



**Cuestión 3 del
Orden del Día:**

**Reporte de actividades, entregables y avances de implementación del GT
Interop y Subgrupos**

RED OPERACIONAL RESILIENTE (RON)

(Preparado por IATA)

RESUMEN

Reconociendo la importancia estratégica del concepto de Red Operacional Resiliente (RON) promovido por la OACI y otras organizaciones internacionales, esta Nota de Estudio tiene por objeto resaltar la relevancia de fortalecer la resiliencia de la infraestructura y de los procedimientos operacionales de navegación aérea, con especial énfasis en la preparación y aplicación de medidas de contingencia para eventos de interferencia GNSS. Asimismo, se busca promover el intercambio de experiencias y mejores prácticas entre los Estados y las partes interesadas, con miras a apoyar una implementación armonizada que garantice la continuidad, seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas en la Región.

Referencias:

- Informe de la Reunión SAM/IG/33
- Informe de la Reunión GREPECAS/23
- Plan Mundial de Navegación Aérea

1. Antecedentes

1.1 La creciente dependencia de la aviación mundial de los sistemas basados en GNSS ha generado importantes beneficios en términos de eficiencia operacional, optimización de rutas, capacidad del espacio aéreo y sostenibilidad ambiental. Sin embargo, el aumento significativo de eventos de interferencia, degradación o pérdida de señal GNSS en diversas regiones del mundo ha puesto de manifiesto la necesidad de fortalecer la resiliencia de la red operacional de navegación aérea Red Operacional Resiliente (RON), garantizando la continuidad segura y eficiente de las operaciones aéreas ante contingencias que afecten los servicios de navegación basados en satélites.

1.2 Para las aerolíneas, la disponibilidad de una red operacional resiliente constituye un elemento fundamental para mantener la previsibilidad de las operaciones, minimizar impactos en la seguridad operacional y reducir las consecuencias económicas derivadas de desvíos, demoras, cancelaciones o restricciones de capacidad. La ausencia de procedimientos claramente definidos para la gestión de contingencias GNSS puede generar incertidumbre operacional tanto para los explotadores de aeronaves como para los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP), especialmente en entornos donde los procedimientos PBN constituyen el principal medio de navegación.

1.3 En este contexto, resulta esencial que los Estados, ANSP y usuarios del espacio aéreo desarrollen e implementen procedimientos operacionales armonizados que permitan una transición segura

y ordenada ante eventos de interferencia GNSS. Tales procedimientos deben contemplar aspectos relacionados con la detección y notificación oportuna de interferencias, la disponibilidad de medios alternativos de navegación, la gestión táctica del tránsito aéreo, la aplicación de medidas ATFM cuando corresponda y la coordinación efectiva entre todos los actores involucrados.

2. Impactos de la Interferencia GNSS en las operaciones diarias de las aerolíneas y ANSPs

2.1 La interferencia GNSS puede tener un impacto significativo en las operaciones diarias de las aerolíneas y de los proveedores de servicios de navegación aérea, especialmente en entornos donde las operaciones dependen principalmente de la Navegación Basada en la Performance (PBN).

2.2 Pérdida de capacidad de navegación PBN

2.2.1 Las aeronaves pueden perder temporalmente la capacidad de ejecutar procedimientos RNAV y RNP, incluyendo SID, STAR y aproximaciones instrumentales basadas en GNSS. Como consecuencia:

- Se requiere la utilización de procedimientos convencionales cuando estén disponibles.
- Se incrementa la carga de trabajo de las tripulaciones y controladores.
- Pueden producirse cancelaciones o restricciones operacionales en aeropuertos dependientes de PBN.

2.3 Reducción de la capacidad del espacio aéreo

2.3.1 La pérdida de precisión de navegación obliga a los ANSP a aplicar medidas más conservadoras, tales como:

- Incremento de separaciones entre aeronaves.
- Medidas ATFM.
- Limitación de rutas directas y operaciones Free Route Airspace (FRA).
- Reducción de tasas de llegada y salida en aeropuertos congestionados.

2.3.2 Incremento de demoras y consumo de combustible

- Rutas más largas.
- Patrones de espera adicionales.
- Desvíos tácticos.
- Mayores tiempos de vuelo.
- Mayores costos operativos y emisiones de CO₂.

2.4 Impacto en aproximaciones y aterrizajes

2.4.1 Muchos aeropuertos dependen exclusivamente de aproximaciones y salidas GNSS. En caso de interferencia:

- Las aproximaciones PBN pueden quedar inutilizables.
- Puede ser necesario proceder a aeropuertos alternativos.
- Se incrementan los riesgos de demoras, desvíos y cancelaciones.

2.5 Aumento de la carga de trabajo operacional

2.5.1 La gestión de eventos GNSS requiere:

- Monitoreo continuo por parte de las tripulaciones.

- Coordinación adicional entre pilotos, ATC y ATFM.
- Aplicación de procedimientos de contingencia.
- Reprogramación de vuelos y asignación de recursos.

2.6 Importancia de un Red Operacional Resiliente (RON)

2.6.1 Ante estos desafíos, un Red Operacional Resiliente permite mantener niveles aceptables de seguridad y eficiencia mediante:

- Disponibilidad de ayudas convencionales de respaldo (DME, VOR e ILS).
- Procedimientos de contingencia preestablecidos.
- Publicación de rutas y procedimientos alternativos.
- Coordinación entre Estados, ANSP y usuarios.
- Notificación oportuna de eventos de interferencia GNSS.
- Aplicación armonizada de medidas operacionales y ATFM.

3. Principales medidas de contingencia que debería ser consideradas por la Región SAM

3.1 Mantenimiento de una Red Mínima Operacional (MON)

3.1.1 La medida más ampliamente promovida consiste en mantener una Red Operacional Resiliente basada en ayudas convencionales como VOR, DME e ILS, permitiendo la navegación en caso de degradación o pérdida del GNSS. Esta red debe proporcionar cobertura suficiente para permitir la navegación en ruta, la llegada y, cuando sea posible, la aproximación a aeródromos alternativos. Es importante resaltar que, en un entorno de contingencia, no se espera que sean mantenidos los mismos niveles de desempeño de navegación aérea, principalmente en espacio aéreo con bajo volumen/complejidad de tránsito aéreo.

3.2 Uso de navegación convencional DME/DME y VOR/DME

3.2.1.1 Los procedimientos RNAV pueden continuar operando, en determinados espacios aéreos, utilizando actualizaciones de posición basadas en DME/DME o VOR/DME sin depender exclusivamente del GNSS. Esta capacidad es considerada uno de los pilares de la resiliencia operacional en los entornos más congestionados, como, por ejemplo, Bogotá y Sao Paulo.

3.3 Procedimientos ATS para pérdida de GNSS

3.3.1 Los ANSPs deben desarrollar procedimientos específicos para:

- **NOTAM** para notificación inmediata de interferencia GNSS por parte de las tripulaciones.
- Aplicación de separaciones adicionales.
- Restricciones temporales a procedimientos PBN.
- Reversiones a rutas convencionales.
- Gestión táctica ATFM

3.4 Gestión ATFM en entornos degradados

3.4.1 Cuando un evento GNSS afecta grandes áreas geográficas, pueden aplicarse medidas ATFM para:

- Reducir la demanda.
- Limitar la capacidad sectorial.
- Reconfigurar rutas.
- Priorizar determinados vuelos.
- Minimizar congestiones derivadas de la pérdida de capacidad PBN.

3.5 Capacitación y procedimientos para las tripulaciones

3.5.1 Las aerolíneas han incrementado la capacitación sobre:

- Reconocimiento de eventos de spoofing y jamming.
- Uso de medios alternativos de navegación.
- Procedimientos de degradación de sistemas.
- Gestión de aproximaciones y salidas cuando los procedimientos PBN dejan de estar disponibles.

3.6 Necesidad urgente de contar con procedimientos operacionales predefinidos, armonizado y conocidos por todos los actores para enfrentar el tema de interferencias GNSS

3.6.1 Desde la perspectiva de las aerolíneas, el aspecto más crítico no radica únicamente en disponer de infraestructura alternativa, sino también en contar con procedimientos operacionales predefinidos, armonizados y ampliamente conocidos por todos los actores involucrados. La experiencia reciente demuestra que la Región aún no se encuentra suficientemente preparada para gestionar eventos de interferencia GNSS, lo que ha ocasionado respuestas tardías y dificultades para preservar la continuidad operacional durante estas contingencias. Asimismo, persisten diferencias significativas entre los Estados de la Región SAM en materia de procedimientos operacionales, criterios para la emisión de NOTAM, coordinación transfronteriza, intercambio de información y preparación de los servicios de tránsito aéreo. Esta falta de armonización puede generar respuestas dispares ante una misma contingencia y aumentar la incertidumbre operacional para los usuarios del espacio aéreo.

3.6.2 De esta manera, es esencial que los Estados y ANSP desarrollen, publiquen y ensayen procedimientos de contingencia GNSS dentro del marco del Red Operacional Resiliente, incluyendo criterios claros para la transición a medios alternativos de navegación, gestión ATFM, comunicaciones con las tripulaciones (publicación de **NOTAM** a la brevedad posible) y coordinación regional. Esto permitiría mantener niveles aceptables de seguridad, capacidad y eficiencia durante eventos de interferencia GNSS.

4. **Implementación de infraestructura terrestre de soporte a la Red Operacional Resiliente**

4.1 Sudamérica presenta características geográficas y operacionales únicas, incluyendo extensas áreas remotas, cordilleras, regiones amazónicas, rutas oceánicas y una infraestructura de ayudas terrestres limitada o distribuida de manera desigual. En este contexto, la Navegación Basada en la Performance (PBN) y el GNSS constituyen elementos fundamentales para la conectividad regional, por lo que cualquier estrategia de resiliencia debe preservar estos beneficios y evitar soluciones basadas exclusivamente en la expansión masiva de infraestructura terrestre.

4.2 IATA apoya firmemente el desarrollo de una Red Operacional Resiliente que permita mantener niveles adecuados de seguridad, capacidad y eficiencia durante eventos de interferencia GNSS. La industria considera fundamental complementar la navegación basada en satélites con una red mínima y racional de infraestructura convencional. La previsibilidad operacional para las aerolíneas constituye un elemento esencial de la resiliencia y debe ser considerada un objetivo prioritario en el desarrollo de las futuras estrategias de mitigación de interferencias GNSS.

4.3 En entornos caracterizados por bajos niveles de tránsito y limitada complejidad operacional, que constituye la gran mayoría de los espacios aéreos, TMAs y aeropuertos sudamericanos, la implementación de una red DME/DME con apoyo inercial destinada a preservar la performance RNAV 5 y/o RNAV 1 durante contingencias GNSS puede no representar la solución más costo-efectiva. En tales escenarios, una estrategia basada en vigilancia radar, procedimientos ATS de contingencia, mantenimiento de capacidades ILS y una red mínima de ayudas convencionales estratégicamente ubicadas puede

proporcionar niveles adecuados de seguridad y continuidad operacional, alineados con los principios de una Red Operacional Resiliente.

4.4 Desde una perspectiva operacional y económica, en un entorno de bajo volumen y baja complejidad de tránsito aéreo, la solución más eficiente suele ser una combinación de GNSS como medio principal, vigilancia radar, procedimientos ATS de contingencia y una infraestructura convencional mínima (MON), incluyendo ILS y eventualmente algunos VOR/DME estratégicos para los casos de interferencia GNSS.

4.5 En importante remarcar que un espacio aéreo de baja densidad y complejidad, las separaciones suelen estar determinadas por los procedimientos ATS y no por el desempeño de navegación. Además, existen amplias posibilidades de vectorización radar y el impacto sobre la capacidad es reducido.

5. Conclusión

5.1 La interferencia GNSS se ha convertido en una de las principales amenazas para la continuidad y previsibilidad de las operaciones aéreas modernas, debido a la creciente dependencia de la navegación basada en prestaciones (PBN) y de múltiples sistemas ATM que utilizan información de posicionamiento satelital. Sus efectos trascienden la simple degradación de la navegación, pudiendo generar reducciones significativas de capacidad, incremento de demoras, mayores consumos de combustible, limitaciones operacionales en aeropuertos dependientes de procedimientos PBN y una mayor carga de trabajo para tripulaciones y controladores. Asimismo, la afectación de funciones asociadas al GNSS, incluyendo determinadas aplicaciones de vigilancia y gestión de trayectorias, puede comprometer la eficiencia del sistema ATM en su conjunto. En este contexto, resulta fundamental que los Estados y ANSP de la Región SAM reconozcan la interferencia GNSS como un riesgo operacional creciente y adopten medidas coordinadas que permitan preservar niveles aceptables de seguridad, capacidad y previsibilidad operacional.

5.2 La experiencia internacional demuestra que la resiliencia operacional frente a eventos de interferencia GNSS debe sustentarse en la combinación de infraestructura alternativa, procedimientos operacionales armonizados y una adecuada coordinación entre todos los actores involucrados. En este sentido, la Región SAM podría beneficiarse del desarrollo e implementación de procedimientos regionales de contingencia GNSS previamente acordados y ensayados, incluyendo mecanismos estandarizados de notificación, publicación oportuna de NOTAM, gestión ATFM en entornos degradados, aplicación de medidas ATS temporales y utilización de medios alternativos de navegación cuando estén disponibles. La preparación anticipada y el conocimiento común de estos procedimientos por parte de Estados, ANSP, aerolíneas y demás usuarios del espacio aéreo constituyen un factor clave para reducir la incertidumbre operacional y mejorar la capacidad de respuesta ante futuros eventos de interferencia.

5.3 La implementación de una Red Operacional Resiliente en la Región SAM debería basarse en un enfoque flexible y proporcionado al nivel de complejidad operacional de cada espacio aéreo. Si bien una red mínima de ayudas convencionales constituye un elemento importante de resiliencia, la estrategia más eficiente no necesariamente implica la preservación de extensas redes de radioayudas terrestres en todos los entornos. En áreas de bajo volumen y complejidad de tránsito aéreo, una combinación de vigilancia radar, procedimientos ATS de contingencia, capacidades de aproximación convencional e infraestructura mínima estratégicamente ubicada puede proporcionar niveles adecuados de seguridad y continuidad operacional con una relación costo-beneficio más favorable. Por ello, la planificación de la RON debería priorizar soluciones adaptadas a las necesidades operacionales de cada Estado, garantizando un equilibrio adecuado entre resiliencia, eficiencia y sostenibilidad económica.

6. Acciones sugeridas

6.1 Se invita la reunión a:

6.1.1 Tomar nota de la información proporcionada en esta nota de estudio.

6.1.2 Solicitar el GT Interop y al GESEA a conformar un grupo de trabajo ATM/CNS para desarrollar un material guía de implementación de la Red Operacional Resiliente, que garantice un equilibrio adecuado entre resiliencia, eficiencia y sostenibilidad económica.

6.1.3 Instar a los Estados SAM que implementen a la brevedad posible procedimientos operacionales predefinidos, armonizado y conocidos por todos los actores para enfrentar el tema de interferencias GNSS, utilizándose la infraestructura de navegación aéreo ya instalada, que garanticen la continuidad de las operaciones en los principales aeropuertos de la Región SAM.

FIN