

UNDÉCIMA CONFERENCIA DE NAVEGACIÓN AÉREA

Montreal, 22 de septiembre - 3 de octubre de 2003

**Cuestión 6 del
orden del día: Cuestiones relativas a la navegación aeronáutica**

VULNERABILIDAD DEL GNSS Y MÉTODOS PARA MITIGARLA, INCLUYENDO SOLUCIONES TERRESTRES, DE A BORDO Y DE PROCEDIMIENTOS

(Nota presentada por la Secretaría)

RESUMEN

El presente documento se basa en los resultados del estudio realizado por el Grupo de expertos sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSSP) a petición de la Comisión de Aeronavegación de la OACI. En el documento se identifican las vulnerabilidades del GNSS y se sugieren métodos adecuados para mitigarlas, incluyendo el uso de sistemas de navegación por inercia, ayudas terrestres y procedimientos. Se dispondrá de otros medios de mitigación cuando se suministren nuevas señales y constelaciones de satélites GNSS. En el documento se sugiere también que los Estados evalúen las cuestiones de vulnerabilidad de su espacio aéreo y elijan los medios de mitigarla según el tipo de tránsito aéreo del espacio en cuestión y las operaciones que deban realizarse. La mitigación apropiada garantizará la seguridad de las operaciones en la transición al GNSS y permitirá a los Estados reducir la infraestructura actual de ayudas terrestres a la navegación y evitar la instalación de nuevas ayudas terrestres.

Hasta la fecha no se ha encontrado ninguna vulnerabilidad que comprometa el objetivo final de la transición al GNSS como sistema mundial para todas las fases de vuelo.

La medida recomendada a la Conferencia figura en el párrafo 7.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El GNSS se está introduciendo progresivamente en todo el mundo y tiene el potencial de satisfacer los requisitos de rendimiento de todas las fases de vuelo, para obtener ventajas de seguridad operacional y eficiencia en todo el campo de la navegación. Conforme haya más operaciones GNSS, es indispensable que los proveedores de servicios identifiquen los aspectos vulnerables del sistema y diseñen los medios necesarios para mitigarlos. En esta nota se identifican las vulnerabilidades del GNSS y los

medios correspondientes para mitigarlas que puedan usarse cuando sea apropiado. Al preparar el documento, se consideraron varios otros estudios de vulnerabilidad y se abarcaron sus inquietudes y recomendaciones. La mayor parte de las vulnerabilidades que se tratan son comunes a otros sistemas de navegación que prestan servicio de navegación aeronáutica, pero esos sistemas quedan fuera del ámbito de este documento.

2. VULNERABILIDAD DE LA SEÑAL GNSS

2.1 Interferencia

2.1.1 Las señales de las constelaciones principales de satélites GNSS y del sistema de aumento por satélite (SBAS) son vulnerables debido a la potencia relativamente baja de la señal recibida pues provienen de satélites y cada señal cubre una fracción grande de la superficie de la tierra. Aunque es más difícil interferir en la radiodifusión de datos de muy alta frecuencia (VHF) del sistema de aumento basado en tierra (GBAS) (la potencia de su señal es similar a la de las radioayudas a la navegación terrestres), este servicio depende de las señales de los satélites principales. Las señales que interfieren se limitan a la propagación en línea visual. Por ejemplo, para un interferente en tierra, la región de interferencia a 600 m (2 000 pies) sobre el suelo se limita inherentemente a unos 110 km (60 NM).

2.1.2 Las normas y métodos recomendados (SARPS) del GNSS exigen un nivel de rendimiento específico en presencia de niveles de interferencia definidos por la máscara de interferencia del receptor. Estos niveles de interferencia son generalmente acordes al reglamento de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). La interferencia de niveles superiores a la máscara puede causar pérdida de servicio pero no se permite que tal interferencia resulte en información peligrosa o que induzca a error.

2.1.3 *Interferencia involuntaria.* Se ha determinado que la mayor parte de los casos de interferencia de GNSS notificados proviene de los sistemas de a bordo y la experiencia con la instalación del GNSS ha permitido identificar varias fuentes de interferencia involuntaria (p.ej., emisiones no deseadas o armónicas del equipo de comunicaciones VHF y emisiones fuera de la banda y no deseadas del equipo de comunicaciones por satélite). Los dispositivos electrónicos portátiles también pueden causar interferencia al GNSS y a otros sistemas de navegación.

2.1.3.1 Las fuentes terrestres de interferencia incluyen actualmente las comunicaciones VHF móviles y fijas, enlaces de radio punto a punto en la banda de frecuencias GNSS, armónicas de estaciones de televisión, ciertos sistemas de radar, sistemas de comunicaciones móviles por satélite y sistemas militares. La probabilidad de esa interferencia depende de la reglamentación estatal del espectro, de la administración de frecuencias y de su cumplimiento en cada Estado o región.

2.1.4 *Interferencia intencional.* Debido a su poca potencia, las señales del GNSS pueden bloquearse con transmisores de baja potencia. Aunque no se han registrado casos de bloqueo intencional dirigido a aeronaves civiles, la posibilidad de interferencia intencional debe considerarse y evaluarse como una amenaza.

2.2 Interferencia por simulación de señales (Spoofing)

2.2.1 La interferencia por simulación de señales es la corrupción intencional de señales de navegación para que la aeronave se desvíe y siga una trayectoria de vuelo falsa. La simulación de señales de GNSS por satélite es tecnológicamente mucho más compleja que la simulación de radioayudas a la navegación convencionales basadas en tierra. La simulación de radiodifusión de datos GBAS es tan difícil como la simulación de radioayudas de aterrizaje convencionales.

2.2.2 Aunque la interferencia por simulación de señales teóricamente puede inducir a una

aeronave determinada a errores de navegación, es muy probable que se detecte con procedimientos normales (p.ej., vigilando la trayectoria de vuelo y la distancia a los puntos de recorrido, y por vigilancia radar). Los sistemas de advertencia de proximidad del terreno (GPWS) y anticolidión de a bordo (ACAS) dan protección adicional contra colisiones con el terreno y con otras aeronaves. En vista de la dificultad de interferir por simulación con el GNSS y de que no se consideran necesarias medidas operacionales singulares para mitigarla, en esta nota de estudio no se vuelve a tratar la interferencia por simulación de señales.

2.3 Efectos atmosféricos

2.3.1 La precipitación fuerte sólo atenúa las señales de satélite GNSS una pequeña fracción de dB y no afecta las operaciones. Los efectos troposféricos se tratan mediante el diseño del sistema y no representan un aspecto de vulnerabilidad. Pero hay dos fenómenos ionosféricos que sí deben considerarse: los cambios ionosféricos rápidos y grandes y el centelleo. Los cambios ionosféricos causan errores de telemetría que deben tenerse en cuenta en el diseño del sistema. El centelleo puede dar lugar a pérdida temporal de las señales GNSS de uno o más satélites.

2.4 Otras vulnerabilidades

2.4.1 También es necesario considerar las vulnerabilidades de los segmentos terrestre y espacial del GNSS. Existe el riesgo de número insuficiente de satélites en una constelación dada debido a la falta de recursos para mantener la constelación, fallas de lanzamiento(s) o de satélite. Una falla del segmento de control o un error humano pueden llegar a causar la falla de múltiples satélites de una constelación.

2.4.2 Otro riesgo es la interrupción del servicio o su degradación durante una situación de emergencia nacional, en la que cada Estado tiene la libertad de acción que autoriza el Convenio sobre Aviación Civil Internacional (Artículo 89). Si la denegación de señal es regional, se bloquearían todas las señales civiles de GNSS pero, de todas maneras, el espacio aéreo afectado estaría cerrado al tránsito aéreo civil. Otra situación menos probable sería la degradación o denegación de las señales de los satélites principales o de los satélites de aumento en toda el área de cobertura.

3. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DE INTERRUPCIÓN DEL GNSS

3.1 En la evaluación de los riesgos operacionales relacionados con las vulnerabilidades del GNSS hay que considerar dos aspectos principales:

- a) la probabilidad de interrupción del GNSS; y
- b) el efecto de la interrupción.

3.2 Al considerar estos aspectos en función del espacio aéreo, los proveedores de servicios de navegación aérea pueden determinar si se necesita mitigarlos y, de ser así, a qué nivel. Se requiere mitigación para las interrupciones que tengan efectos importantes y probabilidades de ocurrir de moderadas a altas.

3.3 Evaluación de la probabilidad de interrupción del GNSS

Interferencia

3.3.1 *Interferencia involuntaria.* La experiencia operacional es la mejor manera de evaluar este riesgo. La probabilidad de interferencia involuntaria suele ser en función de la geografía. Las ciudades grandes con fuentes considerables de interferencia de radiofrecuencias (RF), los sitios industriales, etc., son más propensos a la interferencia involuntaria que las regiones remotas, donde esta interferencia es muy poco probable.

3.3.2 *Interferencia intencional.* Cada Estado debe considerar los motivos para interferir en el GNSS al determinar la probabilidad de interferencia intencional. Los motivos pueden ser causar daño a una región y afectar operacionalmente a la aviación y a otras aplicaciones. Si el impacto es mínimo, la amenaza potencial es baja pues no hay motivación para interferir. La magnitud del impacto potencial puede aumentar conforme el GNSS tenga más aplicaciones y se dependa más de este sistema.

Efectos atmosféricos (ionosfera)

3.3.3 Cerca del ecuador geomagnético se observan frecuentemente cambios rápidos y grandes en la ionosfera, pero su efecto no es lo suficientemente grande como para afectar las operaciones en ruta ni las de aproximaciones que no son de precisión. Para las operaciones de aproximación con guía vertical (APV) y de precisión (PA), los efectos de estos cambios pueden evaluarse y mitigarse al diseñar los sistemas de aumento. En las regiones ecuatoriales, la disponibilidad de operaciones APV y PA puede verse limitada al usar una sola frecuencia GNSS.

3.3.4 El centelleo ionosférico es insignificante en las latitudes medias. En las regiones ecuatoriales, y en menor grado en las altas latitudes, el centelleo puede causar la pérdida temporal de las señales de uno o más satélites. La experiencia operacional en las regiones ecuatoriales ha demostrado que la probabilidad de pérdida del servicio GNSS actual es poca debido al número relativamente grande de satélites a la vista. El centelleo puede interrumpir la recepción de las radiodifusiones de los satélites de órbita geoestacionaria (GEO) del SBAS.

3.4 Evaluación del impacto de una interrupción del GNSS

3.4.1 El impacto de una interrupción del GNSS en los servicios de navegación depende de los factores siguientes:

- a) tipo de espacio aéreo: el tiempo es un factor más crítico para las medidas paliativas que se tomen en áreas terminales que para las que se tomen en espacio aéreo de gran altitud en ruta y, para el espacio aéreo en ruta, es más crítico para el espacio aéreo donde se establecen mínimas de separación más exigentes;
- b) densidad del tránsito: en regiones con alta densidad de tránsito, puede ser impráctico depender de vectores radar o procedimientos del piloto debido a la carga de trabajo;
- c) nivel de servicio: para operaciones menos exigentes la navegación por estima puede ser lo único que se necesite para proceder a un área en que se disponga de servicio GNSS;
- d) disponibilidad y equipo de otros sistemas de navegación: las aeronaves que puedan navegar con otros medios no se verán afectadas;

- e) vigilancia radar: si se dispone de radar primario o secundario, el ATC podrá proporcionar más asistencia para asegurar la separación y desviar a aeropuertos alternos;
- f) magnitud de la interrupción: la extensión geográfica y la duración de la interrupción del servicio;
- g) evaluación de la interrupción: la capacidad del proveedor de servicio de navegación aérea para evaluar rápidamente la magnitud de la interrupción del servicio; y
- h) condiciones meteorológicas: aunque al evaluar el impacto de una interrupción es prudente suponer condiciones meteorológicas por instrumentos (IMC), la extensión geográfica de las IMC y los parámetros meteorológicos que se supongan en cualquier análisis deberían ser realistas.

3.4.2 También debería considerarse el impacto de una interrupción del GNSS en otros servicios. El GNSS se usa frecuentemente como fuente cronométrica de precisión para los sistemas de comunicaciones y de radar, y puede usarse para servicios de vigilancia dependiente automática (ADS). La vulnerabilidad de cronometraje puede tratarse mediante el diseño del sistema y las aplicaciones ADS quedan fuera del ámbito de este documento.

4. REDUCCIÓN DE LA PROBABILIDAD DE INTERRUPCIONES DEL GNSS

4.1 Instalación y operación

4.1.1 La interferencia de a bordo puede evitarse instalando debidamente el equipo GNSS, integrándolo a otros sistemas de la aeronave (p.ej., blindaje, separación de antenas, filtros fuera de banda) y restringiendo el uso de dispositivos electrónicos portátiles a bordo de la aeronave.

4.2 Administración del espectro

4.2.1 *Administración del espectro.* La administración del espectro efectiva es el medio principal para mitigar la interferencia involuntaria de los transmisores fabricados por el ser humano. La experiencia operacional indica que la amenaza de interferencia involuntaria prácticamente puede eliminarse con una administración de espectro efectiva. Hay tres aspectos en la administración del espectro efectiva:

- a) creación de reglamentos/leyes que controlen el uso del espectro;
- b) cumplimiento de esos reglamentos/leyes; y
- c) cuidado al evaluar nuevas fuentes de RF (nuevos sistemas) para asegurar que no interfieran con el GNSS.

4.2.2 *Localización y eliminación de la interferencia.* La capacidad de localizar al interferente y eliminar la interferencia al GNSS prontamente es un aspecto crítico. El principal método para detectar interferencia es mediante notificación del piloto. Como muchas aeronaves pueden sufrir una interrupción simultáneamente cuando aparece la interferencia por primera vez, un método automatizado de notificación de interrupciones (p. ej., un mensaje automático por enlace de datos) reduciría la carga de trabajo y facilitaría la determinación del área de la interrupción y la localización del interferente. Los sistemas de detección de interferencia pueden instalarse a bordo o en tierra.

4.3 Nuevas señales y constelaciones

4.3.1 Las nuevas señales y constelaciones principales de satélites reducirán considerablemente la vulnerabilidad del GNSS. La utilización de señales más fuertes y las frecuencias diversas planeadas para el GPS, el GLONASS y el Galileo eliminarán efectivamente el riesgo de interferencia involuntaria, pues es muy poco probable que una fuente de tal interferencia afecte simultáneamente a más de una frecuencia. Más satélites (incluso constelaciones múltiples) eliminarán el riesgo de interrupciones completas del GNSS debidas al centelleo y la multiplicidad de frecuencias mitigará el efecto de los cambios ionosféricos. Los futuros satélites GEO mitigarán el efecto de la ionosfera en el SBAS usando satélites cuyas líneas visuales estén separadas cuando menos a 45°. Las señales más robustas y las nuevas frecuencias del GNSS hacen más difícil interferir intencionalmente con todos los servicios GNSS. Más constelaciones principales de satélites reducen el riesgo de falla del sistema, de errores operacionales o de interrupciones de servicio. También pueden seguir proporcionando servicio mundial en el caso poco probable de que el proveedor de un elemento de GNSS modifique o deniegue el servicio debido a una situación de emergencia nacional.

4.3.2 La administración y el financiamiento sólidos del sistema son esenciales para la operación continua de los servicios GNSS y para mitigar las vulnerabilidades del sistema mencionadas en el párrafo 2.4, excepto la posible interrupción global del servicio debida a una emergencia nacional. Un medio efectivo de mitigar la vulnerabilidad de interrupción global es que los proveedores de servicios adopten una política de denegación regional en caso de emergencia nacional.

5. MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DE INTERRUPCIONES DEL GNSS

5.1 Introducción

5.1.1 Actualmente, hay tres métodos principales para mitigar los efectos de interrupciones del GNSS en las operaciones de aeronaves:

- a) aprovechar los sistemas de navegación por inercia y las tecnologías de receptor GNSS;
- b) usar métodos por procedimientos (piloto o ATC); y
- c) aprovechar las radioayudas a la navegación terrestres usadas como repuesto del GNSS o integradas a él.

5.1.2 Al adoptar una estrategia efectiva en que se use uno o más de los métodos mencionados en esta sección, el proveedor de servicios no sólo garantizará las operaciones seguras de las aeronaves en caso de interrupciones del GNSS sino que también desalentará los intentos de interferencia intencional al reducir los posibles efectos de esos intentos.

5.2 Sistemas de navegación por inercia y tecnologías de receptor

5.2.1 El sistema de navegación por inercia (INS) proporciona capacidad de navegación de área a corto plazo después de la pérdida del GNSS o de otra información de posición. Muchas aeronaves de transporte ya están equipadas con INS y estos sistemas son cada vez más asequibles y accesibles para los operadores de aeronaves regionales más pequeñas. Por lo tanto, debería considerarse esta capacidad al evaluar la necesidad de ayudas terrestres para mitigar las interrupciones del GNSS.

5.2.2 Hay también tecnologías que dan robustez a los receptores GNSS para mitigar la interferencia. Entre las tecnologías antibloqueo están las antenas avanzadas (p.ej., de anulación espacial) y técnicas de procesamiento de señal en el receptor. Conforme el costo de estas tecnologías disminuya podrán convertirse en opciones menos costosas que los sistemas de navegación por inercia para aeronaves pequeñas.

5.3 Métodos por procedimientos

5.3.1 Si no se dispone de otro sistema de navegación en caso de interrupción del GNSS en un espacio aéreo no radar, la aeronave puede volver a usar la navegación por estima, pues la mayor parte de los sistemas de navegación de las aeronaves nuevas incluyen una función automática de navegación por estima. Cuando sea posible, los pilotos pueden volver a la navegación visual, salir del área afectada o aterrizar en un aeropuerto adecuado. El ATC puede evaluar la pérdida posible de separación lateral y, cuando sea posible, usar en su lugar separación vertical.

5.3.2 Los mismos procedimientos pueden usarse en espacio aéreo radar, con la posibilidad adicional de que el ATC proporcione guía vectorial a la aeronave a través del área afectada, dependiendo de la carga de trabajo del ATC y del número de aeronaves afectadas. En muchas operaciones terminales actuales ya se da guía vectorial a las aeronaves para interceptar una trayectoria de aproximación de precisión.

5.3.3 En espacio aéreo no radar sin control de tránsito, los pilotos pueden comunicarse entre ellos por el canal aire-aire para mantener la separación y tratar de determinar la extensión geográfica de la interrupción.

5.3.4 El éxito del uso de los medios por procedimientos para asegurar la separación y la desviación depende de todos los factores mencionados en el párrafo 3.4. La consideración más importante es el grado en que las aeronaves estén equipadas con otros medios de navegación, tales como la navegación por inercia.

5.3.5 En los procedimientos y la capacitación de pilotos y controladores de tránsito aéreo debería tratarse la vulnerabilidad del GNSS e indicar cómo responder efectivamente a la interferencia y aplicar procedimientos alternativos, así como notificar los casos de interferencia y su ubicación.

5.4 Radioayudas terrestres a la navegación

5.4.1 Actualmente, uno de los medios más efectivos de mitigar las interrupciones del GNSS es que la aeronave vuelva al uso de sistemas de navegación terrestres. Conforme se efectúe la transición al GNSS y se reduzca la infraestructura terrestre, se dependerá más de otras técnicas de mitigación. La capacidad operacional necesaria de la infraestructura terrestre evolucionará a medida que las operaciones GNSS se hagan dominantes y el espacio aéreo y los procedimientos dependan cada vez más de las operaciones de navegación de área (RNAV). La infraestructura de DME puede usarse para proporcionar servicio de navegación de área para operaciones en ruta y terminales de aeronaves equipadas con sistemas de gestión de vuelo que usen múltiples DME. Esa misma capacidad puede usarse para operaciones de aproximación RNAV si la cobertura DME es suficiente.

5.4.2 En los casos en que la navegación alternativa no incluya capacidad RNAV, debe considerarse la carga de trabajo que implica la transición a rutas y procedimientos alternativos. Sin embargo, una vez que las operaciones en esas rutas alternativas se normalicen después de la transición, podrán continuar todo el tiempo que se requiera en caso de interferencia prolongada.

5.4.3 Si se determina que se necesita otro servicio de aproximación de precisión, pueden usarse

el sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS) o el sistema de aterrizaje por microondas (MLS). Esto implicaría probablemente conservar un número mínimo de tales sistemas en el aeropuerto o dentro del área en consideración.

6. CONCLUSIONES

6.1 *Interferencia involuntaria.* La probabilidad y efecto operacional de la interferencia varía según el entorno. La interferencia involuntaria no se considera una amenaza importante siempre que los Estados ejerzan el control adecuado y protejan el espectro electromagnético tanto en las atribuciones de frecuencias actuales como en las nuevas. Además, la introducción de señales GNSS en frecuencias nuevas asegurará que la interferencia involuntaria no cause la pérdida total del servicio GNSS.

6.2 *Interferencia intencional.* El riesgo de interferencia intencional depende de cuestiones que los Estados deben tratar. En los Estados en que se determine que el riesgo es inaceptable en áreas específicas, la seguridad operacional y la eficiencia pueden mantenerse adoptando una estrategia de mitigación efectiva mediante una combinación de técnicas de a bordo (p.ej., el uso de INS), métodos por procedimientos y ayudas terrestres a la navegación.

6.3 *Ionosfera.* El centelleo puede causar la pérdida de las señales de satélites GNSS en las regiones ecuatoriales y polares, pero es poco probable que cause la pérdida total del servicio GNSS y esto se mitigará con la adición de nuevas señales y satélites GNSS. Los cambios ionosféricos pueden limitar los servicios SBAS y GBAS que puedan prestarse en la región ecuatorial con una sola frecuencia GNSS y deben considerarse al diseñar los sistemas de aumento.

6.4 *Otras vulnerabilidades.* Con constelaciones administradas independientemente, financiamiento y un diseño robusto del sistema se mitigarán considerablemente sus fallas, errores operacionales e interrupciones de servicio.

6.5 Los Estados deberían evaluar la vulnerabilidad del GNSS en su espacio aéreo y seleccionar las medidas de mitigación según el espacio aéreo en cuestión y las operaciones que deban realizarse en él. Estas medidas de mitigación pueden garantizar la operación segura en la transición al GNSS y permitir a los Estados evitar la instalación de nuevas ayudas terrestres, reducir las ayudas terrestres a la navegación y retirarlas en determinadas áreas. Hasta la fecha no se ha identificado ninguna vulnerabilidad que comprometa el objetivo final de la transición al GNSS como sistema mundial para todas las fases de vuelo.

7. MEDIDA RECOMENDADA A LA CONFERENCIA

7.1 Se invita a la Conferencia a convenir en las siguientes recomendaciones:

Recomendación 6/A — Directrices sobre mitigación de la vulnerabilidad del GNSS

Que los Estados al planear la introducción de servicios GNSS:

- a) evalúen la probabilidad y efectos de las vulnerabilidades del GNSS en su espacio aéreo y utilicen, según sea necesario, los métodos de mitigación descritos en las directrices que figuran en el apéndice pertinente del informe sobre la Cuestión 6;
- b) administren y protejan efectivamente el espectro de frecuencias del GNSS para reducir la posibilidad de interferencia involuntaria;
- c) aprovechen al máximo las técnicas de mitigación de a bordo, particularmente la

navegación por inercia;

- d) donde se determine que sea necesario conservar ayudas terrestres a la navegación como parte de una transición evolutiva al GNSS, den prioridad a retener el DME para INS/DME o RNAV DME/DME para operaciones en ruta y terminales, y del ILS o MLS para operaciones de aproximación de precisión en pistas seleccionadas; y
- e) aprovechen plenamente la contribución futura de las nuevas señales y constelaciones GNSS a la reducción de la vulnerabilidad del GNSS.

Recomendación 6/B — Continuación de los estudios de cuestiones de interferencia GNSS

Que la OACI, para ayudar a los Estados a mitigar las vulnerabilidades del GNSS:

- a) evalúe los resultados de estudios que se realizan en varios Estados contratantes para investigar los efectos ionosféricos en las regiones ecuatoriales a fin de que los sistemas de aumento puedan reducir esos efectos en las operaciones GNSS de una sola frecuencia; y
- b) considere la fijación de normas para un medio automatizado de notificación de interrupciones GNSS y para determinar la magnitud de las interrupciones.

— — — — —

APÉNDICE

EJEMPLO DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DEL GNSS PARA LAS OPERACIONES ACTUALES

En la sección 3 de este documento se proporcionan directrices para evaluar el impacto y la probabilidad de una interrupción del GNSS. El Apéndice contiene dos ejemplos de cómo puede aplicarse esta metodología a las operaciones GNSS actuales. En estos ejemplos no se tienen en cuenta las futuras señales y constelaciones GNSS.

1. **Espacio aéreo congestionado — Latitudes medias.** El ejemplo siguiente se refiere a las operaciones GNSS actuales en espacio aéreo de alta densidad de tránsito en una región de latitud media con administración de espectro efectiva.

1.1 *Interferencia involuntaria.* Se ha encontrado interferencia involuntaria en [] y Europa. En [], ha habido siete casos confirmados de interferencia en el GPS en los últimos [seis - por confirmar] años. Según la experiencia operacional, la interferencia involuntaria es poco probable pero no puede descuidarse.

1.2 *Interferencia intencional.* Con las operaciones actuales no hay una motivación importante para interferir deliberadamente en el GNSS. Hasta el momento no se ha notificado ningún caso de interferencia intencional en el entorno civil. La probabilidad de esta interferencia es insignificante para las operaciones actuales, pero puede cambiar con el tiempo a medida que se dependa más del GNSS.

1.3 El efecto de la interferencia es causar una interrupción del GNSS en la línea visual del interferente. La mayor parte de los explotadores de transporte aéreo en esas regiones están equipados con navegación por inercia y/o un FMS con capacidad de RNAV DME/DME. Se dispone de instalaciones DME en la mayor parte del espacio aéreo. Aunque algunas aeronaves no están equipadas con capacidad RNAV independiente, la seguridad operacional de esas aeronaves puede mantenerse y las operaciones pueden continuar, tal vez con menor eficiencia. Por lo tanto, la interferencia involuntaria y la intencional tienen un efecto moderado.

1.4 *Interferencia por simulación de señales (spoofing).* No hay una amenaza significativa debida a la interferencia por simulación de señales y su impacto sería moderado.

1.5 *Efectos ionosféricos.* En las latitudes medias nunca se ha experimentado centelleo ionosférico que cause pérdida de posición de GNSS, así que la probabilidad de que ocurra es insignificante. No tendría efecto operacional debido a la corta duración del fenómeno y a que se dispone de ayudas terrestres a la navegación y del equipo avanzado necesario para usarlas.

1.6 *Resumen.* En la Tabla 1 se resumen la probabilidad y el impacto operacional de las vulnerabilidades que se han identificado. En esa tabla se describe la probabilidad de que ocurran comparada con el efecto operacional. El Estado debería mitigar cualquier vulnerabilidad que sea poco probable y tenga un efecto grave, o probable y tenga algún efecto. Además, deberían considerarse las vulnerabilidades que sean poco probables y tengan efectos moderados.

2. **Zonas remotas — Ecuatoriales.** El siguiente ejemplo se refiere a las operaciones GNSS actuales en espacio aéreo remoto con baja densidad de tránsito en una región ecuatorial con administración de espectro efectiva.

2.1 *Interferencia involuntaria.* La mayor parte de las fuentes de interferencia involuntaria son menos probables en las regiones remotas. Con administración de espectro efectiva, la probabilidad de interferencia en esas zonas puede ser insignificante. El impacto de una interrupción puede ser de moderado a severo debido a la falta de servicios radar.

2.2 *Interferencia intencional.* No se ha encontrado interferencia intencional y hay poca motivación importante para interferir deliberadamente en el GNSS dada la baja densidad de operaciones y la lejanía de las zonas. Se considera que la probabilidad de este tipo de interferencia es insignificante para las operaciones actuales. La amenaza de interferencia intencional puede cambiar con el tiempo a medida que se dependa más del GNSS. El impacto de la interferencia intencional es igual al de la interferencia involuntaria.

2.3 *Interferencia por simulación de señales (spoofing).* No existe una amenaza significativa debida a la interferencia por simulación de señales y su impacto sería moderado.

2.4 *Efectos ionosféricos.* En regiones ecuatoriales es probable que ocurra el centelleo ionosférico que afecta el rendimiento del GNSS. El efecto operacional es moderado, pues se trata típicamente de una degradación del rendimiento y no de la pérdida total de la capacidad de navegación. En caso de pérdida total de la capacidad de determinar la posición, no dura mucho tiempo y gracias a la baja densidad de operaciones se mantiene la seguridad operacional.

2.5 *Resumen.* En la Tabla 2 se resumen la probabilidad y el impacto operacional de las vulnerabilidades que se han identificado. La cuestión más importante es la probabilidad de centelleo ionosférico. Los Estados deberían tomar medidas para reducir el efecto de este fenómeno. Esto puede lograrse mediante:

- a) procedimientos operacionales que aseguren la continuación de las operaciones durante interrupciones breves del GNSS; y
- b) investigación continua de la duración y probabilidad de centelleo severo.

Tabla 1. Espacio aéreo congestionado — Latitudes medias

		Impacto operacional		
		Ningún impacto	Impacto moderado	Impacto severo
Probabilidad	Insignificante	Efectos ionosféricos	Interferencia intencional; Spoofing;	
	Poco probable		Interferencia involuntaria	
	Probable			

Tabla 2. Zonas remotas — Ecuatoriales

		Impacto operacional		
		Ningún impacto	Impacto moderado	Impacto severo
Probabilidad	Insignificante		Interferencia involuntaria e intencional; Spoofing;	
	Poco probable			
	Probable		Efectos ionosféricos	

3. Cuando el análisis indique que no hay vulnerabilidades críticas, la aplicación de medidas de gestión del espectro sigue siendo fundamental para reducir, en la mayor medida posible, las interrupciones del servicio.

Referencias

- [1] Evaluación de interferencia del GPS, WP/91 e IP/119, Reunión Departamental especial de comunicaciones/operaciones, 1995.
- [2] GPS Mitigation Techniques, IP/120, Reunión Departamental especial de comunicaciones/operaciones, 1995.
- [2] RTCA/DO-235, Assessment of Radio Frequency Interference Relevant to the GNSS, 27 de enero de 1995.
- [3] GPS Risk Assessment Study, Final Report, published by the Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, enero de 1999.
- [4] Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System, Final Report, published by the Volpe National Transportation System Center, 29 de agosto de 2001.
- [5] Impact on Compatibility of UK Commercial Services Resulting from Loss of GPS Signals, Qinetiq, octubre de 2001, commissioned by the UK Radio Agency.
- [6] Ionospheric Research Issues for SBAS, SBAS Ionospheric Working Group, septiembre de 2002.