



**ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS
ORGANIZATION OF AMERICAN STATES**

**Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
Inter-American Telecommunication Commission**

**46 REUNIÓN DEL COMITÉ
CONSULTIVO PERMANENTE II:
RADIOCOMUNICACIONES
29 de septiembre al 3 de octubre de 2025
Salvador Bahía, Brasil**

**OEA/Ser.L/XVII.4.2.46
CCP.II-RADIO/doc. 6356/25
12 septiembre 2025
Original: Español**

INTERMODULACIÓN Y SEGURIDAD AERONÁUTICA

(Punto del temario: 3.3)

(Documento presentado por TES America)

Impacto en el sector:

El fenómeno de la **intermodulación** constituye un riesgo latente para las comunicaciones aeronáuticas, en especial durante fases críticas de vuelo como aproximaciones, aterrizajes y despegues. La **superposición** de señales de radiodifusión sonora en **receptores** aeronáuticos puede producir señales espurias, conocidas como productos de intermodulación, en bandas críticas de COM, ILS y VOR (108–137 MHz). Este riesgo se incrementa en aeropuertos cercanos a zonas urbanas con alta densidad de emisoras FM, autorizadas o no autorizadas.

En fechas recientes se han registrado incidentes en la región, que fueron divulgados por diferentes medios dado su impacto, y evidencian la relevancia del problema. En **julio de 2025**, la Aeronáutica Civil de Colombia informó la **suspensión parcial de operaciones en el Aeropuerto Internacional**

Rafael Núñez de Cartagena, restringiendo los aterrizajes debido a una interferencia externa de radiodifusión sonora y así mismo, informó que, en **agosto de 2025**, cinco emisoras ilegales de FM fueron desmanteladas en **Medellín** tras confirmarse su impacto en las **comunicaciones aire-tierra del aeropuerto Olaya Herrera**, con afectación temporal de las operaciones de control. Estos antecedentes se suman a reportes de la FAA (*Administración Federal de Aviación*) de los Estados Unidos y de la OACI (*Organización de Aviación Civil Internacional*) que han documentado riesgos similares.

Aunque los sistemas de navegación en tierra, como el ILS¹ y el VOR², están reglamentados desde los años 80 con normas internacionales de protección a la interferencia de emisoras de FM, los receptores de comunicación instalados en las aeronaves y torres de control siguen siendo más vulnerables. Esto ocurre porque, al realizar las maniobras de aproximación, aterrizaje y despegue, los aviones quedan expuestos de manera simultánea a decenas de emisoras en línea de vista; la suma de estas señales puede sobrecargar el receptor y generar fenómenos de **intermodulación**, es decir, señales espurias que aparecen dentro de las frecuencias usadas para las comunicaciones y la navegación, afectando su calidad y confiabilidad.

El fenómeno de la intermodulación es **aleatorio y variable**, lo que hace necesario identificar las frecuencias aeronáuticas con mayor probabilidad de afectación según la ubicación y los parámetros técnicos de las emisoras FM autorizadas, así como de las emisiones no autorizadas detectadas mediante el monitoreo del espectro. La presente contribución expone el **contexto técnico** y presenta una **solución tecnológica** orientada a mitigar el riesgo potencial que estos fenómenos representan para la seguridad del servicio aeronáutico.

Resumen Ejecutivo:

Cuando se reportan interferencias en aeropuertos, el ente regulador suele verse obligado a actuar de inmediato, dada la criticidad del servicio aéreo. Sin embargo, no siempre resulta posible identificar la causa con claridad. En muchos casos, los esfuerzos se enfocan en revisar los parámetros técnicos de las emisoras de FM autorizadas y en identificar emisiones no autorizadas. Estas últimas, si bien pueden agravar el escenario, no son la causa principal de lo que experimentan los pilotos o la torre de control. En situaciones extremas, incluso se ha tenido que llevar a bordo de aeronaves a personal técnico del regulador, para que evidencie directamente las interferencias que surgen en fases de aproximación o despegue y que no se replican en mediciones hechas desde tierra.

Este tipo de casos, además de demandantes, reflejan una condición técnica particular: los equipos de monitoreo en tierra suelen tener una **respuesta lineal superior** a la de los receptores aeronáuticos. Por ello, no registran los mismos efectos de intermodulación que se manifiestan en cabina o en la torre de control, ni replican las condiciones reales que experimentan las aeronaves durante las fases de **aproximación y despegue**.

Un análisis técnico más detallado permite establecer las siguientes premisas:

- **La intermodulación es inevitable.** Se trata de un fenómeno inherente a los receptores debido al entorno de radiofrecuencia (RF) particular de cada aeropuerto, producto de la no linealidad de los receptores.
-

¹ **ILS: Instrument Landing System (Sistema de Aterrizaje por Instrumentos).** Es un sistema de ayuda a la navegación que proporciona a las aeronaves **guía lateral (localizador)** y **guía vertical (glide slope)** para realizar aproximaciones de precisión en condiciones de baja visibilidad.

² **VOR: VHF Omnidirectional Range (Radiofaro Omnidireccional de VHF).** Es una radio ayuda de navegación que transmite una señal en **muy alta frecuencia (VHF)**, permitiendo a los pilotos determinar su rumbo y posición respecto a la estación terrestre, y seguir rutas aéreas establecidas.

-
- **El entorno de RF está definido por las emisoras de FM presentes.** Mediante simulaciones de propagación es posible determinar los productos de intermodulación que podrían presentarse a distintas alturas en la ruta de aproximación, despegue o en la torre de control.
 - **El problema surge en el receptor.** La respuesta no lineal aparece cuando la energía total recibida supera un nivel crítico, definido por el parámetro **IP3**³. Minimizar este efecto sería posible reemplazando los receptores de las aeronaves o reorganizando las asignaciones de frecuencia y potencias autorizadas, lo cual es poco factible en la práctica.
 - **Las condiciones cambian con la altitud.** Durante la aproximación, el aterrizaje o el despegue, las aeronaves reciben diferentes niveles de intensidad de campo eléctrico provenientes de las estaciones de FM. A mayor altitud, la línea de vista se amplía, lo que modifica la cantidad y niveles de emisoras recibidas y, por ende, la matriz de los productos de intermodulación.
 - **Las emisiones no autorizadas complican el escenario.** Su aparición imprevista introduce portadoras adicionales que modifican dinámicamente la matriz de intermodulación, lo que demanda la necesidad de un monitoreo continuo.
 - **Las mediciones en tierra son limitadas.** Los analizadores de espectro poseen una linealidad superior a la de los receptores aeronáuticos, por lo que difícilmente reproducen las interferencias en condiciones controladas. Aunque estas inspecciones permiten detectar y sancionar transmisiones no autorizadas o fuera de parámetros, estas no constituyen la causa principal del fenómeno.

De lo anterior se puede concluir que la estrategia más viable para mitigar estas interferencias consiste en **identificar dinámicamente los productos de intermodulación que se generan en las fases de aproximación, aterrizaje y despegue**, y recomendar el uso de aquellos canales de comunicación que presenten **menor probabilidad de afectación en función del entorno de RF existente**.

Esta contribución propone una solución con un enfoque metodológico que considera las premisas planteadas:

- Simulación **predictiva en 3D**: modelado tridimensional que considera la altura de vuelo, la trayectoria de la aeronave y los niveles de intensidad de campo eléctrico, obtenidos mediante simulación de radiopropagación, de cada emisora de FM registrada en la base de datos.
 - Monitoreo **continuo**: detección en tiempo real de transmisiones autorizadas y no autorizadas en la banda de FM (88–108 MHz), actualizando de manera dinámica la matriz de posibles productos de intermodulación y generando alertas y reportes automáticos asociados a escenarios de riesgo.
 - Enfoque **integrado**: la combinación de simulación y monitoreo permite caracterizar con mayor precisión la probabilidad de intermodulación, identificar los canales menos afectados y respaldar la toma de decisiones de autoridades aeronáuticas y de espectro.
-

³ **IP3 (Third-Order Intercept Point)**: Parámetro que indica el nivel de tolerancia de un receptor frente a señales fuertes; cuando se supera, se generan productos de intermodulación de tercer orden que pueden caer en frecuencias críticas.

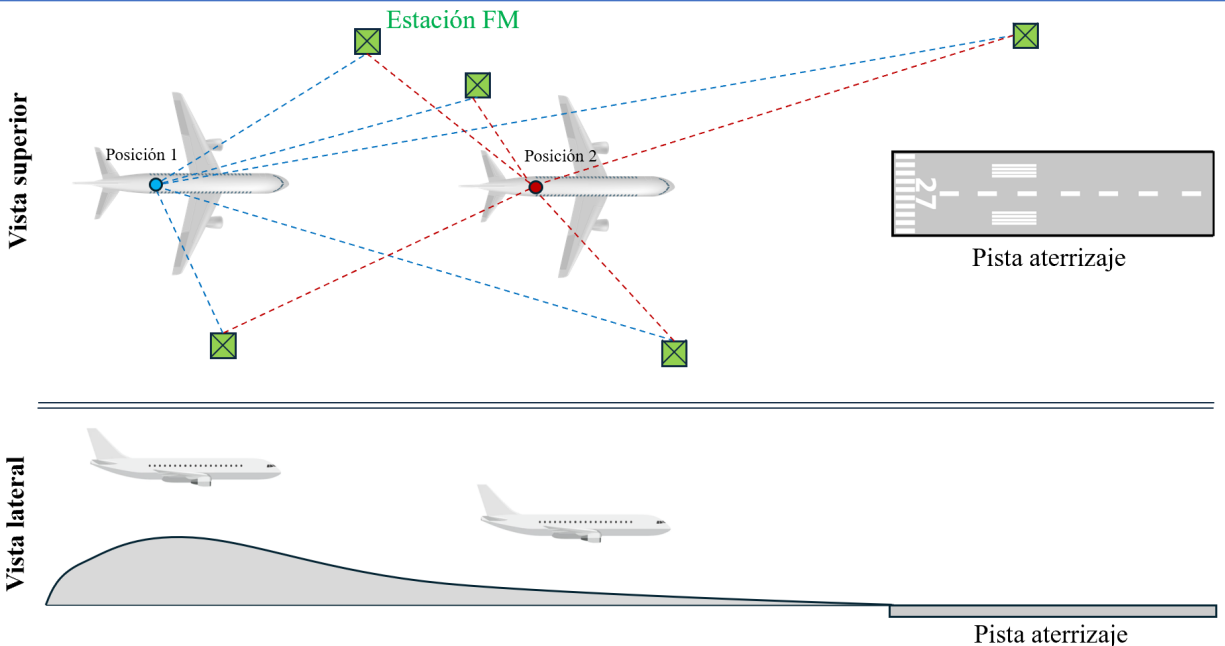


Figura 1, la simulación debe considerar cada punto de la trayectoria de la aeronave

La finalidad de este enfoque es **fortalecer la seguridad operacional aérea** mediante la identificación y priorización de aquellas frecuencias con menor susceptibilidad a la intermodulación. Aunque este fenómeno no puede eliminarse por completo, sí puede **minimizarse de manera significativa** al anticipar los escenarios más críticos y proponer el uso de canales más seguros. El componente de **monitoreo continuo** asegura, además, la detección de señales no autorizadas que modifican la matriz de intermodulación, manteniendo el análisis permanentemente actualizado y respaldando la adopción de **acciones correctivas**.

Descripción de la solución planteada

La solución que se presenta combina capacidades de **simulación de radiopropagación en línea** con un esquema de **monitoreo continuo**, orientado a anticipar y mitigar los efectos de la intermodulación en servicios aeronáuticos. Esta aproximación integra técnicas de análisis predictivo y procesamiento en tiempo real, de modo que se puedan identificar con mayor precisión los escenarios de riesgo y proponer alternativas de operación más seguras.

La arquitectura técnica se soporta en **computación en la nube**, que aporta escalabilidad y capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de datos espectrales, y en **edge computing**, que permite realizar análisis distribuidos del monitoreo de la banda FM, reduciendo la latencia y mejorando la velocidad de respuesta. Gracias a esta combinación, los cálculos se realizan en el rango de segundos incluso en escenarios complejos que incluyen múltiples trayectorias de vuelo, mapas tridimensionales de altitud y niveles de intensidad de campo eléctrico asociados al servicio de FM.

La solución dispone de una plataforma web accesible desde cualquier navegador y dispositivo móvil. Sus interfaces gráficas están diseñadas para que tanto el personal especializado en espectro como los responsables de la operación aérea puedan interpretar los resultados, identificar las frecuencias más seguras y activar, cuando sea necesario, planes de cambio de frecuencia. Adicionalmente, el sistema permite generar reportes y alarmas personalizadas.

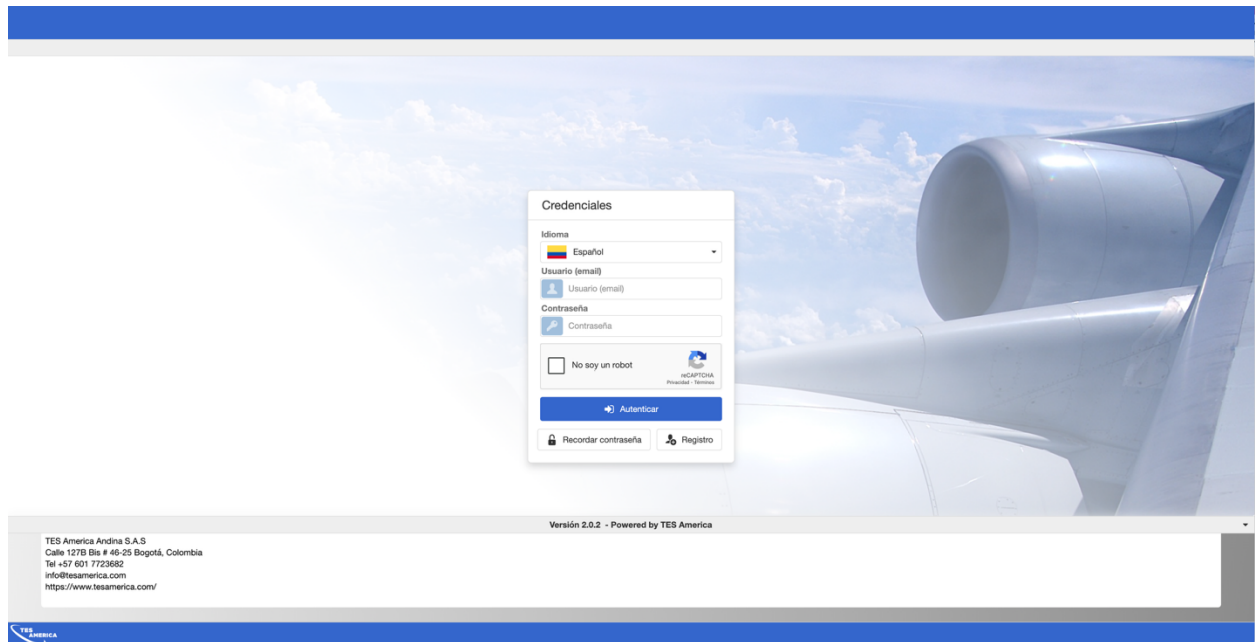


Figura 2, pantalla de inicio de sesión de la plataforma

1. Simulación predictiva

- Incorpora mapas tridimensionales y considera la altitud y trayectoria de vuelo, modelando la línea de vista de las aeronaves frente a emisoras FM.
- Integra los niveles reales de señales en la banda 88–108 MHz, incluyendo estaciones autorizadas y la detección de transmisiones no autorizadas.
- Considera los parámetros técnicos de los receptores aeronáuticos para calcular los productos de intermodulación más probables.
- Permite identificar frecuencias vulnerables y simular escenarios alternativos.

2. Monitoreo continuo y fusión de datos

- Opera con sensores heterogéneos desplegados en el entorno aeroportuario y urbano.
- Mide en tiempo real la banda FM, detectando tanto emisoras autorizadas como emisiones ilegales o fuera de norma.
- Genera alertas y reportes automáticos correlacionados con los escenarios de riesgo identificados por simulación.
- Emplea técnicas de big data e inteligencia espacial para relacionar el comportamiento espectral con variables geográficas y temporales.

3. Enfoque integrado

- Al combinar simulación y monitoreo, se pasa de una detección reactiva a un esquema predictivo y preventivo.
- Facilita la planificación de frecuencias aeronáuticas, apoyando a las autoridades de aviación civil y de espectro en la toma de decisiones.
- Permite anticipar escenarios críticos, reduciendo la probabilidad de interferencias por intermodulación y mejorando la seguridad operacional.

En síntesis, la finalidad de esta contribución es presentar alternativas de solución orientadas al fortalecimiento de la seguridad operacional aérea mediante la identificación y priorización de frecuencias menos vulnerables, reconociendo que, si bien los fenómenos de intermodulación no pueden eliminarse, su efecto sí puede minimizarse de manera significativa. Asimismo, se complementan con monitoreo continuo para identificar las señales no autorizadas que están presentes y modifican la matriz de intermodulaciones.