



**Cuarta Reunión Conjunta GREPECAS–RASG-PA y  
Vigésima segunda Reunión del Grupo Regional de Planificación y Ejecución del Caribe y  
Sudamérica (GREPECAS/22)  
Fase Virtual (Asincrónica, en línea 13 de septiembre al 11 de octubre de 2024)  
Fase Presencial (Lima, Perú, 20 al 22 de noviembre de 2024)**

**Cuestión 5 del  
Orden del Día:**

**Implementación de los Servicios de Navegación Aérea (ANS) CAR/SAM  
5.2 Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS)**

**Mitigación del Jamming y Spoofing de GNSS: Mejorando la Seguridad y Resiliencia en la Aviación**

(Presentado por los Estados Unidos)

**RESUMEN EJECUTIVO**

Este documento proporciona un análisis de los eventos de interferencia de radiofrecuencia de GNSS (jamming y spoofing de GNSS), los cuales son amenazas significativas para la seguridad y eficiencia de la aviación. El documento describe los síntomas observados, los impactos en los sistemas de las aeronaves y las medidas de mitigación y contingencia necesarias. Se enfatiza la importancia de los mecanismos de detección y reporte, observaciones internacionales, y procesos de toma de decisiones colaborativos para garantizar la seguridad en la aviación.

*Objetivos  
Estratégicos:*

- Seguridad Operacional
- Capacidad y eficiencia de la navegación aérea

*Referencias:*

- FAA SAFO 24002, *Recognizing and Mitigating Global Positioning System (GPS) / Global Navigation Satellite System (GNSS) Disruptions*
- EASA SIB 2022-02R3, *Global Navigation Satellite System Outage and Alterations Leading to Communication / Navigation / Surveillance Degradation*
- ICAO Doc 9849, GNSS Manual
- OpsGroup GPS Spoofing Work Group Material
- NAT TIG/17 and 18 Working and Information Papers

**1. Introducción**

- 1.1** El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), compuesto por cuatro constelaciones principales en órbita: Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Galileo, GLONASS y BeiDou, juega un papel crítico en la aviación moderna, proporcionando servicios esenciales de posicionamiento, navegación y sincronización. Sin embargo, la creciente prevalencia del jamming y spoofing de GNSS presenta desafíos significativos para la seguridad y eficiencia del transporte aéreo. Estas interferencias intencionales, ya sea mediante jamming o spoofing, pueden

provocar graves interrupciones operativas, comprometer la integridad del sistema y aumentar los riesgos tanto para las tripulaciones de vuelo como para el personal de control de tráfico aéreo (ATC).

**1.2** Este documento:

- a)** Profundiza en los aspectos críticos del jamming y spoofing de GNSS, explorando sus definiciones, efectos y los síntomas observados asociados con estos tipos de interferencia;
- b)** Resalta el impacto en los sistemas de las aeronaves, detallando las fallas en cascada que pueden ocurrir por receptores de GNSS comprometidos;
- c)** Sugiere medidas de mitigación y contingencia que las autoridades de aviación civil y los proveedores de servicios de gestión del tráfico aéreo/navegación aérea podrían implementar para protegerse contra estas amenazas;
- d)** Enfatiza la importancia de los mecanismos de detección y reporte.

## **2. Discusión**

### *Jamming y Spoofing*

**2.1** El jamming y el spoofing son dos tipos distintos de interferencia que interrumpen las señales del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), pero difieren significativamente en sus métodos e impactos en la aviación.

### *Jamming*

**2.2** El jamming implica la transmisión intencional de interferencia de radiofrecuencia que sobrecarga las señales de GNSS, impidiendo que los receptores se conecten a los satélites. Esto resulta en una pérdida inmediata y notable de la funcionalidad de GNSS, volviendo el sistema ineficaz o degradado para los usuarios en el área afectada.

**2.3** El Glosario de Piloto/Controlador del Manual de Información Aeronáutica de la FAA define el jamming como: emisiones que no imitan las señales del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) (ej. GPS y WAAS), sino que interfieren con la capacidad del receptor civil para adquirir y rastrear señales de GNSS. El jamming puede resultar en la negación de la navegación GNSS, posicionamiento, sincronización y funciones dependientes de la aeronave.

**2.4** Cuando las aeronaves encuentran jamming, la señal de GNSS se considera perdida o inválida.

**2.5** Uno de los muchos impactos del jamming puede ser la pérdida de servicios de navegación y sincronización basados en GNSS, lo que puede comprometer la navegación de la aeronave y degradar la conciencia situacional general.

**2.6** Las tripulaciones de vuelo generalmente se dan cuenta rápidamente del jamming porque los sistemas dejan de recibir señales de GNSS, lo que conduce a interrupciones operativas evidentes.

---

### *Spoofing*

**2.7** El spoofing implica la transmisión de señales satelitales falsas diseñadas para engañar a los receptores GNSS haciéndolos calcular datos incorrectos de posición, navegación y sincronización (PNT).

**2.8** El Glosario de Piloto/Controlador del Manual de Información Aeronáutica de la FAA define el spoofing como: emisiones de señales similares a GNSS que pueden ser adquiridas y rastreadas en

combinación con o en lugar de las señales deseadas por los receptores civiles. Los efectos del spoofing pueden ser instantáneos o retardados, y los efectos pueden persistir después de que el spoofing haya terminado. El spoofing puede resultar en información falsa y potencialmente confusa, o peligrosamente engañosa, de posición, navegación, y/o fecha/hora, además de la pérdida del uso de GNSS.

**2.9** Los efectos del spoofing pueden ser sutiles y no ser inmediatamente aparentes para la tripulación, lo que representa un mayor riesgo para la seguridad.

**2.10** Es importante señalar que estos ataques están volviéndose muy sofisticados; primero realizan jamming y luego spoofing, destruyendo los llamados “datos cálidos” en el receptor GNSS, lo que hace que el sistema sea incapaz de detectar un salto ilógico en posición o tiempo.

**2.11** Cuando las aeronaves encuentran spoofing, la señal GNSS puede ser errónea pero seguirá pareciendo válida para los receptores. Por lo tanto, los datos incorrectos pueden ser utilizados por los sistemas descendentes sin que sea obvio para la tripulación.

**2.12** El spoofing puede llevar a posiciones de navegación incoherentes, diferencias anormales entre la velocidad en tierra y la velocidad aérea verdadera, y pantallas de tiempo y fecha erróneas. Estas señales falsas pueden causar que varios sistemas a bordo funcionen mal, lo que resulta en datos engañosos o corruptos, que pueden comprometer la seguridad del vuelo y requerir reinicios manuales de los circuitos (literalmente como cuando solías cambiar fusibles en tu coche) que, según regulación, solo se pueden realizar después de aterrizar. Esto crea la condición en la que los sistemas aviónicos comprometidos no pueden ser recuperados en vuelo.

**2.13** La naturaleza engañosa del spoofing lo convierte en una amenaza más desafiante de abordar, lo que requiere estrategias de detección y respuesta sofisticadas para mantener la integridad de las operaciones dependientes de GNSS.

### *Mitigaciones y Medidas de Contingencia*

**2.14** Todos los actores de la aviación, incluidas las Autoridades de Aviación Civil (CAA), los Proveedores de Servicios de Tráfico Aéreo (ATSP), los Operadores Aéreos, los Pilotos y los Fabricantes de Equipos Operacionales (OEM) necesitan trabajar juntos para crear procedimientos de mitigación y contingencia para manejar eficazmente la interferencia de GNSS.

**2.15** Este trabajo no solo debe realizarse internamente por los estados, sino que también debe incluir acuerdos y prácticas regionales.

**2.16** Es vital que las FIR vecinas en una región desarrollen acuerdos que apoyen el intercambio regional de información sobre eventos de jamming y spoofing en tiempo casi real en la medida de lo posible. La información debe incluir, como mínimo:

- a) La hora y ubicación de la interferencia, si se conoce;
- b) El tipo de interferencia, si se conoce; y
- c) Información de vuelo de cualquier aeronave que podría haber sido afectada por el evento de interferencia.

### *Fabricante de Equipos Operacionales (OEM)*

**2.17** Los Fabricantes de Equipos Operacionales (OEM) reconocen la seria naturaleza de la interferencia GNSS y su impacto en la seguridad del vuelo.

**2.18** El Documento de Información/10, presentado por Boeing en la reunión del Grupo de Tecnología e Interoperabilidad del Atlántico Norte de la OACI (NAT TIG) (Washington D.C., EE. UU., 10-13 de septiembre de 2024), proporciona información sobre los impactos conocidos de la interferencia de GNSS en las aeronaves Boeing. (se incluye el documento de información completo como Anexo A)

**2.19** Se han reportado eventos de interferencia de GNSS en todos los modelos de Boeing. El ser afectado por tal evento no siempre es inmediatamente aparente para las tripulaciones. Los Efectos Conocidos en la Cabina de Vuelo (FDE) pueden ser utilizados como señales de exposición a interferencia GNSS, aunque estos no ocurren de manera consistente. Algunos posibles FDE que las tripulaciones pueden encontrar durante eventos de interferencia GNSS incluyen (pero no se limitan a):

- a) Incoherencia en la posición de navegación, como advertencias de desacuerdo en la posición GNSS/Función de Gestión de Vuelo (FMF).
- b) Pérdida de SATCOM (si está instalado) también puede ocurrir para todos los modelos excepto el 737
- c) Desplazamiento de tiempo/fecha
- d) Alertas espurias del EGPWS
- e) Pérdida de ADS-B o datos de posición erróneos en ADS-B

**2.20** Los operadores pueden desactivar la entrada de GNSS en el FMS antes de ingresar a áreas conocidas de interferencia GNSS y volver a activarla al salir. Sin embargo, actualmente no hay forma de aislar el receptor GNSS de otros sistemas de la aeronave (ej. EGPWS, reloj).

**2.21** Los sistemas aviónicos de las aeronaves pueden recuperarse después de salir del área de interferencia GNSS, sin embargo, no está garantizado, ya que se han recibido informes tanto de recuperación como de no recuperación. La probabilidad de recuperación variará según los aviónicos específicos instalados, ya que el mismo modelo de aeronave puede admitir múltiples configuraciones de receptores GNSS para la instalación.

**2.22** Boeing está trabajando actualmente con proveedores en mejoras de aviónica que pueden hacer que sean más resistentes a los eventos de interferencia GNSS, así como mejorar los procedimientos de recuperación, y realiza llamadas mensuales con los operadores para discutir los últimos desarrollos en los problemas de interferencia GNSS.

#### *Autoridades de Aviación Civil (CAA)*

**2.23** Como parte integral de la mitigación y prevención de la interferencia GNSS, se anima a las CAA a trabajar en colaboración con sus partes interesadas para:

- a) Establecer procedimientos de contingencia con ATM/ANSP.

- b) Asegurarse de que la infraestructura de navegación no GNSS (ej. ILS, DME, VOR) esté operativa.
- c) Emitir NOTAMs para describir las áreas afectadas y las limitaciones.
- d) Desarrollar políticas para abordar la respuesta y el manejo de aeronaves afectadas en el extranjero que luego transiten el espacio aéreo bajo su jurisdicción.

*Gestión del Tráfico Aéreo/Proveedores de Servicios de Navegación Aérea (ATM/ANSP)*

**2.24** Los ATM y ANSP, junto con sus respectivas CAA, deben trabajar en colaboración entre ellos y junto con sus partes interesadas, FIR vecinas y la(s) región(es) para:

- a) Recopilar y compartir información sobre las degradaciones de GNSS.
- b) Evaluar el impacto en los sistemas CNS y garantizar una cobertura de vigilancia resiliente.
- c) Proporcionar procedimientos de contingencia adecuados para la interferencia GNSS.

*Detección y Reporte*

**2.25** La detección y reporte oportunos de eventos de interferencia de GNSS es crucial para asegurar esfuerzos exitosos de mitigación. Una plataforma de reporte de fácil acceso debe ser mantenida por la CAA y/o el ANSP para facilitar el reporte de eventos, la integración con reportes proporcionados por otras CAAs y/o ANSPs. **EJEMPLO:** el sitio web de la FAA para [Reportar una Anomalía de GPS](#).

**2.26** Se debe alentar a los Estados a desarrollar sus propios métodos y capacidades de reporte y luego, además, trabajar con otros Estados en su(s) región(es) para crear y mantener un espacio donde los reportes, junto con otra información, sean fácilmente accesibles.

*Preocupaciones de la Tripulación de Vuelo y las Instalaciones de Control de Tráfico Aéreo (ATC)*

**2.27** Las tripulaciones de vuelo han manifestado, entre otras cosas, preocupaciones sobre la pérdida de confianza en los sistemas de las aeronaves debido al spoofing y la importancia de una orientación clara e información sobre cómo manejar las disrupciones de GNSS.

**2.28** Las instalaciones de ATC expresaron la necesidad de un camino claro hacia la toma de decisiones colaborativa para reanudar las operaciones después de los eventos de interferencia de GNSS, así como sus roles en la descripción de las áreas afectadas, los tipos de aeronaves impactadas y las señales de spoofing.

### **3. Conclusión**

**3.1** La creciente prevalencia del jamming y spoofing de GNSS representa una amenaza significativa para la seguridad y la eficiencia operativa de la aviación. Los efectos inmediatos y notables del jamming, contrastados con la naturaleza insidiosa y difícil de detectar del spoofing, subrayan la necesidad de estrategias de mitigación proactivas y completas.

**3.2** En conclusión, la creciente frecuencia y sofisticación de las interferencias de GNSS requieren un esfuerzo concertado para garantizar la seguridad y confiabilidad continuas del transporte aéreo. Adoptando estrategias de respuesta integrales y fomentando procesos de toma de decisiones colaborativos, los actores de la aviación pueden abordar efectivamente estas amenazas emergentes y salvaguardar la integridad de las operaciones dependientes de GNSS. Este documento sirve como un recurso para los actores de la aviación, ofreciendo perspectivas y recomendaciones para navegar los desafíos planteados por el jamming y spoofing de GNSS, mejorando así la seguridad y la resiliencia general del sistema de aviación global.

— — — — —

## Anexo A



NAT TIG/18 – IP/10  
29/08/2024

European and North Atlantic Office



## GRUPO DE TECNOLOGÍA E INTEROPERABILIDAD DEL ATLÁNTICO NORTE (NAT TIG)

### DECIMOCTAVA REUNIÓN

*(Washington DC, EE. UU., 10-13 de septiembre de 2024)*

#### Cuestión 2 del Orden del Día:

Monitoreo y análisis del desempeño del enlace de datos, incluidas pruebas y operaciones. Informes de estados, industria y DLMA.

#### d) Otros temas

### IMPACTO DE LA INTERFERENCIA GNSS EN LOS AERONAVES BOEING

*(Presentado por Boeing)*

#### RESUMEN

*Este documento informativo proporciona información sobre los impactos conocidos de GNSS RFI en aviones Boeing.*

#### 1. Introducción

1.1 Ha habido un aumento en los eventos de interferencia del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) reportados que afectan a los aviones comerciales. Estos eventos tienen un impacto directo en múltiples funciones de la aeronave, incluido el enlace de datos. Dado que el enlace de datos se utiliza tanto para la comunicación como para la vigilancia en áreas de separación reducida, existe una creciente preocupación por el riesgo que corren las funciones aviónicas degradadas cuando se exponen a tales eventos.

#### 2. Discusión

##### *Antecedentes*

2.1 Los eventos de interferencia de radiofrecuencia (RFI) GNSS pueden ocurrir debido a interferencias o suplantaciones de señales de GPS. En incidentes de jamming, la banda de frecuencia del GPS se puede manipular para evitar que los receptores decodifiquen las señales del GPS. En incidentes de spoofing de identidad, se puede hacer que señales similares a las de un GPS parezcan válidas y coherentes, pero con información errónea.

2.2 Cuando una aeronave enfrenta jamming, la señal GPS se considerará perdida o no válida. En estos casos, la aeronave volverá a utilizar los sistemas de respaldo normales, según estén disponibles, y proporcionará cualquier indicación asociada a la tripulación de vuelo. Cuando una aeronave enfrenta spoofing, la señal del GPS puede ser errónea, pero seguirá pareciendo válida para los receptores. Por lo tanto, esos datos pueden ser utilizados por sistemas posteriores sin que sea obvio para la tripulación de vuelo.

### ***Detección***

2.3 Se han informado eventos GNSS RFI en todos los modelos de Boeing. El impacto de un evento de este tipo no siempre es inmediatamente evidente para las tripulaciones de vuelo. Los efectos de la cabina de vuelo (FDE) conocidos se pueden utilizar como signos de exposición a RFI, sin embargo, es posible que estos no ocurran de manera constante. Algunos FDE potenciales que las tripulaciones pueden encontrar durante eventos de RFI pueden incluir (pero no se limitan a):

- Incoherencia en la posición de navegación, como advertencias de desacuerdo en la posición GNSS/Función de Gestión de Vuelo (FMF).
- La pérdida de SATCOM (si está instalado) también puede ocurrir en todos los modelos excepto el 737.
- Cambio de tiempo/fecha
- Alertas falsas de EGPWS
- Pérdida de ADS-B o datos de posición erróneos en ADS-B

2.4 Los FDEs encontrados variarán según el modelo de aeronave, la configuración de aviónica y el tipo de interferencia experimentada. Para conocer los FDEs más actualizados debido a GNSS RFI en aviones Boeing, los operadores deben consultar el Boletín técnico de operaciones de flota (FOTB) y el Manual de operaciones de la tripulación de vuelo (FCOM) correspondientes.

<b>Major Model</b>	<b>Most Recent Published FOTB</b>	<b>Released Month</b>	<b>FTD Maintenance Document</b>
737*	737 23-01R1 737-24-01 (hybrid)	Dec 2023 Mar 2024	737NG-FTD-34-23002 737MAX-FTD-34-23001 MT 34-064
747	747 23-80	Dec 2023	737NG-FTD-34-23002 737MAX-FTD-34-23001 MT 34-064
757	757-23-99	Dec 2023	757-FTD-34-23001
767	767-23-102	Dec 2023	767-FTD-34-23002 MT 34-080
777	777-62	Dec 2023	777- FTD-34-23002 MT 34-051R1
787	787-27	Nov 2023	787-FTD-34-23001

Tabla 1: Números de FOTB y FTD por modelo.

### ***Impacto del enlace de datos***

2.5 GNSS RFI puede afectar las operaciones de enlace de datos, principalmente debido a la posibilidad de errores de hora/fecha, posición y pérdida de precisión de navegación.

2.6 En el entorno ATN, esto puede resultar en la imposibilidad de iniciar sesión en un centro ATC, así como en la imposibilidad de intercambiar mensajes debido a que el sistema terrestre y la fecha/hora de la aeronave no están sincronizados.

2.7 En el entorno FANS-1/A+, el inicio de sesión y el uso de CPDLC y ADS-C seguirán funcionando. Sin embargo, la posición 4D intercambiada con el suelo puede ser errónea. En los aviones Boeing, actualmente no existe ningún método para seleccionar manualmente una fuente de tiempo diferente. Si la señal GPS es válida (aunque errónea), la FMF seguirá incluyéndola en los enlaces descendentes. En caso de una posición GPS errónea, el FMF detectará dichos saltos y volverá a utilizar otra fuente para la posición, como la actualización por radio. La reversión manual y automática a modos de navegación alternativos se reflejará en el valor de FOM.

2.8 Una posición inexacta también puede afectar la disponibilidad de SATCOM, ya que ciertos sistemas de aviónica SATCOM utilizan la posición para dirigir la antena. Esto puede resultar en la pérdida de SATCOM para todo o parte del cruce NAT.

### ***Recuperación***

2.9 Los operadores, según su criterio y después de realizar una evaluación de riesgos, pueden optar por desactivar la actualización del GPS al ingresar a áreas conocidas de RFI y volver a habilitarla al salir. En el Boletín Técnico de Operaciones de Vuelo (FOTB) aplicable, que los operadores pueden obtener de

Boeing, se detallan consideraciones adicionales sobre cuándo realizar dichos procedimientos y los riesgos potenciales a abordar.

2.10 La aviónica de la aeronave puede recuperarse después de salir del área de RFI, sin embargo, no está garantizado ya que se han recibido informes de recuperación y no recuperación. La probabilidad de recuperación variará según la aviónica específica instalada, ya que el mismo modelo de aeronave puede admitir múltiples configuraciones de receptor GPS para su instalación. Por lo tanto, los operadores deben comunicarse con Boeing para comprender los impactos específicos de cada una de sus configuraciones instaladas.

2.11 Boeing ha proporcionado acciones de mantenimiento en tierra para realizar después de experimentar eventos de RFI. Están disponibles para todos los operadores en su documento de mantenimiento asociado.

### ***Próximos pasos***

2.12 Actualmente, Boeing está trabajando con proveedores en mejoras de aviónica que pueden hacerlos más resistentes a eventos de RFI, así como mejorar los procedimientos de recuperación. La disponibilidad de esta aviónica actualizada variará según el modelo y los operadores deben comunicarse con Boeing para obtener las últimas actualizaciones.

2.13 Boeing realiza llamadas a los operadores mensualmente para discutir los últimos avances en cuestiones de RFI. Además, Boeing alienta a los operadores a enviar solicitudes de servicio a Boeing para garantizar que cualquier nuevo síntoma de RFI se capture y evalúe adecuadamente.

## **1. Acción de la Asamblea**

3.1 Se invita al NAT TIG a tomar nota de la información proporcionada.