculos. Un buen diseño del espacio aéreo y la colaboración con todas las partes interesadas (planificadores del espacio aéreo, diseñadores de procedimientos, aviación general (GA), ejército, autoridades aeroportuarias, etc.) son cruciales para la implantación eficaz de un concepto de espacio aéreo (véase la figura 1-2).

1.2.2 Una vez desarrollado, el concepto de espacio aéreo describirá en detalle la organización del espacio aéreo deseada y las operaciones que se sucedan dentro del mismo. Abordará todos los objetivos estratégicos y determinará el conjunto de los elementos habilitantes de CNS/ATM, así como toda hipótesis operacional y técnica. Un concepto de espacio aéreo es un plan general del diseño del espacio aéreo previsto y de su funcionamiento.

1.3 BENEFICIOS DE LA PBN

1.3.1 La PBN ofrece múltiples ventajas con respecto a los métodos de navegación pasados convencionales, en los que los procedimientos de vuelo por instrumentos y las rutas aéreas se basaban en ayudas específicas para la navegación basadas en tierra y en los criterios de margen de franqueamiento de obstáculos conexos. Estas ventajas comprenden:

- a) reducir la necesidad de mantener rutas y procedimientos en función de sensores específicos y de los costos conexos;
- b) evitar tener que desarrollar las operaciones en función de sensores específicos cada vez que evolucionan los sistemas de navegación, lo que podría ser de un costo prohibitivo;
- c) permitir un uso más eficiente del espacio aéreo (emplazamiento de rutas, rendimiento del combustible, atenuación del ruido, etc.);
- d) aclarar el modo en que se usan los sistemas RNAV;
- e) facilitar el proceso de aprobación operacional de los explotadores, proporcionando un conjunto limitado de especificaciones para la navegación previstas para que constituyan la base del material operacional y de certificación que podría aplicarse a escala mundial conjuntamente con la infraestructura de navegación apropiada; y
- f) garantizar que la aprobación operacional en un Estado o región sea aplicable en otro Estado o región para aquellas aplicaciones de navegación que exijan la misma especificación para la navegación.



Figura 1-2. Componentes del concepto de espacio aéreo

1.3.2 El desarrollo y la implantación de un concepto de espacio aéreo que utilice PBN contribuye de manera significativa, por ejemplo, a la seguridad operacional, el medio ambiente, la capacidad y la eficiencia de vuelo:

- a) el enfoque de asociación de la PBN al desarrollo del concepto de espacio aéreo garantiza que se procesen de forma integrada los requisitos contradictorios, y que se aborden intereses diversos sin comprometer los requisitos de seguridad operacional, atenuación de las repercusiones ambientales, eficiencia de vuelo o capacidad;

- b) se mejora la seguridad operacional garantizando que el emplazamiento de rutas ATS y de los procedimientos de vuelo por instrumentos satisfagan íntegramente tanto los requisitos de ATM como de margen de franqueamiento de obstáculos;
 - c) aumenta la atenuación de las repercusiones ambientales al concederse igual importancia a las necesidades ambientales que al incremento de la capacidad en la definición de las operaciones que se suceden dentro de un espacio aéreo; y
 - d) se incrementan la capacidad del espacio aéreo y la eficiencia de vuelo perfeccionando el emplazamiento lateral y vertical tanto de las rutas ATS como de los procedimientos de vuelo por instrumentos.
-

Capítulo 2

PROCESO

2.1 INTRODUCCIÓN

2.1.1 El desarrollo y la implantación de un concepto de espacio aéreo puede desglosarse en cuatro fases principales: planificación, diseño, validación e implantación. Todas ellas suman 17 actividades distintas (véase la figura 2-1).

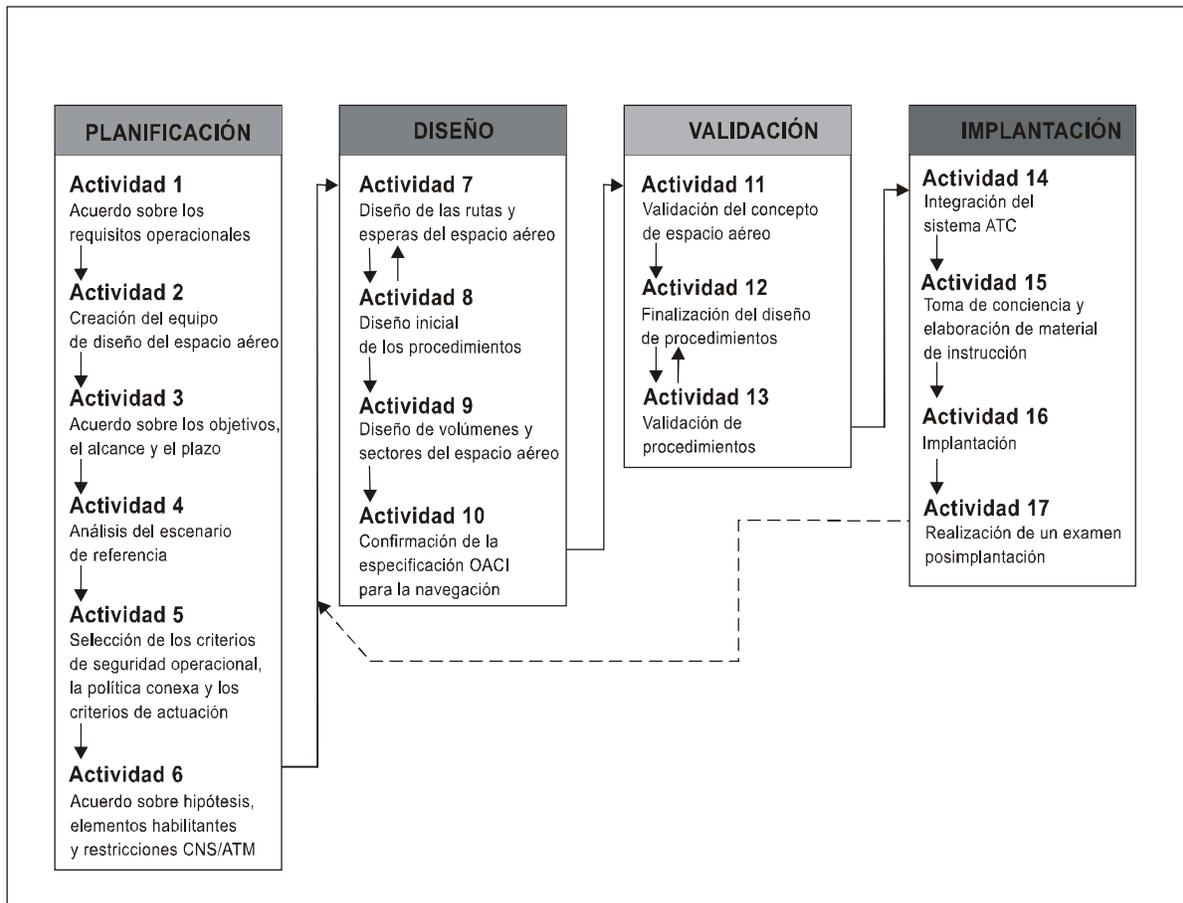


Figura 2-1. Proceso de desarrollo e implantación de un concepto de espacio aéreo

2.1.2 La remodelación del espacio aéreo suele iniciarse por acontecimientos desencadenados por requisitos operacionales, los cuales se clasifican a menudo según uno o más objetivos estratégicos, tales como la seguridad operacional, la capacidad, la eficiencia de vuelo, la atenuación de las repercusiones ambientales o el acceso. Si bien algunos de estos objetivos pueden explicitarse en la propuesta de cambio del espacio aéreo, el resto se mantendrá implícito en la medida en que normalmente no debería verse afectado negativamente por dicho cambio. Con frecuencia entran en conflicto estos objetivos, que deben priorizarse, garantizando en todo momento que el mantenimiento de la seguridad operacional continúe siendo primordial.

2.1.3 Dos son los requisitos previos para desarrollar con éxito un concepto de espacio aéreo:

- a) la preparación exhaustiva — la planificación debe tener en cuenta todos los aspectos y cada una de las inquietudes de las partes interesadas conexas; y
- b) la iteración — el desarrollo de espacios aéreos no es un proceso lineal, sino que solamente puede resultar en un producto válido mediante una serie de revisiones, validaciones y subsiguientes perfeccionamientos.

Sólo se puede salir triunfante mediante una planificación exhaustiva en la que se establezcan el alcance y los objetivos del concepto de espacio aéreo, en función de los requisitos operacionales.

2.2 FASE DE PLANIFICACIÓN

2.2.1 Actividad 1: Acuerdo sobre los requisitos operacionales

Los cambios en el espacio aéreo se desencadenan por requisitos operacionales, como los que figuran en los siguientes casos:

- a) la adición de una nueva pista o la ampliación de una antigua en un área terminal (por ejemplo, para aumentar la capacidad de un aeropuerto);
- b) la presión por reducir el ruido de las aeronaves en un área en particular (por ejemplo, para disminuir el impacto ambiental en una zona residencial);
- c) la necesidad de respaldar un previsible incremento del tránsito aéreo; o
- d) las actualizaciones de la infraestructura CNS para mejorar la seguridad operacional y/o la eficiencia.

Deberían especificarse claramente, por escrito, los requisitos que impulsen la remodelación de un espacio aéreo, detallándose los objetivos estratégicos de suerte que las labores posteriores vayan en una dirección clara.

2.2.2 Actividad 2: Creación del equipo de diseño del espacio aéreo

2.2.2.1 A fin de satisfacer el requisito operacional que se determina en la Actividad 1, debe desarrollarse, validarse e implantarse el concepto de espacio aéreo, el cual debe abordar todos los requisitos y no puede ser elaborado por un único individuo que trabaje aisladamente. Desde su concepción hasta su implantación, los conceptos de espacio aéreo son fruto de un equipo de trabajo integrado — el equipo de diseño del espacio aéreo.

2.2.2.2 El equipo de diseño del espacio aéreo debería estar dirigido por un especialista en ATM, con gran habilidad para la gestión de proyectos y profundos conocimientos operacionales del espacio aéreo que se someta a examen. Este especialista trabajaría en colaboración con:

- a) controladores de tránsito aéreo que también estuvieran familiarizados con las operaciones que se sucedieran dentro del espacio aéreo;
- b) especialistas en sistemas ATM y CNS familiarizados con los sistemas CNS/ATM actuales y previstos;
- c) pilotos técnicos de los explotadores que utilizaran el espacio aéreo;
- d) diseñadores de espacios aéreos y de procedimientos de vuelo por instrumentos;
- e) otros usuarios del espacio aéreo (tales como el ejército y la GA);
- f) directores de aeropuerto y de medio ambiente; y
- g) expertos en disciplinas adicionales según fuera necesario (por ejemplo, economistas o especialistas en suministro de datos).

Esto se ilustra en la Figura 2-2.

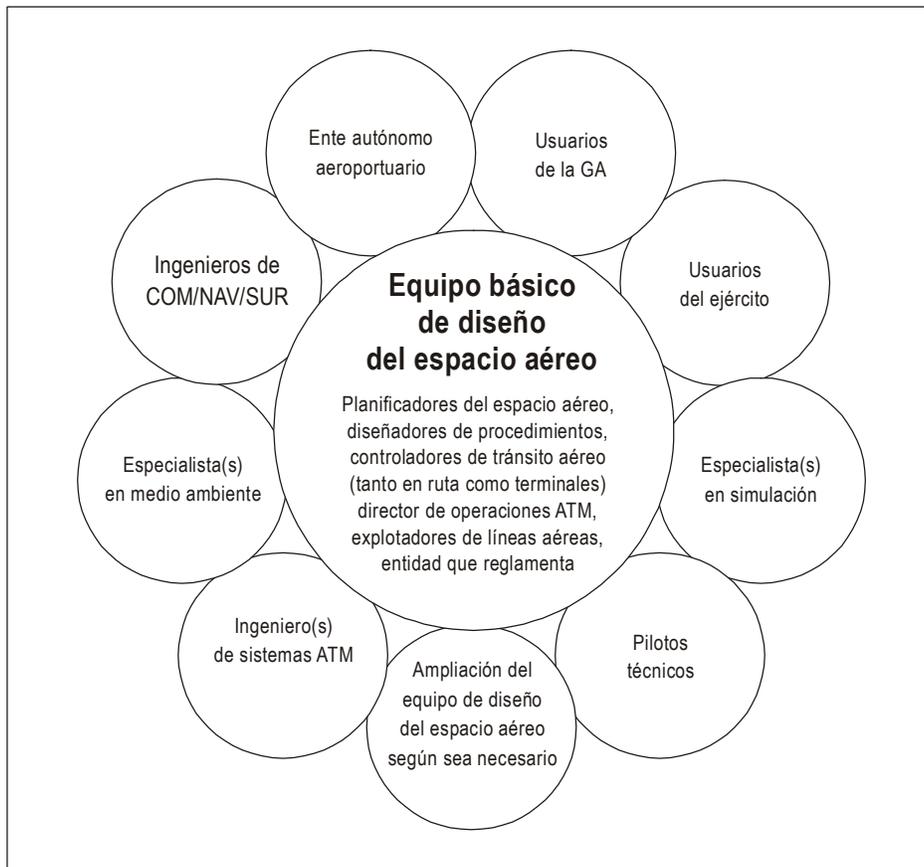


Figura 2-2. Equipo de diseño del espacio aéreo

2.2.3 Actividad 3: Acuerdo sobre los objetivos, el alcance y los plazos

2.2.3.1 Una de las principales tareas del equipo de diseño del espacio aéreo es definir y acordar los objetivos del proyecto (de espacio aéreo). Estos objetivos deberían derivar de los objetivos estratégicos por los que se lanzó. Por ejemplo, si el proyecto se pone en marcha por un objetivo estratégico medioambiental, sus objetivos podrían estar ligados a la reducción del ruido (tal como la disminución de la huella acústica en una ciudad cercana). Otro ejemplo puede ser el mandato de una autoridad en virtud del cual se exija la aplicación de determinados cambios. Es importante que se especifiquen claramente, por escrito, los objetivos del proyecto para garantizar que se acaten los motivos que impulsan el cambio.

2.2.3.2 Definir el alcance del proyecto puede resultar mucho más complejo. Limitarlo al mínimo necesario para cumplir los objetivos acordados es una buena práctica operativa. La ampliación del alcance constituye un riesgo en todos los proyectos, y si se hace sin control puede aumentar los plazos y los costos hasta el punto de que el proyecto deje de ser viable. Es sobremanera importante decidir lo que hay que hacer para alcanzar los objetivos del proyecto, y llegar a un acuerdo y adherirse a un órgano específico de trabajo para ello.

2.2.3.2.1 El alcance del proyecto depende en gran medida del tiempo y de los recursos humanos y financieros disponibles para su consecución. Existen dos posibilidades: bien que el equipo determine la fecha de ejecución basándose en todo el trabajo que haya de ultimarse, bien que la fecha de ejecución se fije de antemano y el equipo adapte el alcance o los recursos de manera que se ajusten al tiempo disponible.

2.2.3.2.2 Los recursos, el tiempo y el alcance conforman los tres lados del “triángulo” de planificación del proyecto (véase la Figura 2-3). El alcance del proyecto se revisa, pudiendo modificarse repetidamente en todas las fases del diseño del concepto de espacio aéreo. Sin embargo, su ampliación en fases posteriores puede tender a alargar los plazos del proyecto y/o a incrementar los recursos requeridos para su consecución, lo que puede reducir sus posibilidades de éxito. Dichas necesidades de ampliación pueden satisfacerse organizando el proyecto por fases.



Figura 2-3. Triángulo de planificación

2.2.3.3 Es importante garantizar que pueda gestionarse a escala regional un cambio importante, generado por el proyecto, en las estructuras, las rutas y los procedimientos del espacio aéreo. Es más probable que la introducción paso a paso de espacios aéreos y rutas PBN se consiga en varios años en lugar de hacerlo partiendo de un enfoque global, de una sola vez. Por otro lado, en caso de tener que mantenerse la conectividad, los cambios en la estructura en

ruta exigen a menudo cambios en la estructura terminal adyacente del mismo ciclo de reglamentación y control de información aeronáutica (AIRAC). No obstante, la coordinación y la planificación con los proveedores de datos son esenciales para evitar sobrecargar a los responsables de actualizar las bases de datos de navegación a bordo de las aeronaves.

2.2.3.4 En la Tabla 2-1 se facilita un ejemplo de plan de proyecto con plazos estimados.

Tabla 2-1. Ejemplo de plan de proyecto

		<i>Actividad</i>	<i>Número de días</i>
PLANIFICACIÓN	1	Acuerdo sobre los requisitos operacionales	10
	2	Creación del equipo de diseño del espacio aéreo	5
	3	Acuerdo sobre los objetivos, el alcance y los plazos	15
	4	Análisis del escenario de referencia	15
	5	Selección de los criterios de seguridad operacional, la política conexas y los criterios de actuación	10
	6	Acuerdo sobre las hipótesis, elementos habilitantes y restricciones CNS/ATM	12
DISEÑO	7	Diseño de las rutas y esperas del espacio aéreo	14
	8	Diseño inicial de los procedimientos	20
	9	Diseño de los volúmenes y sectores del espacio aéreo	20
	10	Confirmación de la especificación OACI para la navegación	5
VALIDACIÓN	11	Validación del concepto de espacio aéreo	20
	12	Finalización del diseño de procedimientos	22
	13	Validación de procedimientos	20
IMPLANTACIÓN	14	Integración del sistema ATC	30
	15	Elaboración de notificaciones y de material de instrucción	30
	16	Implantación	1
	17	Realización de un examen posimplantación	30
Total de días necesarios			279

2.2.4 Actividad 4: Análisis del escenario de referencia

2.2.4.1 Previo al inicio del diseño de un nuevo concepto de espacio aéreo, es importante conocer la situación actual de dicho espacio. El escenario de referencia consiste en una descripción de las operaciones que estén realizándose dentro del espacio aéreo donde vaya a introducirse la PBN y su propósito es sentar las bases para el desarrollo de un nuevo concepto de espacio aéreo.

2.2.4.2 El escenario de referencia comprende todas las rutas ATS, las salidas normalizadas por instrumentos/llegadas normalizadas por instrumentos (SID/STAR), los volúmenes del espacio aéreo [por ejemplo, el área de control terminal (TMA)], la sectorización del ATC y los datos de tránsito aéreo junto con los acuerdos de coordinación entre centros y entre unidades. En la Figura 2-4 se muestra un ejemplo de escenario de referencia de la organización actual de un espacio aéreo.

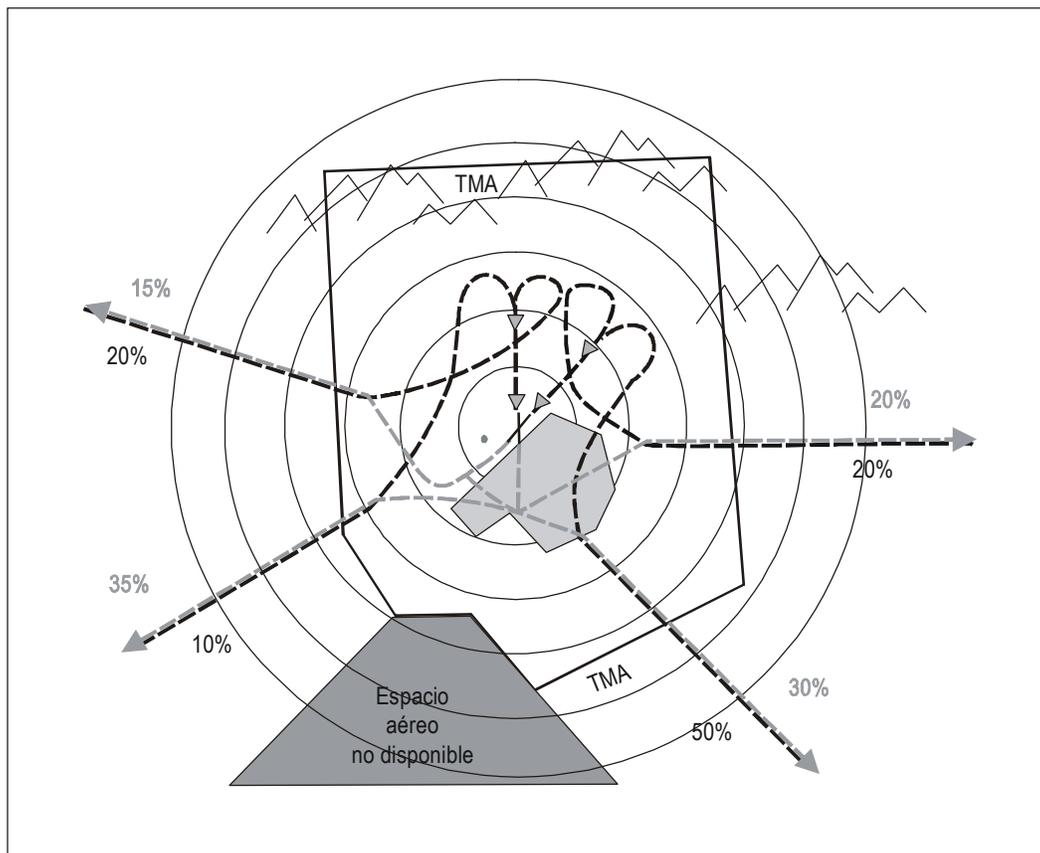


Figura 2-4. Ejemplo de escenario de referencia

2.2.4.3 La descripción y el análisis del escenario de referencia constituyen una fase crucial del proceso de diseño. Analizando este escenario en términos de indicadores de rendimiento del proyecto, es posible calibrar el modo en que está comportándose el espacio aéreo. También puede determinarse con bastante seguridad qué funciona muy bien en él y, por ende, debería mantenerse, y qué no o qué podría mejorarse. Por último, y más importante, determinando el rendimiento del escenario de referencia, se creará un punto de referencia con respecto al cual puede compararse el nuevo concepto de espacio aéreo (véase la Figura 2-5). El uso de este punto permite establecer si el concepto de espacio aéreo propuesto rinde mejor o peor que el escenario de referencia y si se han cumplido los criterios de seguridad operacional y de actuación. El análisis del escenario de referencia puede dar como resultado la necesidad de actualizar los objetivos o el alcance del proyecto.

Nota: La intención no reside en comparar uno a uno los distintos elementos que componen los escenarios de referencia y los nuevos escenarios, sino la diferencia de rendimiento entre ambos.

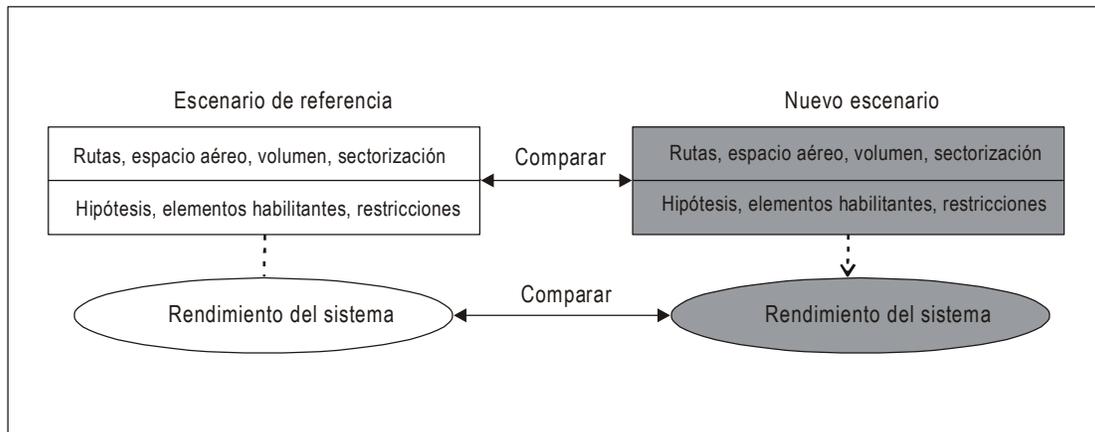


Figura 2-5. Comparación de escenarios

2.2.5 Actividad 5: Selección de los criterios de actuación, la política de seguridad operacional y los criterios conexos

2.2.5.1 El análisis en profundidad del escenario de referencia de la Actividad 4 contribuye directamente al nuevo concepto de espacio aéreo. Puede que los objetivos del proyecto y su alcance se hayan decidido en la Actividad 3 (y/o actualizado en la Actividad 4), pero continúa siendo necesario determinar cómo medir su éxito. Por ejemplo, el proyecto habrá tenido éxito cuando se cumplan sus objetivos estratégicos — si estos residen en duplicar el caudal de la pista X y ello se demuestra en una simulación en tiempo real (RTS) del nuevo concepto de espacio aéreo, entonces el proyecto habrá cumplido estos criterios de actuación.

2.2.5.2 Todo concepto de espacio aéreo debe cumplir los criterios de seguridad operacional establecidos en la política conexas que ha de conocerse al principio del proyecto. Estos criterios pueden ser cualitativos o cuantitativos, y a menudo se utiliza una mezcla de ambos. La política de seguridad operacional se promulga normalmente a escala nacional o regional, de ahí que sea extrínseca al proyecto. En caso de que se necesitara establecer una política de seguridad operacional a nivel de proyecto, es fundamental que sea aprobada al principio del ciclo de vida del mismo por las instancias nacionales más altas posibles. La política de seguridad operacional se preocupa por cuestiones tales como:

- a) ¿Qué sistema de gestión de la seguridad operacional debería utilizarse?
- b) ¿Qué metodología de evaluación de la seguridad operacional debería emplearse? y
- c) ¿Qué pruebas son necesarias para demostrar que el concepto de espacio aéreo es seguro desde el punto de vista operacional?

2.2.6 Actividad 6: Acuerdo sobre las hipótesis CNS/ATM

2.2.6.1 El concepto de espacio aéreo a desarrollar se basa en determinadas hipótesis CNS/ATM. Éstas deben tener en cuenta el medio ambiente que se espera que exista en el momento en que se pretenda implantar el nuevo funcionamiento del espacio aéreo (por ejemplo, en 20XX). Las hipótesis CNS/ATM comprenden, por ejemplo:

- a) la capacidad de navegación de la aeronave que se espera opere en el espacio aéreo;
- b) la principal pista en uso dentro de una TMA en particular;
- c) el porcentaje de operaciones que se sucederán durante la aproximación de precisión lateral con guía vertical (LPV);
- d) las principales corrientes de tránsito (en 20XX éstas podrían diferir de las actuales);
- e) los sistemas ATS de vigilancia y comunicaciones que estarán disponibles en 20XX; y
- f) las hipótesis específicas del sistema ATC, tal como el número máximo de sectores que estarán disponibles para su uso.

Estas hipótesis se ponen de relieve en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Hipótesis CNS/ATM

<p><i>Análisis del tránsito</i> Muestra representativa del tránsito Distribución — tiempo/geografía Cotejo del tránsito en instalaciones adyacentes Mezcla de IFR y reglas de vuelo visual (VFR) Mezcla de lo civil y lo militar Mezcla de performance de la aeronave (turborreactor/turbohélice/helicóptero)</p>	<p><i>Pista en uso (principal/secundaria)</i> Pistas disponibles/longitud Condiciones meteorológicas Ayudas para el aterrizaje ¿Terreno en campo abierto? ¿Orientación elegida? Estadísticas de uso de la pista</p>
	<p><i>Sistema ATC</i> Sectores/personal/equipo Secuenciación y gestión del tránsito aéreo</p>
	<p><i>Medios y cobertura de vigilancia</i> Radar/vigilancia dependiente automática — radiodifusión (ADS-B)/multilateración (MLAT)/nada</p>
	<p><i>Medios de comunicación/cobertura</i> Voz/enlace de datos</p>
<p><i>Navegación</i> Equipamiento de navegación de la aeronave Infraestructura NAV y cobertura Mezcla convencional de PBN</p>	

2.2.6.2 Las hipótesis sobre el tránsito dependerán de las capacidades previstas de las flotas, y debería comprenderse bien la probable composición y distribución del tránsito. Esto incluye la mezcla de tipos de aeronaves (por ejemplo, de turbohélice con turborreactores pesadas y medias/helicópteros/entrenadores monomotores), la mezcla de performance de la aeronave (velocidades mínimas, pendientes ascensionales, etc.) y la mezcla de funciones operativas (de pasajeros, de carga, de instrucción, etc.). En concreto, debe analizarse la capacidad de navegación prevista de la flota.

- a) ¿Cuántas de las aeronaves cuentan con un sistema RNAV?
- b) ¿Cuáles son los principales sistemas de determinación de la posición que utilizan los sistemas RNAV [sistema mundial de navegación por satélite (GNSS), radiofaro omnidireccional VHF (VOR), equipo radiotelemétrico (DME/DME)]?
- c) ¿Encaja un sistema de navegación inercial/sistema de referencia inercial (INS/IRS) de aumentación de a bordo?
- d) ¿En virtud de qué normas han sido certificados los sistemas RNAV?
- e) ¿Para qué operaciones han sido aprobados la aeronave y los transportistas? y
- f) ¿Qué porcentaje de la flota no es capaz de implantar la PBN propuesta?

2.2.6.3 Antes de la introducción del nuevo concepto de espacio aéreo, es importante verificar la aprobación del equipo RNAV existente, las capacidades y cualificaciones reales de los sistemas que se estén transportando y las mejoras en ellos que se esperen implantar. Es costoso para un explotador conseguir la aprobación para una capacidad RNAV específica y mantener la aceptación del piloto para explotarla. Como resultado, los explotadores, especialmente regionales, procurarán obtener la aprobación mínima necesaria para cumplir los requisitos de navegación existentes para el espacio aéreo. Si el nuevo concepto de espacio aéreo requiere de una funcionalidad presente en el programa informático del sistema RNAV no comprendida en la certificación existente, los explotadores tendrán que conseguir la aprobación y capacitar a los pilotos al respecto. No obstante, el costo (y la implantación de plazos resultante) será significativamente menor que si la aeronave necesitara ser reacondicionada con nuevo equipo o programas informáticos.

2.2.6.3.1 Se requieren un profundo conocimiento de las capacidades de la flota y una comprensión realista de las probables mejoras en las mismas que se producirán antes de la fecha de implantación. Las proyecciones demasiado entusiastas de dichas capacidades dan lugar inevitablemente a importantes retrasos en el proyecto e incluso a anulaciones. Por ello, es importante comunicarse con los explotadores de aeronaves y las entidades que reglamentan para obtener una estimación realista de las futuras capacidades de la flota y llevar a cabo análisis objetivos de costo/beneficios a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

2.2.6.4 Los objetivos del proyecto junto a las hipótesis sobre el tránsito y las capacidades de la flota previstas sirven para determinar cuáles de las especificaciones OACI para la navegación pueden aplicarse a las ulteriores fases de diseño. Estas especificaciones se utilizan como base para el posterior diseño del espacio aéreo y de los procedimientos. Las fases de especificación para la navegación, diseño del espacio aéreo y de los procedimientos son de carácter iterativo y pueden experimentar modificaciones antes de que se confirmen definitivamente en la Actividad 10 las especificaciones para la navegación determinadas.

2.2.6.5 La elección de la muestra de tránsito para el nuevo concepto de espacio aéreo es tan importante como el conocimiento de la propia flota ya que las rutas [rutas ATS, SID/STAR o los procedimientos de aproximación por instrumentos (IAP)] deberían emplazarse de tal modo que se garantizara la máxima eficiencia de vuelo, la máxima capacidad y el mínimo impacto ambiental (véase la Figura 2-6). Más aún, los enfoques SID y STAR crean un vínculo entre las principales rutas ATS en ruta y el umbral de las pistas activas (de ahí la importancia de conocer la pista

principal y secundaria en uso). Las muestras de tránsito para el nuevo concepto de espacio aéreo son generalmente muestras del tránsito futuro, esto es, en las que se han formulado determinadas hipótesis sobre la composición de la flota, el calendario de vuelos y la evolución de la demanda con respecto tanto al volumen como a los circuitos de tránsito.

2.2.6.5.1 El éxito de un concepto de espacio aéreo puede mantenerse o decrecer en función de las hipótesis de tránsito. Pueden utilizarse diversos modelos para determinar los pronósticos de tránsito aéreo, y aunque puede ayudar considerablemente el conocimiento del ATC actual sobre los flujos de tránsito aéreo, debe analizarse a fondo la muestra de tránsito propuesta para 20XX, teniendo en cuenta las proyecciones de todas las partes interesadas que se vean afectadas. Invariablemente, se determinarán ciertas características en la muestra de tránsito, por ejemplo, en el concepto de espacio aéreo deben tenerse en cuenta las variaciones estacionales, semanales o diarias de la demanda, los cambios en las horas de mayor tránsito y la relación entre los flujos de llegadas y de salidas (véase la Figura 2-7).

2.3 FASE DE DISEÑO

2.3.1 Introducción

2.3.1.1 Una vez aceptadas las hipótesis ATM/CNS, se da comienzo al diseño del espacio aéreo. Tanto para el espacio aéreo en ruta como terminal, su diseño consiste en un proceso iterativo, en el que se utilizan preferentemente la evaluación cualitativa y el juicio operacional de los controladores, los pilotos y los diseñadores del espacio aéreo y de procedimientos del equipo.

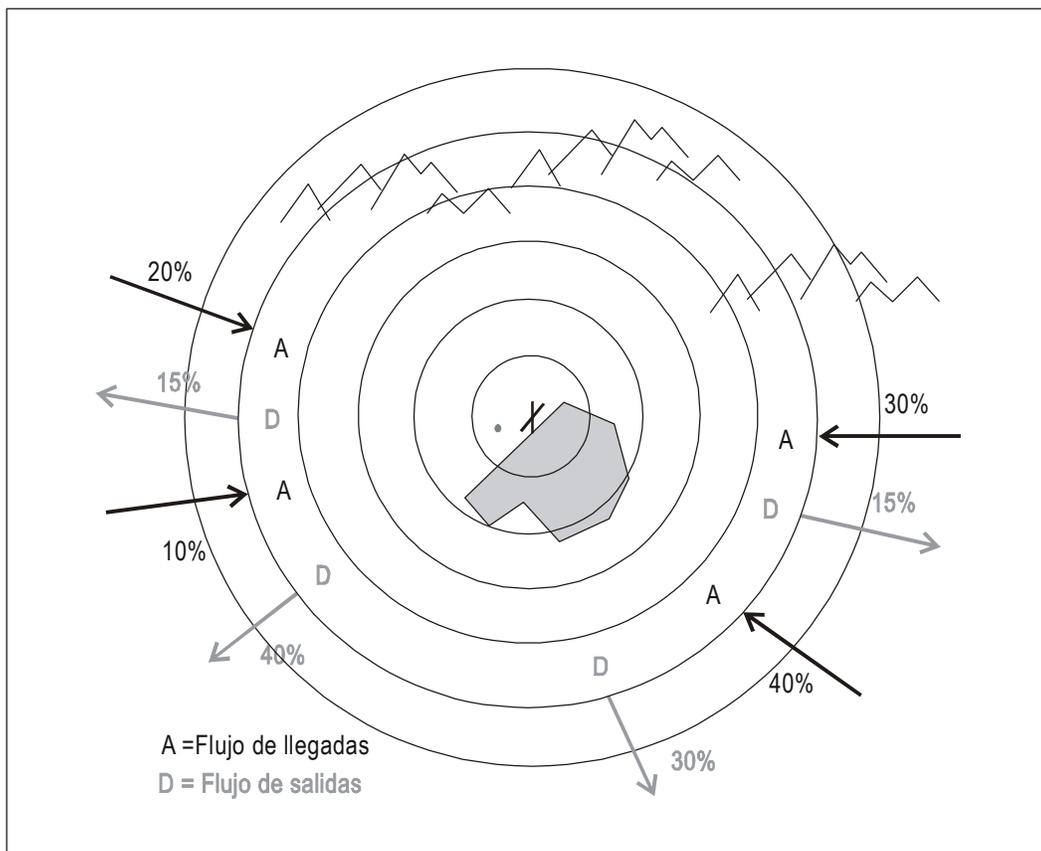


Figura 2-6. Ejemplo de hipótesis de tránsito futuro

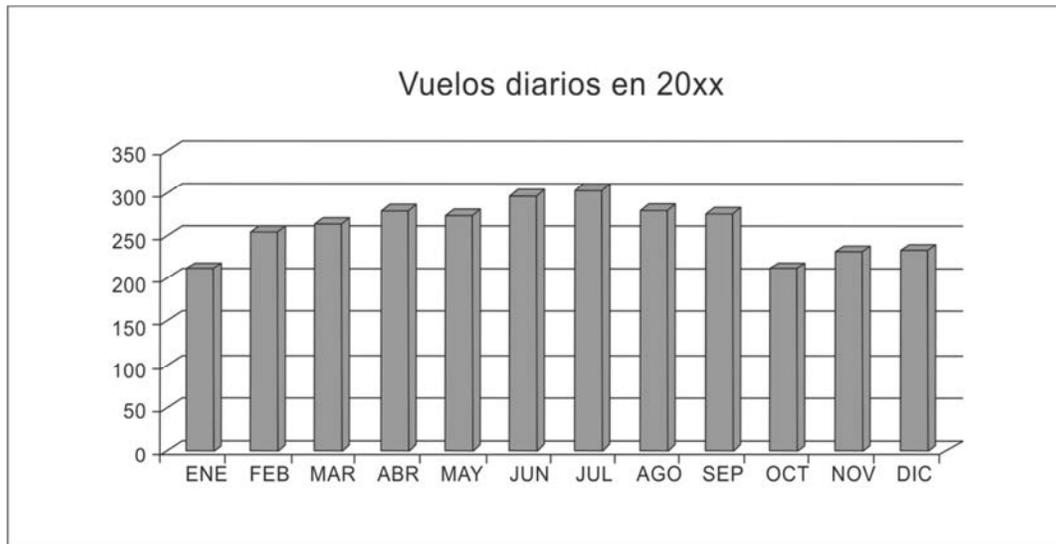


Figura 2-7. Ejemplo de pronósticos de tránsito

2.3.1.2 Es crucial garantizar la coherencia entre el espacio aéreo en ruta y el terminal — los diseños en ruta deben estar completamente integrados en los diseños terminales.

2.3.1.3 El diseñador de procedimientos debe participar en el diseño conceptual inicial dirigido por los controladores operacionales, actuando como facilitador durante este proceso y proporcionando orientación sobre el emplazamiento de rutas propuesto desde una perspectiva tanto de margen de franqueamiento de obstáculos/despeje del espacio aéreo como de performance de la aeronave.

2.3.1.4 Los pilotos técnicos del equipo son también fundamentales para el diseño conceptual inicial al brindar información sobre la performance real de la aeronave (por ejemplo, la relacionada con el ascenso/descenso y con los virajes), lo que resulta más efectivo que depender de modelos teóricos por computadora que contengan parámetros de performance de la aeronave.

2.3.1.5 Primeramente, el equipo diseñará las SID/STAR y las rutas ATS. Se trata de un proceso analítico iterativo que comienza a nivel conceptual y se convierte en una actividad de diseño detallado y riguroso. Puede llevarse a cabo utilizando papel y lápiz, en particular durante la fase conceptual, y con apoyo de programas informáticos, especialmente durante la fase de diseño pormenorizado. El emplazamiento de rutas suele estar determinado por la demanda de tránsito, las pistas en uso, los objetivos estratégicos y las restricciones que impongan los obstáculos y el espacio aéreo reservado. También puede depender de la cobertura proporcionada por las ayudas para la navegación basadas en tierra, en caso de requerirse un apoyo tal (véase la Figura 2-8).

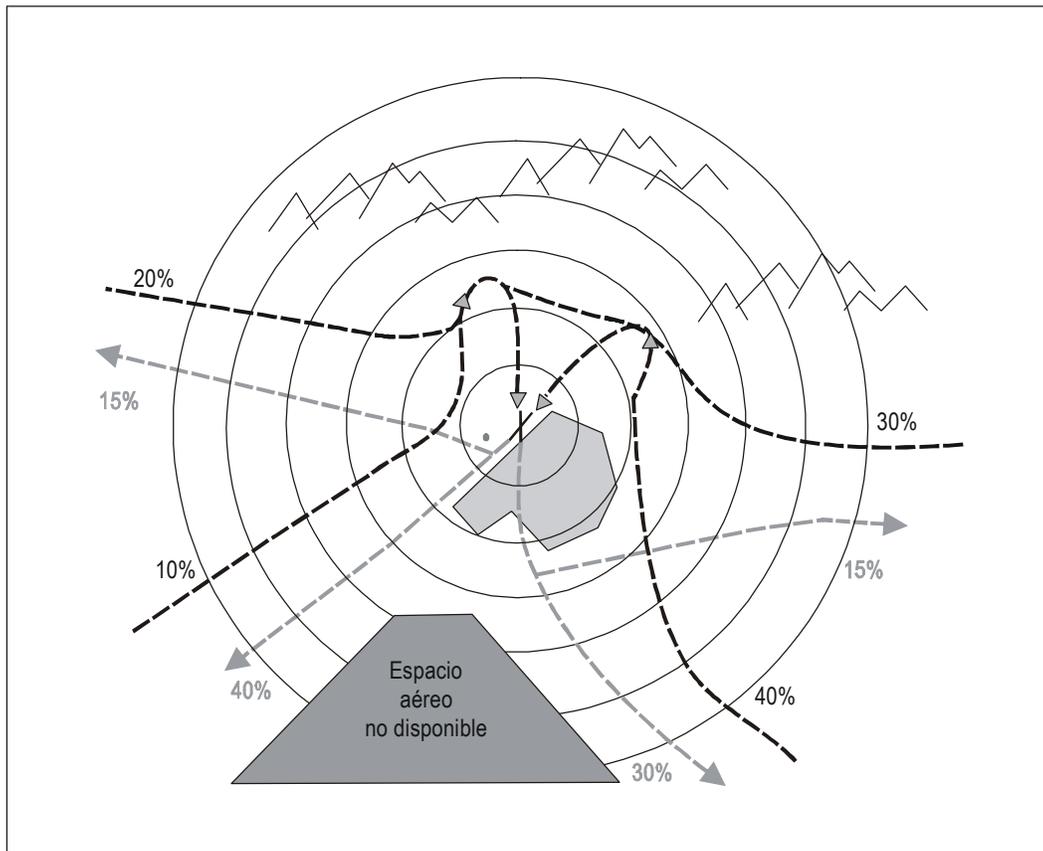


Figura 2-8. Ejemplo de propuesta de concepto de espacio aéreo

Nota 1.— El espaciado entre rutas requerido y la infraestructura CNS disponible ayudan a confirmar si la capacidad de la flota de la Actividad 6 junto con la elección preliminar entre las especificaciones de la OACI RNAV o RNP existentes respaldarán la propuesta de diseño de ruta.

Nota 2.— El papel del diseñador de procedimientos en la descripción de rutas del espacio aéreo terminal y su emplazamiento reviste una importancia decisiva. Es este especialista quien asesora al equipo sobre si las rutas previstas se corresponden con las hipótesis de especificaciones para la navegación y si pueden diseñarse de conformidad con los criterios de los PANS-OPS.

2.3.1.6 Tras diseñarse las rutas y garantizarse un margen de franqueamiento de obstáculos apropiado, se define un volumen general de espacio aéreo para proteger todas las trayectorias de vuelo IFR (TMA).

Nota.— En regiones en las que se designe como espacio aéreo controlado a la totalidad del espacio aéreo por encima de un nivel especificado, puede ser de menor aplicación la definición de volúmenes de espacio aéreo por encima de dicho nivel.

2.3.1.7 Para concluir, se sectoriza el volumen de espacio aéreo para fines de ATM (véase la Figura 2-9).

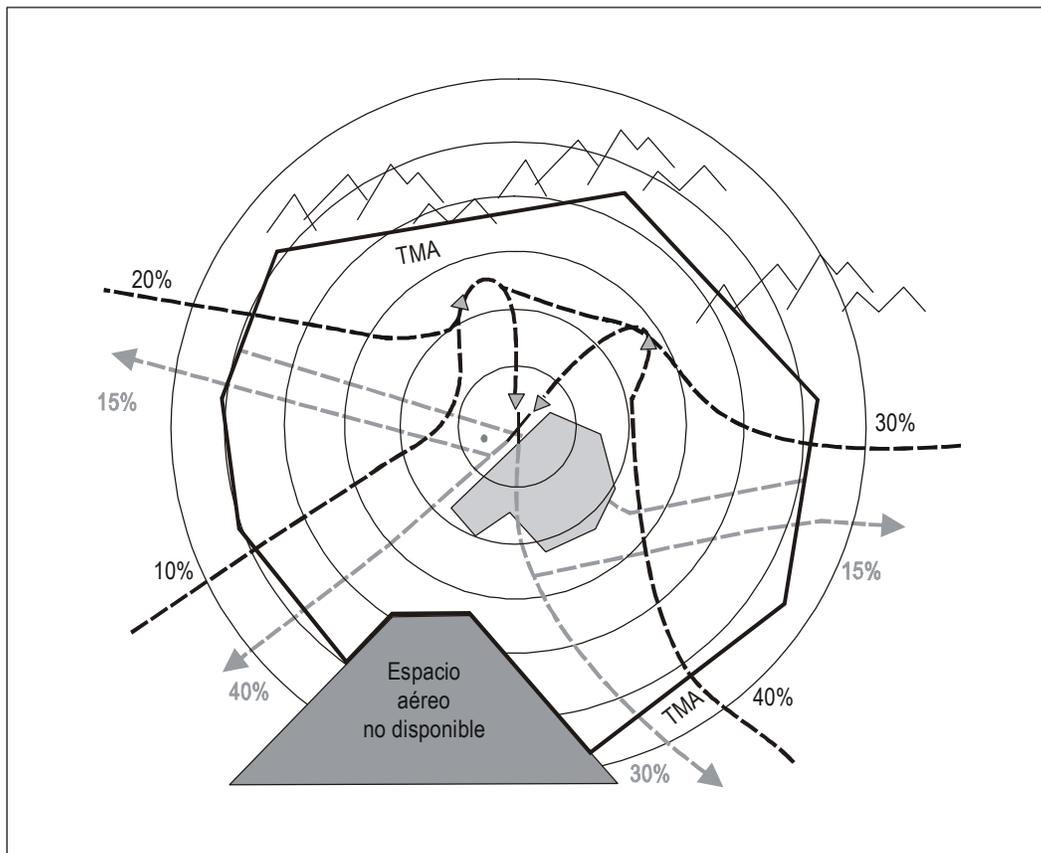


Figura 2-9. Ejemplo de concepto de espacio aéreo con estructura

2.3.1.8 Las distintas actividades y el carácter iterativo de la tarea indican que debe existir una estrecha cooperación entre todas las partes interesadas que intervengan en el proceso (véase la Figura 2-10).

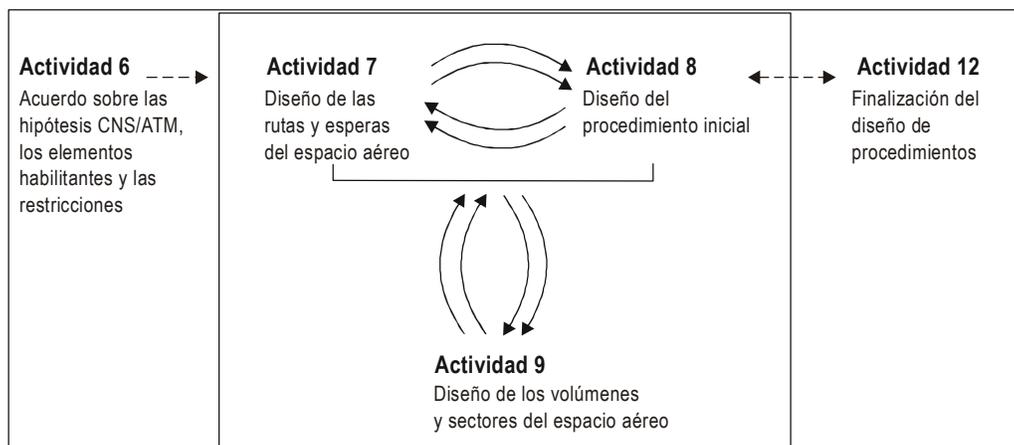


Figura 2-10. Iteraciones del diseño

2.3.2 Actividad 7: Rutas y esperas del espacio aéreo

2.3.2.1 La PBN posibilita el emplazamiento de rutas en los lugares más óptimos siempre y cuando las ayudas para la navegación basadas en tierra o en el espacio proporcionen la cobertura necesaria. Ello significa que las rutas podrán emplazarse de manera que:

- a) aumenten la capacidad evitando conflictos entre las corrientes de tránsito tanto en el plano lateral como vertical;
- b) mejoren la eficacia operacional acortando las longitudes de ruta;
- c) alienten las operaciones de descenso continuo (CDO) o de ascenso continuo (CCO) con ventanillas verticales y, de ese modo, posibiliten perfiles más eficientes en términos de ahorro de combustible que reduzcan el impacto ambiental (ruido, emisiones de gases de efecto invernadero, etc.);

Nota.— Las CDO se abordan en detalle en el Manual de operaciones de descenso continuo (CDO) (Doc 9931) y las CCO en el Manual de operaciones de ascenso continuo (CCO) (Doc 9993).

- d) eviten áreas sensibles al ruido;
- e) eludan el tránsito bidireccional en la misma ruta con rutas paralelas;
- f) brinden distintas opciones de rutas entre dos aeropuertos;
- g) mejoren la accesibilidad aeroportuaria; y
- h) perfeccionen la seguridad operacional.

Lo que es más importante, la PBN logra una conectividad eficiente entre los procedimientos en ruta y terminales posibles, garantizando así un ciclo ininterrumpido de rutas. Todas estas ventajas no invalidan las mejores prácticas en el diseño de rutas desarrolladas durante décadas. A continuación se facilitan algunas de estas consideraciones.

Nota.— En los siguientes párrafos, el término “rutas ATS” se refiere a aquellas rutas generalmente designadas conforme al Apéndice 1 del Anexo 11 (por ejemplo UL611), mientras que “rutas terminales” alude a IAP y SID/STAR designados de conformidad con el Apéndice 3 del Anexo 11 (por ejemplo, KODAP 2A) y el Capítulo 11 del Anexo 4.

2.3.2.2 Las redes de rutas ATS abarcan la mayoría de continentes del mundo y reflejan las principales corrientes de tránsito que atraviesan las masas de tierra. Deben planificarse a escala continental, regional o de área, según proceda, lo que se traduce invariablemente en una red de rutas más eficiente y evita posibles conflictos entre las corrientes de tránsito.

2.3.2.3 El espaciado entre rutas, que desempeña un importante papel a la hora de determinar la capacidad de un espacio aéreo, depende mucho de la infraestructura CNS/ATM en la que se sustente la operación. Por ejemplo, cuando se haya aplicado la RNAV 5 en un espacio aéreo europeo de gran densidad, solamente podrá lograrse un espaciado entre rutas de 10–15 NM si está disponible una vigilancia radar adecuada y la infraestructura ATM respalda la supervisión del comportamiento de la derrota por parte del controlador. El espaciado entre rutas también se verá afectado por la situación geográfica del espacio aéreo pertinente, las principales corrientes de tránsito y el volumen de las operaciones de tránsito mixto. Algunos criterios para el espaciado entre rutas pueden solamente abordar la distancia entre los segmentos en línea recta paralelos sin tener en cuenta la performance variable en los virajes de las distintas

aeronaves a diferentes altitudes. Muchas aeronaves limitan el ángulo de inclinación lateral por encima de FL190, lo que puede conducir a que los virajes se inicien hasta 20 NM antes de un punto de recorrido de paso. A fin de lograr una segregación de la derrota durante los virajes, se debe, o bien exigir a todas las aeronaves la capacidad de perseguir virajes de radio fijo, o bien aumentar significativamente el espaciado entre rutas en los puntos de viraje. En estos también debe incrementarse el espaciado entre las trayectorias curvas paralelas.

2.3.2.4 Las corrientes de tránsito continental dan servicio a múltiples aeropuertos y, para evitar mezclar el tránsito de sobrevuelo con el de ascenso y descenso, los diseñadores deberían tender a separar las rutas ATS (negro) de las terminales hasta/desde los aeropuertos (líneas grises/discontinuas) (véase la Figura 2-11).

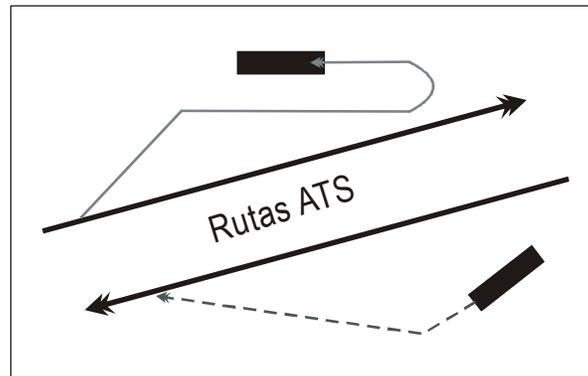


Figura 2-11. Rutas segregadas

2.3.2.5 Mientras que los explotadores y directores de medio ambiente se concentran en el emplazamiento de cada ruta terminal en términos de eficiencia de vuelo, atenuación de las repercusiones ambientales y margen de franqueamiento de obstáculos/posibilidad de aplicar el procedimiento en la práctica, el ATC ha de gestionar el tránsito a lo largo de todas las rutas en conjunto. El diseño del espacio aéreo, desde una perspectiva de ATC, se centra en la interacción entre el flujo de llegadas y de salidas. Estos objetivos dispares no son mutuamente excluyentes. Es posible diseñar rutas terminales y alcanzar la mayoría de los objetivos, aparentemente contradictorios. Debe tenerse cuidado al seleccionar los puntos de cruce de las rutas de salida y llegada para garantizar que no se vean restringidas ni las aeronaves que salen ni las que llegan. Es importante conocer bien la performance de la flota. En el gráfico de la Figura 2-12 se ilustran las zonas de conflicto para pendientes ascensionales del 3%, el 7% y el 10% (azul), y los perfiles de llegada de grado 2 y 3 (verde) a varias distancias de la pista.

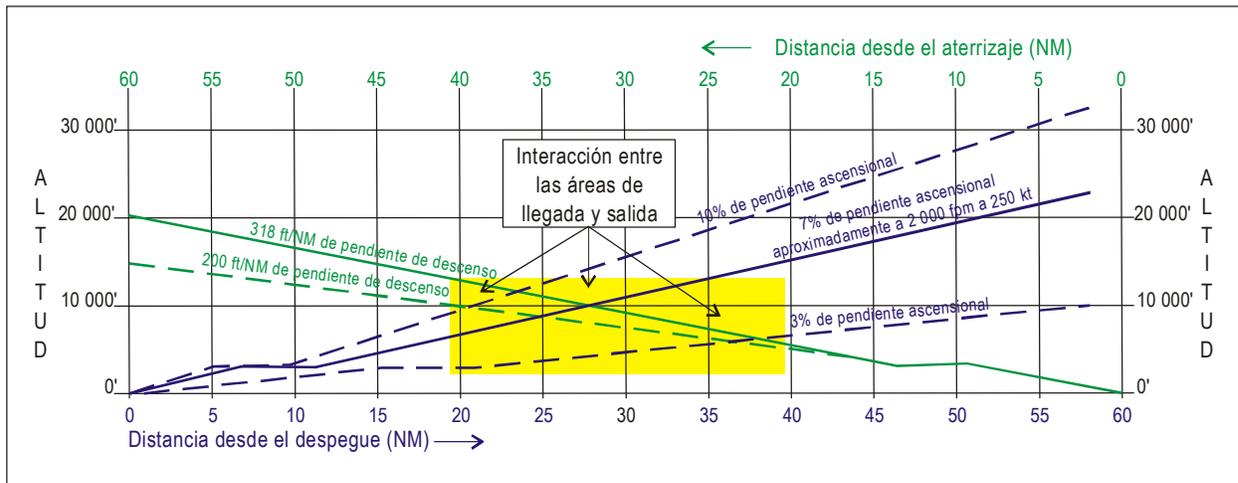


Figura 2-12. Interacción vertical

Ejemplo: Una salida con una pendiente ascensional del 7% (línea azul continua) a 25 millas de derrota de la pista de aterrizaje entrará en conflicto con la llegada (línea verde discontinua) a 35 millas de derrota del umbral, cuando ambas aeronaves se encuentren en la región de 9 000 pies por encima de la elevación del aeródromo. Un punto de cruce en este emplazamiento obstaculizaría tanto la salida como la llegada.

2.3.2.6 En la actualidad, tres son las “prácticas” o “modelos” ATM que pueden observarse en el diseño de los espacios aéreos terminales con mucho tránsito. El primero conlleva una serie de esperas que se emplean para mantener la presión sobre el espacio aéreo terminal alimentando una corriente continua de afluencia de llegadas procedentes de las pilas de espera hacia el sistema de llegada/aproximación. El segundo modelo es más flexible en el sentido en que, para evitar la espera de las aeronaves, se diseñan rutas de llegada a terminal más largas para la pista de aterrizaje. El tercer modelo planifica previamente una secuenciación avanzada mediante un sistema de gestión de llegadas manual o automático que ajusta la salida y/o los tiempos de vuelo en ruta para mantener una corriente equilibrada de aeronaves en los puntos de llegada a terminal designados. Las extensiones lineales anticipadas del encaminamiento PBN ampliado o el uso de instrumentos ATM de gestión de llegadas permiten al piloto planificar mejor el perfil de descenso y, por tanto, beneficiarse de una espera terminal a baja altitud.

2.3.2.7 Las STAR PBN pueden diseñarse como procedimientos de llegada con trayectorias “abiertas” o “cerradas” (véase la Figura 2-13). Las STAR abiertas proporcionan una guía de derrota a una posición de la derrota a favor del viento desde la cual la aeronave es guiada tácticamente (dirigida) por el ATC para interceptar la derrota de aproximación final. Las STAR cerradas proporcionan una guía de derrota continua a la derrota de aproximación final para una transición automática a la aproximación final, y como la aeronave siempre se encuentra en una trayectoria definida, brindan una excelente posibilidad de predecir tanto al piloto como al controlador. En las STAR cerradas, el sistema RNAV siempre cuenta con una distancia definida hasta el punto de toma de contacto, lo que posibilita una gestión automatizada del perfil vertical, permitiendo así la máxima eficiencia de vuelo. Las STAR cerradas también pueden diseñarse y publicarse de manera que el ATC facilite un encaminamiento alternativo a modo táctico mediante la provisión de puntos de recorrido adicionales para proporcionar un “alargamiento” o reducción de la trayectoria. Todo cambio táctico afectará al perfil vertical si se introduce tras alcanzar la aeronave el “comienzo del descenso”. Una STAR abierta requiere de instrucciones de encaminamiento táctico (guía vectorial) para alinear la aeronave con la derrota de aproximación final. El sistema RNAV puede gestionar el descenso hasta el punto final de la STAR antes de la intervención del ATC, pero no puede garantizar un perfil CDO ya que el sistema de gestión de vuelo (FMS) desconoce las millas de derrota que probablemente se recorrerán con el encaminamiento táctico. La planificación anticipada del piloto es también más complicada al utilizar una STAR abierta, pese a que aumenta la flexibilidad del ATC.

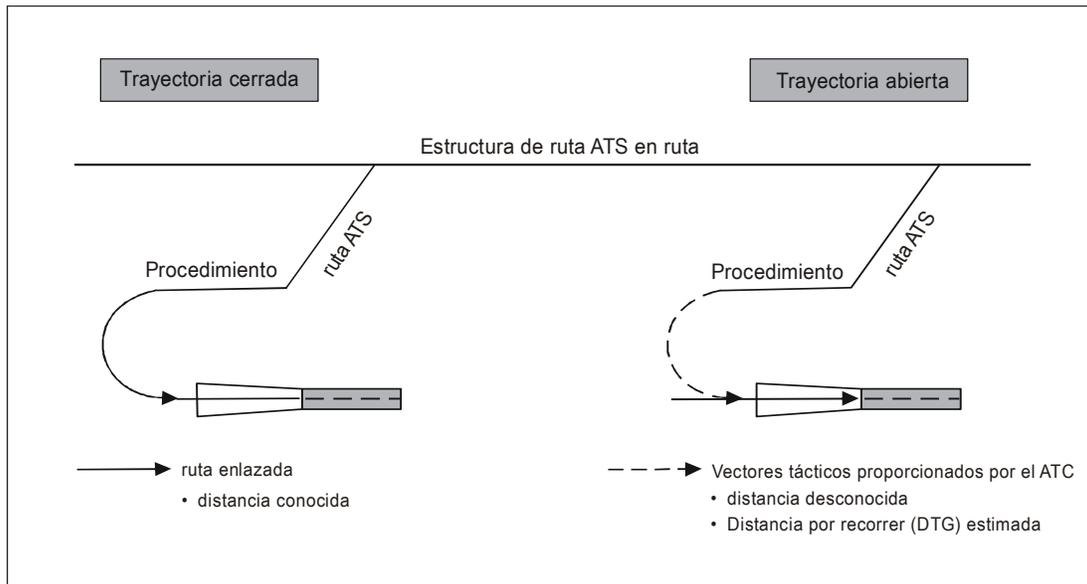


Figura 2-13. Distintas metodologías STAR

2.3.2.8 Cuando en un aeropuerto se explotan múltiples rutas de llegada, la secuenciación puede suponer un reto para el ATC. Dentro de un espacio aéreo, puede variar la mezcla de aeronaves convencionales y cualificadas para la PBN. En la elección de una STAR abierta o cerrada debe tenerse en cuenta el entorno de operación, los procedimientos ATC y los instrumentos de secuenciación disponibles. Están elaborándose métodos ATM para permitir la secuenciación eficiente de las flotas mixtas de aeronaves en múltiples rutas de llegada CDO e incluir:

- punto de integración* — método en el que se utiliza un diseño de STAR abierta que busca mantener un alto grado de flexibilidad y control del ATC mediante el uso de “arcos de espera laterales” en segmentos por niveles (véase la Figura 2-14);
- puntos de decisión estructurados* — método en el que se utiliza una STAR de trayectoria cerrada para mantener una trayectoria de descenso eficiente al tiempo que se concede al ATC la ventaja de secuenciar la aeronave con suficiente antelación. Esto se consigue aprovechándose de que en una STAR de trayectoria cerrada siempre se conoce la distancia exacta hasta la pista. Se crean entonces los puntos de recorrido de las distintas STAR equidistantes del aeropuerto. El controlador utiliza estos puntos equidistantes para comprobar la separación y tomar con anticipación medidas predefinidas para ajustarla en caso necesario (véase la Figura 2-15);
- intervalo definido* — método en fase de elaboración en el que se utilizan análisis dinámicos basados en el riesgo para mejorar los métodos de separación y permitir un incremento de la capacidad. El intervalo definido requiere de un alto grado de automatización para brindar información tanto al piloto como al controlador, permitiendo así el mantenimiento de un nivel de seguridad operacional definido que se asociará con cada decisión sobre la trayectoria de vuelo; y
- hora de llegada requerida* — método en fase de elaboración para asignar con suficiente antelación horas de llegada específicas de las aeronaves con respecto a los puntos de recorrido periféricos del espacio aéreo. Estas asignaciones de horas permitirán al piloto planificar con antelación la llegada de modo que se alcancen velocidades eficientes y también se mantenga un flujo de llegadas al aeropuerto equilibrado, eliminando así la necesidad de esperar al tiempo que se posibilita una CDO de trayectoria cerrada.

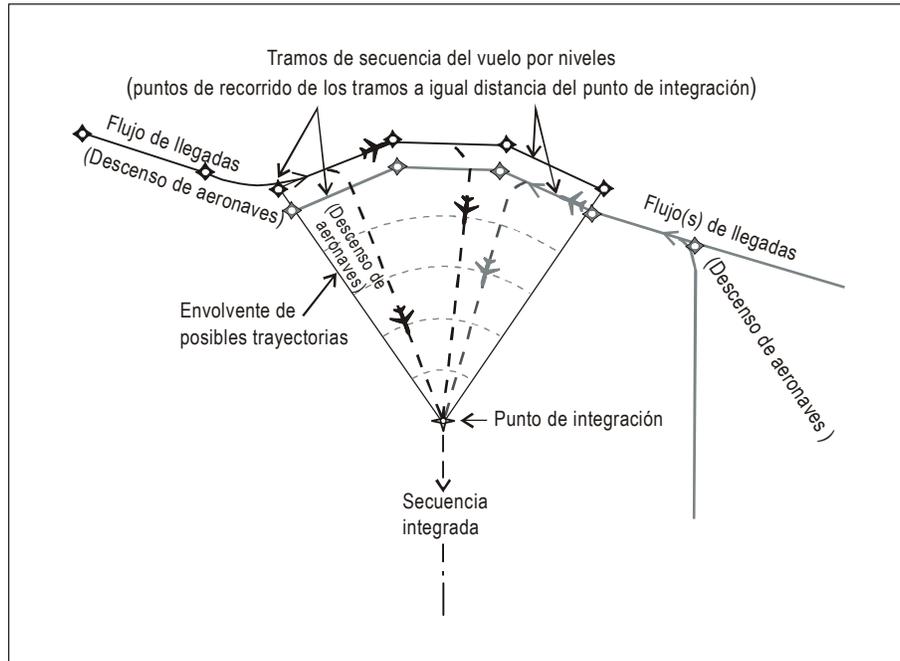


Figura 2-14. Ejemplo de diseño de un punto de integración

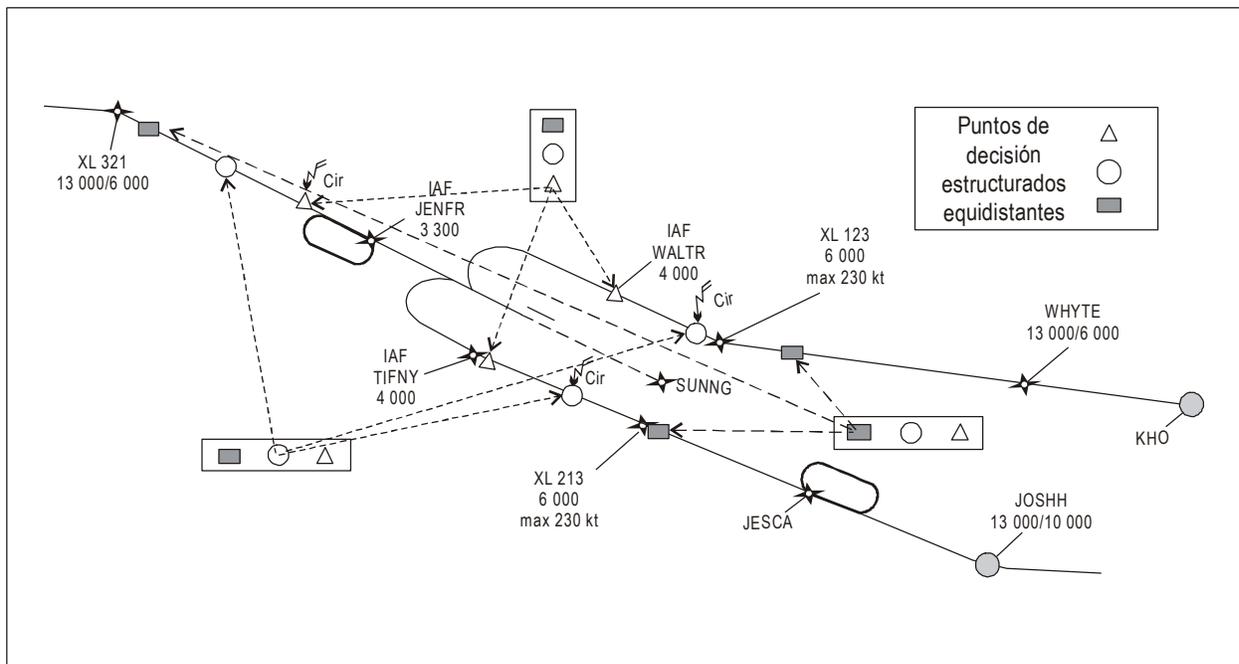


Figura 2-15. Puntos de decisión estructurados

2.3.3 Actividad 8: Diseño inicial de los procedimientos

2.3.3.1 El diseño preliminar de los procedimientos se organiza conjuntamente con el diseño del espacio aéreo y comprende cuatro etapas:

- a) primeramente, se analiza el diseño del espacio aéreo para confirmar qué performance de navegación es necesaria para conseguir el diseño previsto;
- b) seguidamente, se analiza la capacidad de la flota para determinar si cumple con la performance de navegación requerida por el diseño previsto;
- c) a continuación se analiza la infraestructura de ayudas para la navegación a fin de dilucidar si la cobertura de éstas es suficiente para respaldar el diseño previsto — si se espera utilizar ayudas para la navegación basadas en tierra, debería comprobarse su disponibilidad y cobertura antes de que el diseño vaya demasiado lejos; y
- d) se analizan las rutas y esperas propuestas para determinar si son factibles, teniendo en cuenta la performance de navegación necesaria [véase el apartado b) anterior], la cobertura de ayudas para la navegación disponible, los criterios apropiados para el espaciado entre rutas y las limitaciones de obstáculos.

2.3.3.2 Si la capacidad de la flota o la infraestructura de navegación es inadecuada, puede ser necesario buscar soluciones intermedias, lo que podría significar modificar el concepto de espacio aéreo. Si las rutas demuestran no ser factibles, tendrá que reconsiderarse el diseño de dicho espacio.

2.3.3.3 La elección de la performance de navegación puede realizarse al principio del proceso de diseño basándose en las decisiones tomadas en la Actividad 6. Al tornarse el diseño más específico, el diseñador de procedimientos del equipo de diseño del espacio aéreo debería aclarar si se requerirán determinadas funcionalidades y si se espera que estén disponibles.

2.3.4 Actividad 9: Volúmenes y sectorización del espacio aéreo

2.3.4.1 El diseño de rutas ATS, rutas terminales, estructuras del espacio aéreo y sectorización ATC es un proceso iterativo. Las estructuras del espacio aéreo y la sectorización ATC se examinan una vez completadas las rutas ATS y terminales. La estructura del espacio aéreo se crea para proteger las trayectorias de vuelo IFR, tanto vertical como lateralmente, pudiendo ser necesario modificar las rutas para garantizar que encajen en dicha estructura. Una vez se ha completado ésta, se sectoriza el espacio aéreo para fines de ATM, pudiendo ser de nuevo necesario reconsiderar el emplazamiento de rutas. Ni las estructuras ni los sectores han de ceñirse necesariamente a las fronteras nacionales. Es posible, e incluso deseable por motivos de eficiencia de vuelo y capacidad, diseñar estructuras o sectores del espacio aéreo transfronterizos. En tales casos, habrá de considerarse la delegación del ATS.

2.3.4.2 La sectorización del espacio aéreo puede ser funcional o geográfica:

- a) en la sectorización geográfica se divide el volumen del espacio aéreo en bloques 3D en los que un controlador es responsable de todo el tránsito dentro del bloque (sector); y
- b) en la sectorización funcional se estructura el espacio aéreo por función de la fase de vuelo de una aeronave. Por ejemplo, en espacios aéreos terminales, un controlador puede ser responsable de la aeronave que llega y otro de la que sale dentro del mismo bloque 3D del espacio.

2.3.4.3 El espacio aéreo en ruta tiende a sectorizarse de manera geográfica mientras que el terminal puede utilizar uno o ambos tipos de sectorización (véase la Figura 2-16). En muchos centros, se emplea un híbrido de sectorización funcional y geográfica.

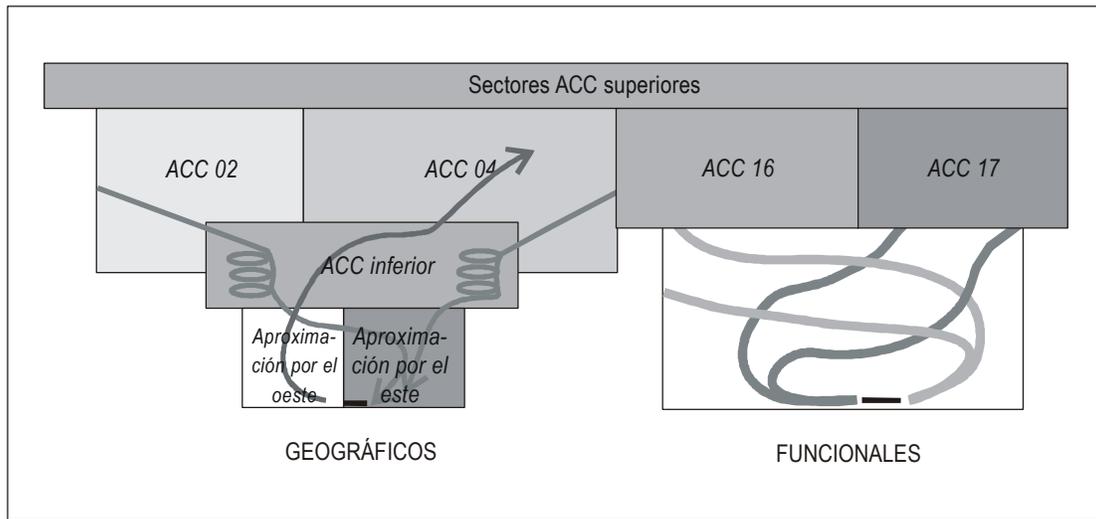


Figura 2-16. Ejemplos de sectorización

2.3.5 Actividad 10: Confirmación de la especificación OACI para la navegación determinada en la Actividad 6

2.3.5.1 Esta actividad consiste en confirmar la especificación para la navegación del manual de la PBN que se corresponda, en términos de performance/funcionalidad de navegación, con los requisitos del concepto de espacio aéreo. Puede ser una tarea difícil de lograr, motivo por el cual en la Actividad 6 se recalca la importancia de efectuar un análisis riguroso de la flota de aeronaves. Al ser rara vez rentable solicitar que en una proporción significativa de la flota se reacondicionen los sistemas o los sensores RNAV para lograr una funcionalidad específica, es determinante que el diseño de las Actividades 7 a 9 se mantenga dentro de los límites de la capacidad actual de la aeronave. La introducción europea de la RNAV 5 proporciona un ejemplo útil de cómo tuvieron que “rebajarse” las expectativas a consecuencia del equipamiento de la flota. En los años noventa, la intención inicial residía en la implantación de la RNAV 1, pero ésta tuvo que limitarse a la de la RNAV 5 cuando, tres años antes de la fecha de implantación, quedó patente que la sustitución natural que se esperaba realizar del equipo más antiguo por sistemas compatibles con la RNAV 1 era mucho más lenta de lo previsto y que los reacondicionamientos serían muy costosos.

2.3.5.2 Si se impone, entonces todas las aeronaves que atraviesen el espacio aéreo podrán volar por nuevas rutas y emplear nuevos procedimientos. No obstante, deberá demostrarse que el beneficio de esta imposición supera al costo de implantación.

2.3.5.3 Una opción puede ser considerar un entorno mixto de navegación que conlleve una o más especificaciones para la navegación PBN y tránsito que utilice navegación convencional. Los entornos mixtos de navegación generalmente se suceden en uno de los tres escenarios que siguen:

- a) se implanta una aplicación PBN, pero no como una obligación, y se conserva la navegación convencional;

- b) se impone una “obligación mixta” al volumen del espacio aéreo — generalmente operaciones en ruta u oceánicas/remotas basadas en procedimientos en las que se requiere una aplicación RNAV para realizar operaciones a lo largo de un conjunto de rutas o altitudes, y una aplicación RNP a lo largo de otro conjunto de rutas o altitudes dentro del mismo espacio aéreo; o
- c) en un espacio aéreo se implanta una mezcla de aplicaciones RNAV o RNP, pero para los explotadores no es obligatorio tener la capacidad de realizarlas. Nuevamente, la navegación convencional podría ser autorizada para las aeronaves que no estén aprobadas para ninguna de las especificaciones de navegación.

2.3.5.4 Los entornos mixtos de navegación pueden tener repercusiones negativas en la carga de trabajo ATC, particularmente cuando se trata de operaciones en ruta o de áreas terminales muy densas. La aceptabilidad de un entorno mixto de navegación también depende de la complejidad de la estructura de la ruta ATS o terminal, del diseño de procedimientos y de la disponibilidad y funcionalidad de las herramientas de apoyo ATC. La mayor carga de trabajo ATC puede crear la necesidad de limitar las operaciones mixtas a un máximo de dos tipos, en los que existe un nivel principal de capacidad. En algunos casos, el ATC sólo puede aceptar un entorno mixto cuando un elevado porcentaje (70%–90%) del tránsito esté aprobado respecto a la especificación para la navegación requerida. Por estas razones, es de crucial importancia que las operaciones en un entorno mixto de navegación sean evaluadas correctamente a fin de determinar su viabilidad.

2.4 FASE DE VALIDACIÓN

2.4.1 Visión general

Una vez completado el diseño del espacio aéreo, el concepto se habrá convertido en una obra de envergadura que necesita ser validada y comprobada. La validación se lleva a cabo en varias fases:

- a) el concepto de espacio aéreo suele validarse durante el proceso de diseño y, de nuevo, cuando éste se completa; y
- b) las nuevas rutas se validan una vez que finaliza el proceso de diseño.

Nota.— En la siguiente sección se aborda la validación del concepto de espacio aéreo y del diseño del mismo. La validación del diseño de procedimientos de vuelo por instrumentos se trata en el Doc 8168, Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Operación de aeronaves, Volumen II — Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos y en el Manual de garantía de calidad para el diseño de procedimientos de vuelo (Doc 9906).

2.4.2 Actividad 11: Validación del concepto de espacio aéreo

2.4.2.1 Los principales objetivos de la validación del concepto de espacio aéreo residen en:

- a) evaluar si pueden lograrse los objetivos del proyecto aplicando el diseño del espacio aéreo y el concepto de espacio aéreo en general y si el análisis de rentabilidad es positivo;
- b) examinar la validez de la ATM del diseño del espacio aéreo;
- c) determinar los posibles puntos débiles del concepto y elaborar medidas de atenuación; y

d) demostrar que el diseño es seguro, esto es, para respaldar la evaluación de la seguridad operacional.

2.4.2.2 Los métodos de validación pueden dar resultados cuantitativos o cualitativos. Se necesitan ambos tipos de resultados, y las validaciones se llevan a cabo simultáneamente al necesitar cada uno información obtenida por el otro método. Es esencial que los resultados se consideren como una sola entidad aun cuando provengan de métodos significativamente distintos. En términos generales, la evaluación cuantitativa hace referencia a los métodos de validación de carácter numérico y se basa en la cuantificación de datos. Estos métodos están fundamentados, por lo general, en instrumentos que suelen ser simuladores informáticos. La evaluación cualitativa no se basa tanto en datos, sino más bien en el análisis objetivo, el razonamiento, la argumentación y la justificación. No obstante, los datos de una evaluación cuantitativa tampoco pueden ser aceptados sin un análisis y, por ende, el resultado final dependerá del uso eficaz de los instrumentos de evaluación cualitativa. En la Tabla 2-3 se facilita una comparación de los distintos métodos de elaboración de modelos.

Tabla 2-3. Ejemplo de comparación de modelos

	<i>Entrada de muestra</i>	<i>Punto de referencia de la evaluación empleado</i>	<i>Resultado</i>	<i>Método de validación</i>
<i>Evaluación cualitativa</i>	Diseño del espacio aéreo publicado y propuesto (rutas/esperas, estructuras y sectores)	Criterios de performance y de seguridad operacional no numéricos basados en los SARP, los procedimientos y los textos de orientación de la OACI y las reglamentaciones nacionales/locales.	Principalmente, el razonamiento, la argumentación y la justificación textual/con diagramas.	<ul style="list-style-type: none"> – Opinión de los expertos sobre CNS/ATM – Modelado del espacio aéreo
<i>Evaluación cuantitativa</i>	<p>Diseño del espacio aéreo (rutas/esperas, estructuras y sectores), publicado y propuesto, por lo general, en forma de datos informáticos, en el que se presentan la organización del espacio aéreo y las muestras de tránsito.</p> <p>Estudios — registros de datos radar, registros de planes de vuelo, registros de vuelos, cuestionarios.</p> <p>Estadísticas y pronóstico — estadísticas de operaciones aeroportuarias, recopilación de datos meteorológicos, demanda y distribución del tránsito.</p>	Criterios de performance y de seguridad operacional numéricos absolutos, fundamentados en los criterios de performance y de seguridad operacional basados en los SARP, los procedimientos y los textos de orientación de la OACI y las reglamentaciones nacionales/locales.	Datos numéricos (principalmente)	<ul style="list-style-type: none"> – Modelado del espacio aéreo – FTS/RTS – Ensayos ATC reales – Simulación de vuelo – Herramientas analíticas de datos – Análisis estadístico – Modelado del riesgo de colisión – Modelado acústico

2.4.2.3 Tal como se ilustra en la Tabla 2-3, son varias las formas en que se lleva a cabo la validación del concepto de espacio aéreo:

- a) el modelado del espacio aéreo;
- b) la simulación en tiempo reducido (FTS);
- c) la RTS;
- d) los ensayos ATC reales;
- e) la simulación de vuelo;
- f) las herramientas analíticas de datos;
- g) el análisis estadístico;
- h) el modelado del riesgo de colisión; y
- i) el modelado acústico.

2.4.2.4 Cada método difiere en términos de costo, realismo, complejidad, tiempo y número de muestras de tránsito y de casos de prueba. Cuanto más complejo sea el método de simulación utilizado, mayor será su costo, más larga la preparación/mayor el tiempo de ejecución requeridos y los resultados más cercanos a la realidad. Sin embargo, normalmente por motivos de costo/tiempo, la cifra de muestras de tránsito/casos de prueba tiende a decrecer a medida que aumenta la complejidad del método de simulación utilizado (véase la Figura 2-17).

2.4.2.5 La mayoría de los instrumentos de validación informatizados asume una performance de navegación de alta calidad poco realista por parte de la aeronave, aunque esto no suele afectar al principal objetivo del ejercicio de validación que es la comprobación de la factibilidad de la ATM y la seguridad operacional del concepto de espacio aéreo propuesto. Cuando se desee una investigación específica sobre las repercusiones de los modos de falla en la navegación, los escenarios de simulación requerirán de una preprogramación adicional. Cabe señalar que los criterios para el espaciado entre rutas ya tienen en cuenta los modos de falla en la navegación y que la mayoría de conceptos de espacio aéreo no requerirán de simulaciones de falla en la navegación específicas.

2.4.2.6 El número, alcance y duración de los métodos de validación utilizados están directamente vinculados a la complejidad del concepto de espacio aéreo y la muestra de tránsito. Cuanto mayor sea el número de cambios y su seguridad y repercusiones operacionales, mayor será la exigencia de una investigación precisa y detallada para demostrar los beneficios operacionales y el cumplimiento de los criterios de seguridad operacional.

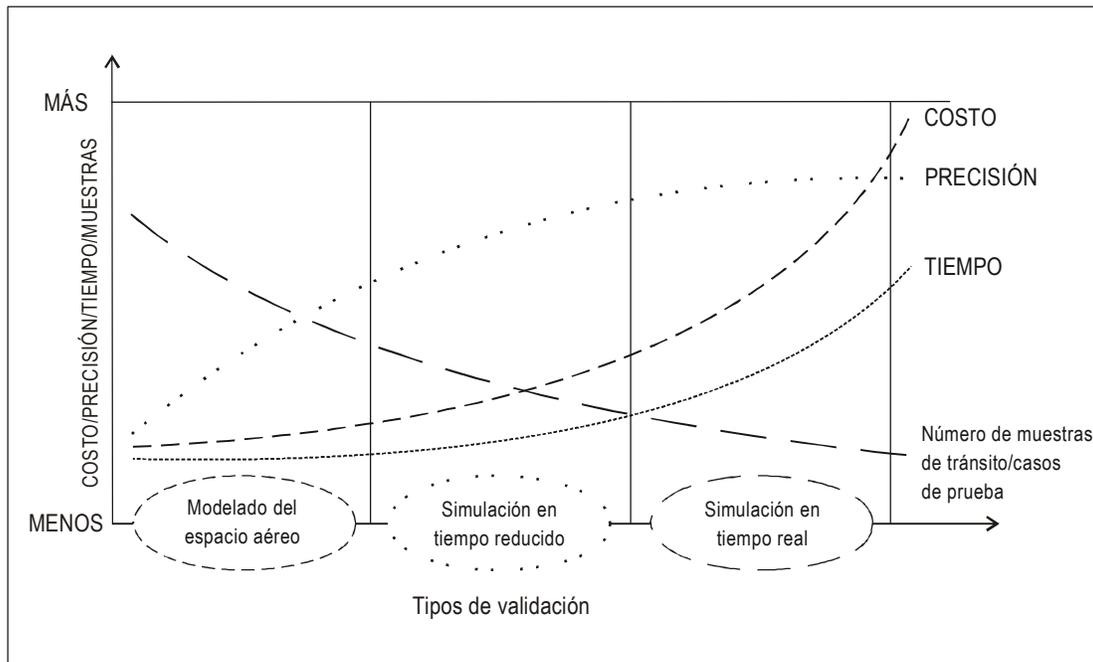


Figura 2-17. Solución intermedia de la complejidad frente al costo

2.4.2.7 El equipo de diseño debería asignar tiempo suficiente al plan de proyecto para alcanzar un nivel de evaluación apropiado (modelado, FTS y RTS, ensayos reales). La planificación debería ser lo más flexible posible ya que los resultados del método de validación podrían repercutir considerablemente en la próxima etapa de validación de la secuencia o conducir a la suspensión del proceso de validación y a un retorno a la fase de diseño. El programa de validación debería prepararse cuidadosamente durante la fase de planificación del proyecto, y reservarse con la suficiente antelación el tiempo de acceso a las FTS y RTS. Muchos de los proyectos han sido pospuestos debido a la falta de disponibilidad de los simuladores en el momento decisivo.

2.4.2.8 Si se identifican problemas durante la validación que exijan retornar a la fase de diseño del proyecto, no debería oponerse resistencia. Por muchos motivos, de los cuales no menos importante es el costo, es mejor volver a la fase inicial más pronto que tarde.

2.4.2.9 *Modelado del espacio aéreo*

2.4.2.9.1 El modelado del espacio aéreo está informatizado y tiende a ser uno de los métodos que se utilizan para validar el diseño del espacio aéreo. Se emplea durante la fase de diseño de éste pues permite al equipo competente visualizar, en tres dimensiones, el emplazamiento y el perfil de las rutas, las estructuras del espacio aéreo y la sectorización.

2.4.2.9.2 Los instrumentos de modelado del espacio aéreo pueden utilizarse como simuladores sencillos, a escala reducida, en tiempo acelerado. Su principal uso reside en crear una representación en bruto del conjunto de las rutas y estructuras del espacio aéreo (sectores) junto a su interacción con una muestra de tránsito seleccionada. El instrumento genera trayectorias 4D simplificadas (posición + tiempo) con arreglo a los planes de vuelo descritos en la muestra de tránsito (con sus reglas) en una organización del espacio aéreo en particular (con sus reglas). Estas trayectorias, unidas a los bloques del espacio aéreo, se utilizan para calcular una serie de datos estadísticos tales como la carga del sector,

la carga de los segmentos de las rutas y los conflictos. Con ayuda de instrumentos de modelado del espacio aéreo más avanzados pueden obtenerse datos más depurados sobre la carga de trabajo y la capacidad del sector. En la Tabla 2-4 se enumeran las ventajas y desventajas del modelado del espacio aéreo.

Tabla 2-4. Ventajas y desventajas del modelado del espacio aéreo

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • flexible • sencillo para evaluar varias alternativas • fácil adaptación al escenario • fácil generación de casos de prueba • fácil para crear y evaluar pruebas del tipo “¿qué pasaría si...?” • fácil para probar un amplio número de muestras de tránsito • puede usar datos procedentes de entornos ATC y de tránsito real 	<ul style="list-style-type: none"> • representación en bruto del entorno real • solamente proporciona datos estadísticos de alto nivel • no puede reproducir las intervenciones tácticas del controlador • performance básica de las aeronaves • trayectorias simplificadas • no se representan las condiciones meteorológicas • la precisión depende considerablemente de la capacidad y experiencia del evaluador • alto grado de subjetividad y, por tanto, dificultad para que intervengan los usuarios

2.4.2.10 *FTS*

2.4.2.10.1 La FTS se utiliza a menudo para validar una propuesta de concepto de espacio aéreo; también puede emplearse para demostrar que se han cumplido los objetivos de seguridad operacional.

2.4.2.10.2 El equipo de diseño del espacio aéreo puede utilizar la FTS antes que la RTS como único instrumento de validación. La FTS es menos exigente que la RTS en términos de recursos humanos y a menudo constituye el método preferido para mejorar una propuesta de diseño, determinando las fallas de un concepto y/o preparando el camino para la RTS o la implantación directa.

2.4.2.10.3 La organización del espacio aéreo y la muestra del tránsito necesitan codificarse para el entorno simulado utilizando un lenguaje y una sintaxis específicos del programa informático. Los datos de entrada comprenden rutas, la muestra de tránsito asignada a cada una de ellas, la estructura y el sector del espacio aéreo, y reglas relativas al comportamiento de las aeronaves y la ATM.

2.4.2.10.4 El motor del simulador FTS genera trayectorias 4D (posición + tiempo) para cada aeronave, basándose en la información del plan de vuelo y las reglas. El sistema comprueba cada trayectoria ante determinados eventos predefinidos, tales como los conflictos, los cambios de nivel, los cambios de ruta y la entrada o salida de un sector. Cuando se detecta un evento tal, el sistema incrementa su contador y genera parámetros de tareas vinculados a él. Por ejemplo, si detecta que una aeronave ha traspasado el límite de un sector, aumentará en uno el número de

aeronaves contabilizadas en ese sector específico y activará las tareas asignadas a los controladores (tales como la transferencia del control, la transferencia de comunicación y la identificación). En el modelo simulador, se describen por tarea las medidas de los controladores. Las tareas son medidas básicas de ATC, generadas por acontecimientos específicos y con un valor temporal conexo. Este valor es el tiempo requerido en la vida real para que el controlador cumpla la medida específica. El simulador añade los valores del parámetro de tareas a un caso de prueba dado, lo que da como resultado una indicación de la carga de trabajo del controlador. En general, no se considera que un controlador esté sobrecargado de trabajo si esta cifra no excede del 70% del tiempo total del caso de prueba. La precisión de la medición de la carga de trabajo mejora cuando el modus operandi del ATC es más detallado y formalizado. En la Tabla 2-5 se enumeran las ventajas y desventajas de la FTS.

2.4.2.11 RTS

2.4.2.11.1 La RTS se usa en las últimas etapas de la validación de una propuesta de diseño del espacio aéreo; también puede utilizarse para demostrar que se han satisfecho tanto los objetivos de seguridad operacional como los objetivos operacionales. Se emplea a menudo como comprobación final y etapa preparatoria de la implantación. Es un método que se utiliza principalmente porque brinda información real de los controladores de tránsito aéreo operacionales y por su potencial para lograr un alto grado de realismo. La RTS también permite a los controladores del tránsito aéreo familiarizarse con los cambios propuestos.

2.4.2.11.2 La RTS trata de reproducir con la mayor precisión posible el entorno real de trabajo de los controladores del tránsito aéreo. Los principales componentes de una plataforma RTS son:

- a) el motor del simulador;
- b) las posiciones de controlador activas;
- c) los seudopilotos y los sectores de alimentación; y
- d) el sistema de registro de datos.

2.4.2.11.3 El motor de simulación procesa los planes de vuelo y las entradas de los seudopilotos y los controladores y proporciona todas las posiciones de controlador activas con los datos pertinentes del mismo modo que los sistemas de procesamiento de datos radar (RDPS) y de procesamiento de datos de vuelo (FDPS). En la Tabla 2-6 se enumeran las ventajas y desventajas de la RTS.

Tabla 2-5. Ventajas y desventajas de la FTS

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • uno de los métodos más utilizados en las evaluaciones de la capacidad del sector • oportunidad para recopilar datos cualitativos • alcance relativamente ilimitado y gran flexibilidad • relativamente sencillo para evaluar varias alternativas • adaptación relativamente fácil al caso de prueba • relativamente fácil para probar un amplio número de muestras de tránsito • puede utilizar datos reales sobre tránsito y medio ambiente • buena aceptación de los resultados • puede evaluar el logro del nivel deseado de seguridad operacional (TLS) • puede informar de la evolución del fundamento de la seguridad operacional 	<ul style="list-style-type: none"> • modelo simplificado de operación “real” • solamente proporciona datos estadísticos • no puede reproducir las intervenciones tácticas del controlador • la calidad de los resultados depende considerablemente de la precisión del modelo • performance limitada de la aeronave y comportamiento simplificado de la misma • baja representación de las condiciones meteorológicas • dificultad para que intervengan los usuarios

Tabla 2-6. Ventajas y desventajas de la RTS

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • método de simulación más cercano a los ensayos ATC reales que puede utilizarse para evaluar y validar los objetivos de simulación • brinda la oportunidad de recopilar datos cuantitativos y cualitativos de gran calidad • información de los controladores basada en su experiencia operacional (evaluación cualitativa adicional) • información de los seudopilotos (en función de su pericia y de las condiciones de simulación) • puede indicar y evaluar cuestiones relacionadas con la performance de los factores humanos (evaluación cuantitativa y cualitativa adicional) • recopilación automática de datos (para una evaluación cuantitativa) • alcance ilimitado y mayor flexibilidad en comparación con los ensayos reales (evaluación cualitativa adicional) • sin riesgo para la operación real • permite comprobar los procedimientos de contingencia y el análisis de riesgos (evaluación cualitativa y cuantitativa) • sencillo para evaluar varias alternativas • información en línea y adaptación al escenario (evaluación cualitativa) • puede utilizar datos reales sobre tránsito y medio ambiente (datos cuantitativos) • buena aceptación de los resultados por los controladores (evaluación cualitativa de amplio alcance) • permite a los controladores familiarizarse con los cambios propuestos • puede ser parte de un fundamento de la seguridad operacional 	<ul style="list-style-type: none"> • ambiente estéril: capacidades limitadas de la interfaz ser humano-máquina (IHM), transmisión artificial por radio (RT), performance del radar limitada • performance limitada de la aeronave y comportamiento simplificado de la misma • comportamiento de la aeronave poco realista debido a los seudopilotos sin, o con limitada experiencia en aviación • los seudopilotos no pueden reproducir la performance real de los equipos • baja representación de las condiciones meteorológicas • cuestiones relacionadas con la performance de los factores humanos: <ul style="list-style-type: none"> – mentalidad/actitud del controlador – capacidad del controlador – curva de aprendizaje del ejercicio/escenario – subjetividad de la evaluación (principalmente en relación con la carga de trabajo) – actitud machista – información del controlador ensombrecida por la experiencia histórica • es costoso y lleva tiempo • puede exigir muchos recursos • dificultades de programación relacionadas con la disponibilidad de los controladores operacionales para la simulación • dificultad para que intervengan directamente los usuarios

2.4.2.12 Ensayos ATC reales

2.4.2.12.1 Los ensayos ATC reales son probablemente el método de validación menos utilizado. Generalmente, esto obedece a que están concebidos como los que conllevan los riesgos más elevados pese a proporcionar lo que probablemente suponga el mayor grado de realismo. Cuando se utilizan, los ensayos reales tienden a estar destinados a evaluar un elemento muy específico del cambio en el espacio aéreo, tal como una nueva SID o STAR o un nuevo diseño del sector con una muestra de tránsito muy limitada. En la Tabla 2-7 se enumeran las ventajas y desventajas de los ensayos ATC reales.

Tabla 2-7. Ventajas y desventajas de los ensayos ATC reales

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> • el método de validación más preciso • se recopilan datos reales • reúne información de todos los usuarios • buena aceptación de los resultados por los usuarios 	<ul style="list-style-type: none"> • consideraciones sobre seguridad operacional/riesgo • necesidad de análisis posteriores al ensayo muy detallados • alcance ilimitado • flexibilidad limitada

2.4.2.13 Simulación de vuelo

2.4.2.13.1 Los simuladores de vuelo completo son conocidos por su mayor realismo y precisión a la hora de reproducir todas las características operacionales de un tipo de aeronave específico. Las situaciones normales y anormales, comprendidas todas las condiciones medioambientales que se experimenten en un vuelo real, pueden simularse con precisión. Se ha incrementado el uso de simuladores merced a los adelantos tecnológicos y los ahorros significativos de costos que ofrece la instrucción en simulación de vuelo en comparación con el tiempo de vuelo real. Hoy en día, los simuladores de vuelos comerciales son tan sofisticados que los pilotos que dominan un tipo de aeronave pueden ser entrenados íntegramente en el simulador de un nuevo tipo antes de haber pilotado la aeronave en sí.

2.4.2.13.2 Además de la instrucción de pilotos, la simulación de vuelo desempeña un papel valiosísimo en otros ámbitos aeronáuticos, tales como la investigación en general, la investigación de accidentes, el diseño y la fabricación de aeronaves, el análisis operacional y otras actividades como los vuelos espaciales. Los ámbitos de investigación comprenden nuevos conceptos y sistemas, cualidades de vuelo y factores humanos. La mayoría de los fabricantes de aeronaves utilizan simuladores de investigación como parte integrante del diseño, la fabricación y la autorización de aeronaves. Los principales proyectos aeronáuticos serían ahora poco prácticos sin el amplio uso de la simulación de vuelo, tanto en términos de costos como de seguridad operacional.

2.4.2.13.3 Varios son los ámbitos en los que el simulador de vuelo puede prestar asistencia en la terminación con éxito de un proyecto de espacio aéreo terminal. Las cuestiones medioambientales y los poderosos grupos de presión están influenciando el emplazamiento de rutas terminales (y las altitudes conexas) en un número cada vez mayor de localizaciones. Puede resultar muy complejo, únicamente mediante el uso de modelos matemáticos y/o FTS, convencer a estos grupos de que sus preocupaciones ambientales se han abordado plenamente, mientras que el realismo del simulador de vuelo puede contribuir considerablemente al debate.

2.4.2.13.4 Utilizando aeronaves representativas (simuladores), puede volarse a fondo por las distintas opciones de espacio aéreo y registrarse los datos obtenidos, tal como la configuración de las células de aeronaves (que afecta al ruido producido por la aeronave), el consumo de combustible, las millas de derrota recorridas y la altitud. En función de los requisitos de un proyecto y de la complejidad de los datos reunidos, estos resultados podrán ser introducidos en un programa informático de análisis para examinar el ruido y las emisiones que genere la aeronave.

2.4.2.13.5 El simulador de vuelo es la herramienta que goza de más realismo, aparte de los costosos ensayos reales de vuelo, difíciles de integrar en las operaciones en curso. El factor de credibilidad es aún mayor si se utilizan pilotos de líneas operacionales para manejar el simulador de vuelo. Las líneas aéreas estarán dispuestas a participar empleando nuevos procedimientos en su simulador para validar los beneficios obtenidos en tiempo y consumo de combustible.

2.4.2.14 *Modelado acústico*

2.4.2.14.1 La sensibilidad política hacia el impacto ambiental del transporte aéreo es una preocupación creciente. En múltiples países, el cambio de emplazamiento de cualquier ruta terminal o la introducción de un nuevo procedimiento terminal requiere de una evaluación del impacto ambiental y, a menudo, el principal asunto político a dirimir con los ayuntamientos es el ruido de aeronaves.

2.4.2.14.2 Los modelos acústicos emplean una forma avanzada de simulador en tiempo acelerado capaz de calcular curvas isosónicas en un área predefinida. Estas funcionalidades "de modelado acústico" se suman a las funcionalidades típicas (tal como el cálculo de la trayectoria de vuelo) comprendidas en los simuladores en tiempo acelerado "estándar".

2.4.2.14.3 Para generar las curvas isosónicas de cada aeronave simulada además de las trayectorias de vuelo, el modelador acústico determina (según el modelo de aeronave) la velocidad estimada y la configuración de la potencia/empuje del motor. Basándose en estos datos y teniendo en cuenta el contorno del terreno y otras condiciones ambientales (hora del día, condiciones meteorológicas, etc.), el simulador calcula la distribución del ruido y su nivel en jalones de verificación predeterminados.

2.4.2.14.4 La precisión de los resultados depende en gran medida del realismo de los modelos de aeronave utilizados por el simulador y del modelo empleado para calcular la distribución del ruido. Las trayectorias de las aeronaves pueden proceder directamente de los datos radar registrados en operaciones reales, aunque han de modelarse los ajustes del empuje y la configuración de la aeronave. Aun utilizando tecnologías informáticas avanzadas, es difícil modelar cada aeronave. Se asignan los movimientos a distintos "tipos" de aeronaves, y se representa por tipo cada aeronave "significativamente" ruidosa (en virtud de las cifras o del nivel de ruido), por ejemplo B747-400. Algunos tipos se agrupan con aquellos que gozan de características acústicas similares. Para cada tipo, se calculan los perfiles medios de altura y velocidad respecto de la distancia a lo largo de la derrota a partir de un análisis de los datos radar y se subdividen en segmentos lineales apropiados.

2.4.2.14.5 La derrota media de cada ruta se calcula basándose en los datos radar o en las derrotas nominales. La estimación precisa de la exposición al ruido requiere de una simulación realista de la dispersión lateral de las derrotas de vuelo que se observen realmente en la práctica. Esto se consigue creando derrotas adicionales que constituyen una serie de desviaciones estándar a cada lado de la derrota nominal. Las desviaciones estándar y las proporciones de tránsito asignadas a cada ruta vienen determinadas por el análisis de los datos radar.

2.4.2.14.6 Los resultados de los modelos acústicos pueden utilizarse para ayudar a la elaboración de diseños que minimicen el impacto del ruido. Por ejemplo, pueden diseñarse múltiples procedimientos para reducirlo o distribuirlo, cada uno adaptado a niveles específicos de performance de la aeronave (véase la Figura 2-18).

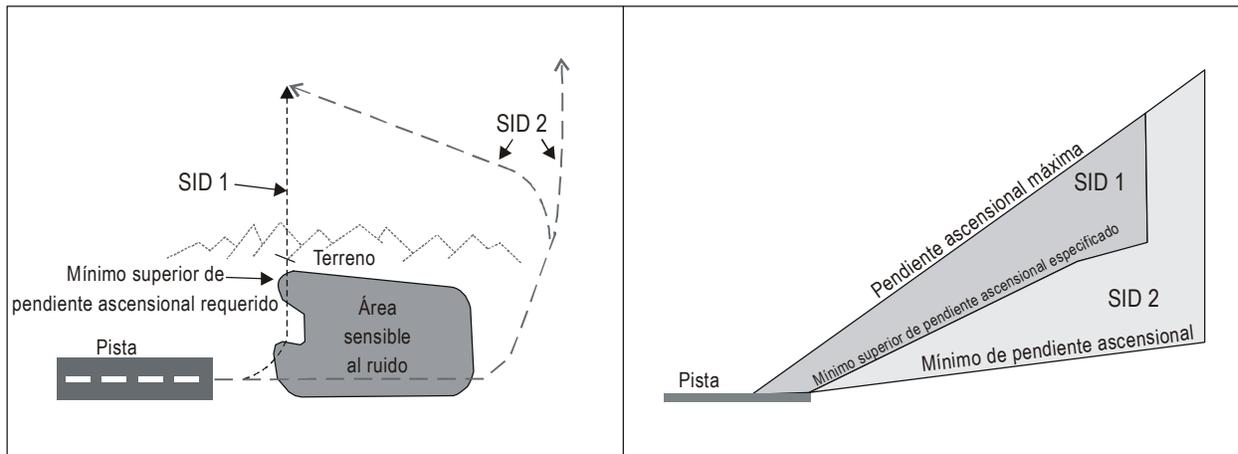


Figura 2-18. Ejemplo de opciones de ruido y performance

2.4.3 Actividad 12: Finalización del diseño de procedimientos

El proceso de diseño de los procedimientos solamente habrá finalizado cuando se haya validado el concepto de espacio aéreo. Esto se debe a que resultaría sobremanera costoso comenzar el proceso sin saber si es viable el concepto propuesto. La finalización del proceso de diseño se logra cuando se completa la documentación del diseño, se elaboran las descripciones de los procedimientos y los proyectos de gráficos, y se controla cada procedimiento de forma independiente para garantizar que se han cumplido todos los criterios de diseño.

2.4.4 Actividad 13: Validación del diseño de procedimientos

2.4.4.1 La creación de un procedimiento de vuelo por instrumentos RNAV o RNP o de una ruta ATS se hace siguiendo una serie de etapas: desde el origen de los datos aeronáuticos y sobre obstáculos pasando por el relevamiento topográfico hasta la publicación final del procedimiento y su subsiguiente codificación para usarlo en una base de datos de navegación de a bordo. En cada etapa de este proceso debería haber un procedimiento de control de calidad para garantizar que se han logrado y mantenido los niveles necesarios de precisión e integridad. Estos procedimientos de control de la calidad del diseño de los procedimientos de vuelo por instrumentos se detallan en el Doc 8168 y el Doc 9906, Volumen 1 — *Sistema de garantía de calidad del diseño de procedimientos de vuelo*. Los documentos comprenden exámenes del diseño por diseñadores independientes, herramientas de escritorio de soporte lógico para comprobar la codificación de los procedimientos y la posibilidad de llevarlos a la práctica, simuladores de vuelo y ensayos de vuelo para verificar su aplicación práctica y ejercicios de comparación de datos para validar la codificación por los proveedores de datos de navegación.

2.4.4.2 Al comprobar inicialmente la posibilidad de aplicar el procedimiento en la práctica, debería considerarse su uso por una serie de tipos de aeronaves en distintas condiciones atmosféricas (viento/temperatura, etc.). En algunos casos, puede ser necesario emplear programas informáticos más especializados o simuladores de vuelo completo. Pueden tenerse en cuenta las pruebas realizadas con aeronaves reales para demostrar que el procedimiento puede llevarse a la práctica, aunque prueben únicamente que la aeronave empleada puede ejecutar correctamente el procedimiento en una serie de condiciones atmosféricas en particular. El tamaño y la velocidad de las aeronaves disponibles para dichos vuelos pueden ser plenamente representativos de la performance de una aeronave Cat D con carga plena.

2.4.4.3 Existen herramientas de soporte lógico que utilizan datos digitales sobre el terreno para confirmar que la cobertura teórica de ayudas para la navegación es apropiada. La inspección en vuelo de la cobertura de ayudas para la navegación es solamente aplicable a la posición DME/DME. Requiere de aeronaves de inspección en vuelo especialmente equipadas y es extremadamente lenta. En muchos casos, es posible determinar si la cobertura es adecuada mediante el uso de herramientas de análisis de soporte lógico y los informes de inspección en vuelo existentes sobre las ayudas para la navegación.

2.5 FASE DE IMPLANTACIÓN

2.5.1 La decisión del “pase/no pase”

2.5.1.1 Generalmente, en los diversos procesos de validación descritos en la sección 2.4.2 queda patente si el concepto de espacio aéreo propuesto es o no factible y si puede ponerse en práctica. Sin embargo, la decisión definitiva de seguir adelante con la implantación debe tomarse en un punto predeterminado del ciclo de vida del proyecto.

2.5.1.2 La decisión de seguir adelante con la implantación se basará en los siguientes factores decisivos:

- a) el diseño de la ruta o el procedimiento ATS satisface las necesidades del tránsito aéreo y de las operaciones de vuelo;
- b) se han satisfecho los requisitos de performance de seguridad operacional y de navegación;
- c) se han completado los cambios en el procesamiento del plan de vuelo, la automatización o las publicaciones AIP necesarios para dar apoyo a la implantación; y
- d) se ha satisfecho la necesidad de instrucción para los pilotos y controladores.

2.5.2 Actividad 14: Integración del sistema ATC

2.5.2.1 El nuevo concepto de espacio aéreo puede exigir cambios en las interfaces y presentaciones del sistema ATC para asegurar que los controladores tengan la información necesaria sobre las capacidades de las aeronaves y las presentaciones apropiadas en pro de los nuevos encaminamientos. La necesidad de tales cambios vendría determinada por el equipo de diseño durante la fase de diseño. Tales cambios pueden incluir modificaciones en:

- a) el FDP del tránsito aéreo;
- b) el procesador de datos radar (RDP) de tránsito aéreo;
- c) la presentación de la situación ATC; y
- d) las herramientas de apoyo ATC.

2.5.2.2 Podría ser asimismo necesario hacer cambios en los métodos de los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP) para expedir NOTAM, por ejemplo en apoyo a la predicción RAIM o para notificar la falta de disponibilidad de procedimientos específicos en caso de la interrupción del servicio prestado por las ayudas para la navegación basadas en tierra.

2.5.2.3 También habrán de revisarse los procedimientos ATC. Los métodos mediante los cuales se gestiona el tránsito aéreo PBN pueden ser muy distintos de los existentes, lo que significará que tendrán que elaborarse, ensayarse y documentarse nuevos procedimientos. Si la implantación de la PBN implica que el ATC gestione un entorno mixto de tránsito PBN y ajeno a la PBN, esto puede tener repercusiones significativas en la carga de trabajo del ATC y puede exigir cambios importantes en el sistema y los procedimientos ATC existentes. En particular, el ATC debe poder distinguir entre una aeronave capacitada y otra no capacitada para garantizar que a cada una se le sirva adecuadamente y se le conceda la separación apropiada.

2.5.2.4 El equipo del proyecto necesita planificar la ejecución de la implantación, no solamente en lo que atañe al espacio aéreo local y los ANSP, sino también en cooperación con las partes afectadas, que pueden comprender ANSP de Estados adyacentes.

2.5.3 Actividad 15: Toma de conciencia y material de instrucción

La introducción de la PBN puede suponer una inversión considerable en términos de material de instrucción, formación y toma de conciencia, tanto para la tripulación de vuelo como para los controladores. En muchos Estados, los conjuntos de material didáctico y la instrucción mediante computadora se han usado eficazmente para algunos aspectos de la formación e instrucción. La OACI ofrece material de instrucción y seminarios adicionales. Cada especificación para la navegación incluida en el manual de PBN (Doc 9613), Volumen II, Partes B y C, trata de la formación e instrucción apropiadas para la tripulación de vuelo y los controladores.

2.5.4 Actividad 16: Implantación

2.5.4.1 La implantación solamente puede tener éxito mediante su planificación exhaustiva, como parte de una planificación del proyecto en general, y un examen muy cuidadoso de todos los factores decisivos durante la etapa de planificación. Más aún, toda hipótesis debe justificarse plenamente y planificarse con cautela para posibilitar una implantación exitosa. Esto se aplica a todas las etapas de la elaboración, validación e implantación del concepto de espacio aéreo.

2.5.4.2 Cada ANSP debería mantener un proceso estándar de planificación de la implantación. En la Figura 2-19 se muestra un proceso de planificación de la implantación de muestra.

2.5.4.3 La decisión de seguir adelante o no con la implantación debe tomarse en un momento concreto del ciclo de vida de un proyecto y debería fundamentarse en determinados factores decisivos, conocidos como criterios de implantación, que pueden comprender la respuesta a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Se han satisfecho los criterios para la performance y la seguridad operacional?
- b) ¿Se han efectuado los cambios exigidos en el sistema ATM?
- c) ¿Se han efectuado los cambios exigidos en los sistemas terrestres de navegación?
- d) ¿Siguen siendo válidas las hipótesis y las condiciones en función de las cuales se ha elaborado el concepto de espacio aéreo? (¿Son las corrientes de tránsito tal como se prevé? ¿Está la flota equipada adecuadamente y aprobada?, etc.).
- e) ¿Están en su lugar todos los elementos habilitantes decisivos?
- f) ¿Han recibido los pilotos y los controladores instrucción apropiada? y
- g) ¿Es el análisis de rentabilidad positivo?

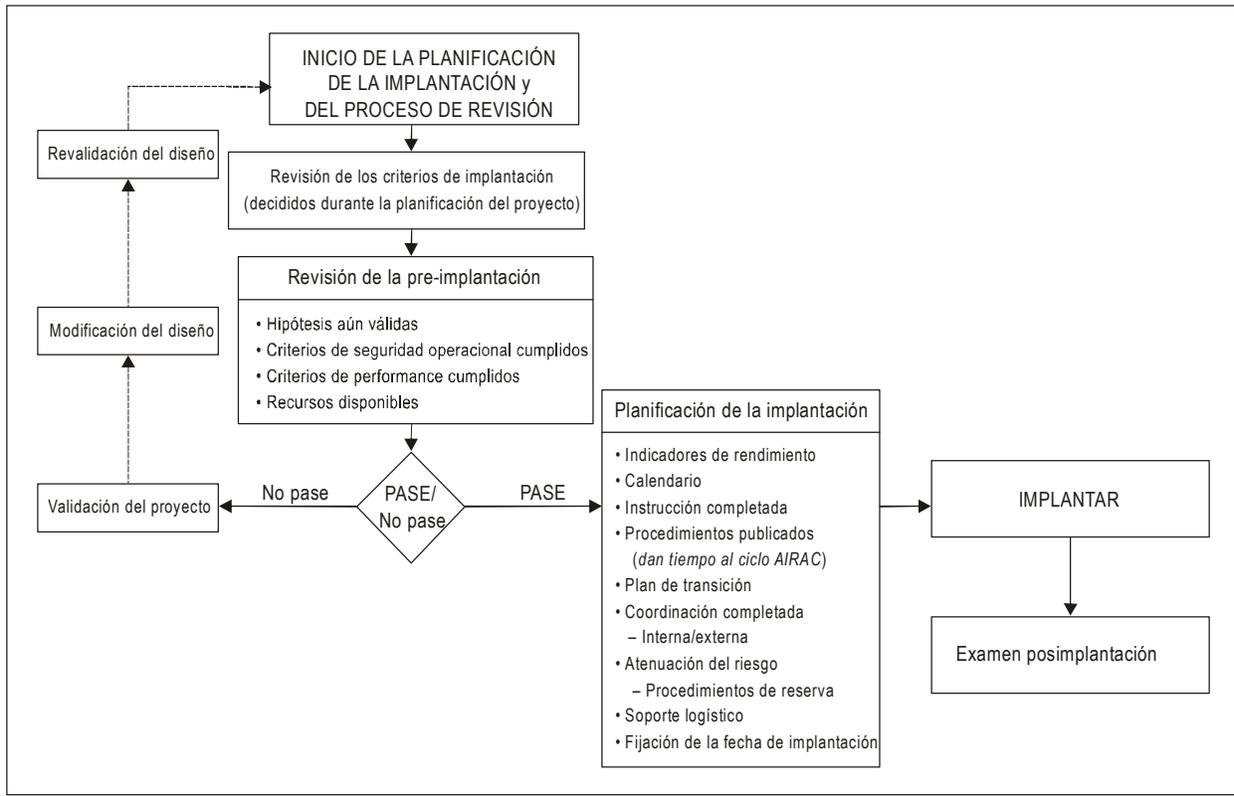


Figura 2-19. Proceso de planificación de la implantación de muestra

2.5.4.4 Debe tenerse en cuenta que los acontecimientos inesperados no relacionados directamente con el concepto de espacio aéreo pueden incidir en la fecha de “pase/no pase”.

2.5.4.5 Deben respetarse las decisiones de “no pase”. Aunque puede ser muy desalentador, es importante no buscar “soluciones temporales” ni “rápidas”. Debería oponerse una fuerte resistencia a las sugerencias de llevar a cabo la implantación a toda costa.

2.5.4.6 Los pasos a seguir tras una decisión de “no pase” dependen del motivo en la que ésta se fundamente. En casos extremos, puede ser necesario anular el proyecto y retornar a la etapa de planificación inicial. En otros, puede ser apropiado examinar las hipótesis, restricciones y elementos habilitantes, o elaborar una nueva serie de ejercicios de validación o llevar a cabo una nueva evaluación de la seguridad operacional.

2.5.4.7 Una vez tomada la decisión de “pase”, el Estado debe fijar una fecha efectiva de implantación teniendo debidamente en cuenta los procesos de datos y el ciclo AIRAC. Para garantizar una implantación sin problemas, el equipo de diseño del espacio aéreo debería mantenerse en contacto estrecho con el equipo operacional. Si los recursos lo permiten, los miembros del equipo deberían estar disponibles en la sala de operaciones a tiempo completo desde, al menos, dos días antes de la implantación hasta, al menos, una semana después de la fecha en la que tenga lugar. Esto permitirá al equipo del espacio aéreo:

- a) supervisar el proceso de implantación;
- b) apoyar al supervisor del centro/jefe de aproximación o al director de operaciones en caso necesario para usar los procedimientos de redundancia o contingencia;

- c) brindar apoyo e información a los controladores y los pilotos operacionales; y
- d) mantener un registro de las dificultades de implantación para su uso en futuras planificaciones de proyectos.

2.5.5 Actividad 17: Examen posimplantación

2.5.5.1 Después de la implantación de los cambios en el espacio aéreo, debería vigilarse el sistema y recopilarse datos operacionales para asegurarse de que se mantiene la seguridad operacional y para determinar si se han logrado los objetivos estratégicos. Si tras la implantación ocurren hechos imprevistos, el equipo del proyecto debería aplicar medidas para mitigar los efectos lo antes posible. En circunstancias excepcionales, esto podría exigir el retiro de las operaciones RNAV o RNP mientras se corrigen los problemas específicos.

2.5.5.2 Después de la implantación se debería realizar una evaluación de la seguridad operacional del sistema y recoger pruebas para cerciorarse de ella.

— FIN —

ISBN 978-92-9249-336-3



9 7 8 9 2 9 2 4 9 3 3 6 3