



**Cuestión 4 del**  
**Orden del Día:**

**Reporte de actividades y entregables del GESEA y Subgrupos**

**OPTIMIZACIÓN DEL ESPACIO AÉREO EN ÁREAS DE CONTROL TERMINAL (TMA)**

(Preparado por Brazil)

**RESUMEN**

Esta Nota de Estudio presenta los avances de los proyectos de optimización del espacio aéreo de las Áreas de Control Terminal (TMA) de Belo Horizonte y Rio de Janeiro, desarrollados por el Departamento de Control del Espacio Aéreo (DECEA).

Estas iniciativas forman parte del programa continuo de modernización del espacio aéreo brasileño y tienen como objetivos incrementar la eficiencia operacional, reducir la complejidad de la gestión del tránsito aéreo, mejorar la seguridad operacional, promover operaciones ambientalmente sostenibles y mitigar los impactos del ruido aeronáutico sobre las comunidades ubicadas en las proximidades de los aeropuertos.

Los proyectos contemplan la implementación de nuevas trayectorias PBN, la optimización de los procedimientos de llegada y salida, la aplicación de los conceptos de Continuous Climb Operations (CCO) y Continuous Descent Operations (CDO), así como la utilización de técnicas modernas de diseño de procedimientos que contribuyen a la reducción del consumo de combustible y de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**Referencias:**

- Conclusiones GREPECAS/23/02 – Incluir, en la planificación nacional y regional, mejoras operativas para optimizar la eficiencia y reducir las emisiones
- Global Air Navigation Plan (GANP)
- Doc 4444 – Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management (PANS-ATM)
- Doc 9613 – Performance-Based Navigation Manual
- Doc 9992 – Manual on the Use of PBN in Airspace Design

**1. Antecedentes**

1.1 El crecimiento continuo de la demanda de transporte aéreo en las principales regiones metropolitanas brasileñas plantea desafíos relacionados con la capacidad del espacio aéreo, la complejidad operacional, la eficiencia de las trayectorias y la sostenibilidad ambiental. En este contexto, el Departamento de Control del Espacio Aéreo (DECEA) mantiene un programa permanente de modernización del espacio aéreo, alineado con los objetivos estratégicos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), Conductores operacionales APTA (Mejora de las operaciones de llegada y salida), buscando implementar soluciones basadas en Performance-Based Navigation (PBN) y en conceptos modernos de gestión del tránsito aéreo.

1.2 Las iniciativas se desarrollan de conformidad con las directrices establecidas en el Global Air Navigation Plan (GANP) y el ASBU Framework, **conclusión GREPECAS/23/02** – Incluir, en la planificación nacional y regional, mejoras operativas para optimizar la eficiencia y reducir las emisiones, utilizando como referencias técnicas el Doc 4444 – Procedures for Air Navigation Services – Air Traffic Management (PANS-ATM), el Doc 9613 – Performance-Based Navigation Manual, el Doc 9992 – Manual on the Use of PBN in Airspace Design y los manuales de la OACI relativos a las operaciones de ascenso y descenso continuos (Doc 9993 – CCO y Doc 9931 – CDO).

1.3 Estos documentos recomiendan que la organización del espacio aéreo se base en las necesidades operacionales, privilegiando trayectorias previsibles, la reducción de la complejidad, la gestión eficiente de los flujos de tránsito aéreo, la disminución de las intervenciones tácticas del control de tránsito aéreo y la utilización de especificaciones PBN compatibles con la infraestructura CNS disponible y con las capacidades de las aeronaves.

1.4 En este contexto, el DECEA desarrolla actualmente los Proyectos de Concepto de Espacio Aéreo de las TMAs de Belo Horizonte y Río de Janeiro, dando continuidad a las iniciativas de modernización implementadas previamente en otras regiones de Brasil, como el TMA São Paulo Neo y el Proyecto Viracopos.

## 2. Análisis

Los proyectos siguen una metodología estructurada para el desarrollo del concepto de espacio aéreo, que contempla las fases de planificación, diseño operacional, validación mediante simulaciones, implementación y evaluación posterior a la implementación. Durante todas las fases se adoptan procesos colaborativos que involucran a controladores de tránsito aéreo, diseñadores de procedimientos, planificadores de espacio aéreo, pilotos, operadores aéreos y demás partes interesadas. Este enfoque multidisciplinario está alineado con las recomendaciones del GANP y del PANS-ATM para la implementación de cambios estructurales en entornos terminales complejos.

### 2.1 Proyecto TMA Belo Horizonte

2.1.1 El Proyecto TMA Belo Horizonte se encuentra actualmente en la fase de implementación, que comprende la elaboración y publicación de los Procedimientos de Navegación Aérea, así como la capacitación y el entrenamiento de los Controladores de Tránsito Aéreo, con la implementación operacional prevista para el ciclo AIRAC de noviembre de 2026. El Proyecto fue desarrollado para adecuar la estructura terminal al crecimiento de la demanda observado en los últimos años, reduciendo los conflictos entre los flujos IFR y VFR, simplificando la organización del espacio aéreo e incrementando la eficiencia operacional.

2.1.2 El nuevo concepto incorpora procedimientos desarrollados conforme a los criterios establecidos en el Doc 9613, ampliando la utilización de la navegación basada en la performance y permitiendo trayectorias más previsibles y precisas.

2.1.3 Entre las principales innovaciones destaca la implementación de tramos RF (radius-to-fix) en las aproximaciones para ambas cabeceras del Aeropuerto Internacional de Confins (SBCF). La utilización de este tipo de segmento proporciona mayor precisión lateral durante el vuelo, mejora la contención de las trayectorias en entornos terminales complejos y reduce la necesidad de intervenciones del control de tránsito aéreo, de conformidad con las recomendaciones del Manual PBN para operaciones RNP.

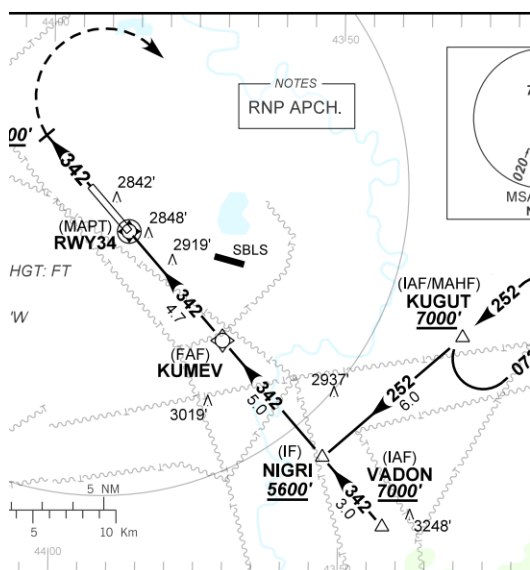


Imagen 1: IAC RNP RWY 34 actual

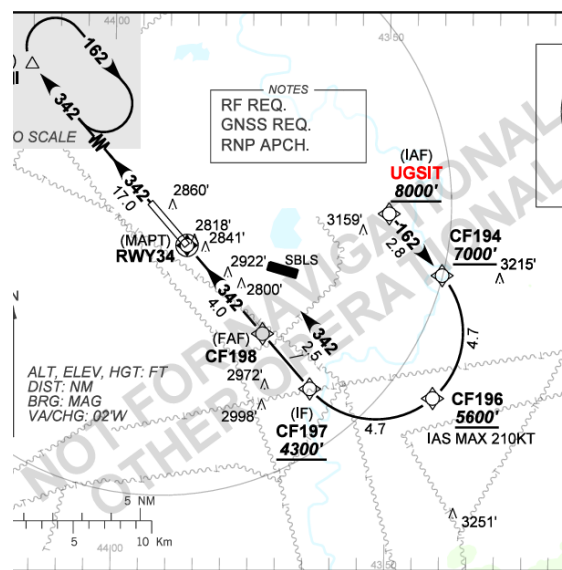


Imagen 2: IAC RNP RWY34 propuesta

2.1.4 Los procedimientos de llegada y salida también fueron rediseñados para favorecer la aplicación de los conceptos de *Continuous Climb Operations* (CCO) y *Continuous Descent Operations* (CDO), permitiendo perfiles verticales más eficientes, reducción del consumo de combustible, menores emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y disminución de la carga de trabajo de las tripulaciones y de los controladores.

2.1.5 Otro aspecto relevante del proyecto fue la adopción de técnicas específicas para la mitigación del ruido aeronáutico. Las nuevas salidas normalizadas por instrumentos (SID) incorporan curvas iniciadas por altitud, distribuyendo las trayectorias después del despegue y reduciendo la concentración de sobrevuelos sobre una única región. Esta solución permite conciliar la eficiencia operacional con la reducción de los impactos ambientales sobre las comunidades ubicadas en el entorno del aeropuerto, sin comprometer los requisitos de seguridad operacional.

2.1.6 Asimismo, el rediseño de la circulación permitió reducir los cruces entre llegadas y salidas, disminuyendo los puntos potenciales de conflicto y aumentando la previsibilidad de los flujos, conforme a lo establecido en el Doc 4444, que recomienda la organización del espacio aéreo de manera que se reduzca la complejidad de la gestión del tránsito aéreo.

2.1.7 Los beneficios operacionales del nuevo concepto de espacio aéreo fueron evaluados mediante simulaciones aceleradas (fast-time simulation - FTS) realizadas por el Centro de Gestión de la Navegación Aérea (CGNA), considerando un escenario representativo de máxima demanda para la TMA Belo Horizonte. Los resultados indican importantes beneficios operacionales y ambientales, con una reducción mensual estimada de aproximadamente 7.582 millas náuticas voladas, un ahorro de aproximadamente 52.378 kilogramos de combustible y una reducción de aproximadamente 165.514 kilogramos de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), evidenciando los beneficios obtenidos mediante la optimización de las trayectorias, la aplicación de los conceptos CCO y CDO, y la reorganización de los flujos de llegada y salida.

## 2.2 Proyecto TMA Rio de Janeiro

2.2.1 El Proyecto TMA Río de Janeiro se encuentra actualmente en fase de desarrollo y validación operacional, con implementación prevista para la AIRAC de junio de 2027. El proyecto contempla una amplia reestructuración del espacio aéreo que involucra los aeropuertos de Galeão (SBGL), Santos Dumont (SBRJ), Jacarepaguá (SBJR) y el intenso tránsito aéreo offshore existente en la región.

2.2.2 El nuevo concepto busca solucionar las limitaciones identificadas en la estructura implementada en 2013, principalmente aquellas relacionadas con la interacción entre SID y STAR, la segregación IFR/VFR, los perfiles verticales y la organización de los flujos de llegada y salida.

2.2.3 Entre las principales mejoras propuestas destaca la actualización de la especificación de navegación utilizada en el denominado corredor aéreo Rio de Janeiro – São Paulo (Túbulo), cuya estructura pasará a utilizar **RNAV 2/RNP 2**, sustituyendo la actual especificación RNAV 5. Esta modificación, basada en las recomendaciones del Doc 9613, permite una mayor precisión de navegación, la reducción de las áreas de protección, el desarrollo de trayectorias más eficientes y un mejor aprovechamiento de la infraestructura disponible.

2.2.4 La adopción de la especificación **RNAV 2/RNP 2** permitió reducir el espaciamiento lateral entre las aerovías del Túbulo a **8 NM**, manteniendo los criterios de seguridad operacional establecidos para este tipo de operación. Esta reducción permite que los procedimientos de llegada y salida intercepten y abandonen las aerovías a menores distancias, disminuyendo la distancia total recorrida por las aeronaves. Como resultado, se espera una mayor eficiencia operacional, menor consumo de combustible, reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y un mejor aprovechamiento de la infraestructura del espacio aéreo.

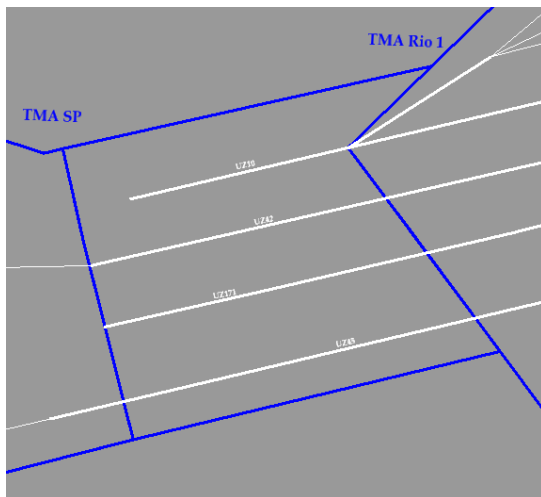


Imagen 3: Escenario actual

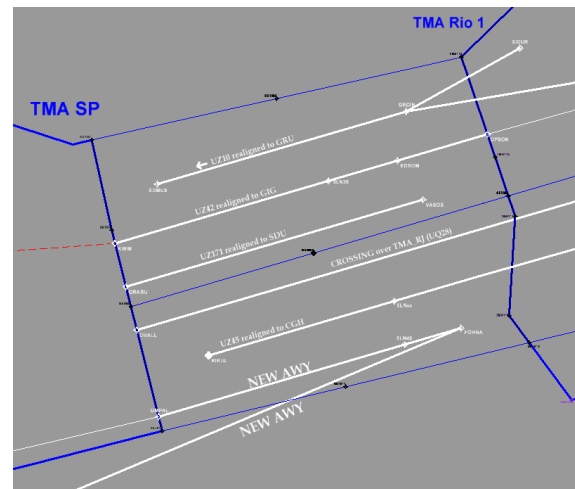


Imagen 4: Escenario propuesto

2.2.5 Durante la fase de validación se realizaron FTS en los simuladores del Centro de Gestión de la Navegación Aérea (CGNA), cuyos resultados fueron verificados mediante los programas utilizados por las compañías aéreas. Además de la evaluación operacional de los nuevos escenarios, los operadores realizaron la validación de los procedimientos y de las bases de datos de navegación en sus respectivos sistemas de gestión de vuelo (FMS), garantizando que los procedimientos desarrollados sean plenamente compatibles con la operación de las aeronaves.

2.2.6 Los análisis operacionales indican que la organización propuesta del espacio aéreo podría proporcionar importantes beneficios operacionales y ambientales. Los resultados indican un impacto neto **anual** estimado correspondiente a una reducción de aproximadamente **205.700 millas náuticas**, un ahorro de aproximadamente **1,64 millones de kilogramos de combustible** y una reducción superior a **5.190 toneladas de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**, evidenciando los beneficios obtenidos mediante la optimización de las trayectorias y de los perfiles verticales de vuelos.

2.2.7 Paralelamente a los estudios operacionales, se están llevando a cabo análisis específicos relacionados con el ruido aeronáutico, en coordinación con la Comisión de Ruido del Aeropuerto de Jacarepaguá. Estas evaluaciones buscan optimizar las trayectorias propuestas, conciliando los beneficios operacionales obtenidos con la minimización de la exposición sonora de las comunidades

ubicadas en las proximidades de los aeropuertos, en consonancia con los principios de desarrollo sostenible promovidos por la OACI.

### 3. Conclusiones

3.1 Los Proyectos de las TMA de Belo Horizonte y Río de Janeiro representan una nueva etapa del programa brasileño de modernización del espacio aéreo, incorporando conceptos avanzados de gestión del tránsito aéreo recomendados por la OACI y aplicando soluciones de navegación basadas en la performance para incrementar la eficiencia operacional y ambiental.

3.2 Las evaluaciones operacionales y las FTS indican que las soluciones propuestas podrían proporcionar beneficios operacionales y ambientales mensurables. Ambos proyectos evidencian reducciones significativas en la distancia recorrida, el consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), conforme se presenta en la Tabla 1, confirmando los beneficios derivados de la modernización de la estructura del espacio aéreo brasileño.

| Proyecto           | Distancia de Vuelo (NM/año) | Combustible (kg/año) | CO <sub>2</sub> (kg/año) |
|--------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|
| TMA Belo Horizonte | -90.000                     | - 628.000            | - 1.980.000              |
| TMA Rio de Janeiro | -205.700                    | - 1.640.000          | - 5.190.000              |

Tabla 1: Beneficios Operacionales y Ambientales Estimados de los Proyectos de Modernización de las TMAs de Belo Horizonte y Río de Janeiro

3.3 Al alinear las estructuras de las TMAs con las recomendaciones contenidas en el GANP, el ASBU Framework y los documentos de la OACI relativos a la gestión del tránsito aéreo y a la navegación basada en la performance, el DECEA consolida su estrategia de modernización continua del Sistema Brasileño de Control del Espacio Aéreo. Este enfoque fortalece la capacidad del sistema para responder al crecimiento de la demanda con elevados niveles de seguridad operacional, eficiencia, previsibilidad, sostenibilidad ambiental y resiliencia, además de contribuir a la armonización regional y al intercambio de buenas prácticas.

### 4. Acciones sugeridas

4.1 Se invita a la Reunión a:

- tomar conocimiento del avance del programa brasileño de modernización y planificación del espacio aéreo, incluyendo los proyectos de reestructuración de las TMA de Belo Horizonte y Río de Janeiro, como referencia de aplicación práctica de los conceptos APTA recomendados por la OACI;
- tomar conocimiento de que la planificación estratégica y la revisión periódica de las estructuras del espacio aéreo constituyen herramientas esenciales para mejorar la eficiencia operacional, la capacidad, la previsibilidad de las operaciones y la sostenibilidad ambiental del sistema ATM;
- tomar nota de que determinadas prácticas de concepción y optimización del espacio aéreo pueden representar soluciones de rápida implementación y de bajo costo relativo, proporcionando beneficios operacionales y ambientales significativos sin requerir necesariamente inversiones complejas en infraestructura física;
- encorar a los Estados a evaluar y desarrollar proyectos de reestructuración, restauración u optimización de su espacio aéreo, especialmente en áreas terminales y rutas de alta demanda, con el fin de mejorar la seguridad operacional, reducir distancias voladas, disminuir el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>, y aumentar la eficiencia de las operaciones aéreas;

- e) promover el intercambio regional de experiencias, metodologías y mejores prácticas relacionadas con la planificación y modernización del espacio aéreo, incluyendo procesos de evaluación operacional, estudios de seguridad, simulaciones y análisis de beneficios ambientales y económicos; y
- f) invitar a los Estados y Organizaciones Internacionales a considerar iniciativas cooperativas y proyectos conjuntos de modernización del espacio aéreo que contribuyan a la armonización regional, a la interoperabilidad ATM y a la implementación de los objetivos establecidos en el GANP y el ASBU Framework de la OACI.

FIN