

UNDÉCIMA CONFERENCIA DE NAVEGACIÓN AÉREA

Montreal, 22 de septiembre - 3 de octubre de 2003

**(PROYECTO DE) INFORME DEL COMITÉ B
SOBRE LA CUESTIÓN 6 DEL ORDEN DEL DÍA**

Se presenta al Comité B el proyecto de informe adjunto sobre la cuestión 6 (subcuestión 6.2) del orden del día para su aprobación y para que lo someta a la Plenaria.

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

6.2 CUESTIONES DE CRITERIOS DE NAVEGACIÓN TENIENDO EN CUENTA LOS SERVICIOS Y LA ARQUITECTURA GNSS ACTUALES Y PREVISTOS, LAS OPCIONES DE INTEGRACIÓN Y DE RESERVA

6.2.1 Introducción

6.2.1.1 En la estrategia que aplica actualmente la OACI para introducir sistemas avanzados de comunicación, navegación, vigilancia/gestión del tránsito aéreo (CNS/ATM) se prevé una transición gradual desde la actual infraestructura terrestre de navegación hacia un uso creciente de las infraestructuras de navegación por satélite. El paso inicial de dicha transición se ha visto favorecido por el desarrollo de las normas y métodos recomendados de la OACI (SARPS) para el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) y publicación de procedimientos y criterios para operaciones en que se utilice el receptor GNSS básico¹.

6.2.1.2 El GPS ya está siendo utilizado a bordo de numerosas aeronaves, en especial en Europa, en cumplimiento de los requisitos básicos de navegación aérea (RNAV). El SBAS se encuentra en fase de implantación con el desarrollo del sistema de aumentación de área amplia (WAAS) de los Estados Unidos y la introducción operacional después de los SBAS en Europa, el Japón y la India en el período 2004-2006. Está progresando la elaboración del GBAS, inicialmente para permitir aproximaciones de precisión de Categoría I.

6.2.2 La función del GNSS en el suministro de servicios de navegación aérea y consideraciones relativas a la estrategia de transición

6.2.2.1 Se informó a la reunión sobre las actividades de los Estados, que indican que la navegación por satélite está desempeñando una función más importante en el suministro de servicios de navegación aérea. Un Estado presentó sus planes para la eliminación gradual de algunas de las actuales instalaciones terrestres, empezando por el retiro de servicio de radiofaros no direccionales (NDP) a medida que progresa el equipo de las flotas comerciales y de la aviación general. Varios otros Estados indicaron también su planificación para retirar gradualmente de servicio las ayudas terrestres para la navegación a medida que aumenta la dependencia de la navegación por satélite.

6.2.2.2 Se informó también a la reunión acerca de una postura aeronáutica común en la Región Europa, que se está elaborando con la participación de usuarios del espacio aéreo y proveedores de servicios de navegación aérea. El objetivo final previsto consiste en un servicio único de navegación que se logrará con el GNSS a condición de que se demuestre que dicho servicio es seguro y fiable y que constituye la solución más económica.

6.2.2.3 Se proporcionó información complementaria acerca de la postura de las líneas aéreas respecto a las necesidades en materia de navegación aérea que apoyaba el GNSS como sistema primario de radionavegación en un futuro cercano para la determinación de la posición y de la hora. Los usuarios del espacio aéreo instaron a los Estados a que, en estrecha colaboración con los mismos, pasaran rápidamente

¹ La expresión “receptor GNSS básico” se refiere a la aviónica GNSS que satisface, por lo menos, los requisitos relativos al receptor GPS en el Anexo 10, Volumen I, y las especificaciones de RTCA DO-208 o EUROCAE ED-72A, enmendadas por FAA TSO-C129A o JAA TSO C129 (o equivalente).

del actual sistema terrestre a un sistema de radionavegación espacial que sea económico, armonizado e interfuncional y que pueda utilizarse en todo el espacio aéreo durante todas las fases de vuelo. En dicha postura de las líneas aéreas se instaba también la aplicación de procedimientos GNSS de forma coordinada con miras a lograr lo antes posible una capacidad de navegación en todo el mundo desde las operaciones en ruta hasta, por lo menos, las mínimas de Categoría I.

6.2.2.4 Basándose en el consenso general de acelerar la transición a la navegación por satélite, la reunión analizó la propuesta de que se elaborara una estrategia que sentara las bases para la transición a un futuro servicio de navegación mundial basado particularmente en el uso del GNSS. No obstante, se reconoció que el *Plan mundial de navegación aérea para los sistemas CNS/ATM* (Doc 9750) y los planes regionales de navegación aérea representaban documentos estratégicos que corresponden al objetivo de dicha propuesta. Sin embargo, la reunión convino en confirmar de nuevo los objetivos de la transición y estableció una serie de condiciones que deben satisfacerse durante dicha etapa.

6.2.2.5 La reunión examinó luego los objetivos a corto plazo del procedimiento de transición. Basándose en información presentada sobre la situación del desarrollo del GNSS, se tomó nota de que el sistema de aumentación basado en satélites, en particular el WAAS de los Estados Unidos, entró en servicio a mediados de 2003 y que se prevé que otros SBAS pasen a ser operacionales en el período 2004-2006. La reunión examinó información presentada sobre la implantación prevista de aproximaciones con guía vertical (APV) en un Estado. En el programa de dicho Estado se prevé la introducción de dichas aproximaciones por fases. La labor que se está realizando con miras a complementar la aproximación y las ayudas para el aterrizaje convencionales, especialmente el sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS), abarcaría lo siguiente:

- a) aprobación de las aproximaciones que no son de precisión basadas en el uso del ABAS;
- b) evaluación de la aplicación de procedimientos APV con guía vertical barométrica; y
- c) por último, los beneficios operacionales que se logran mediante la aplicación de procedimientos de aproximación y aterrizaje APV con guía vertical SBAS para todos los usuarios del espacio aéreo.

6.2.2.6 Además, varios Estados informaron sobre importantes actividades en las Regiones del Caribe, Sudamérica y África para evaluar la performance del SBAS empleando el banco de pruebas WAAS y EGNOS. Se agradecieron el apoyo a estos ensayos prestado por los proveedores de servicios y los resultados preliminares, y la reunión acordó que debían fomentarse estas actividades.

6.2.2.7 Basándose en lo anterior, se formuló una propuesta para que se alentara a los usuarios del espacio aéreo a dotarse de receptores SBAS² para aprovecharse de su performance superior respecto a los receptores GNSS básicos y una mayor disponibilidad de servicio. Se presentó también otra recomendación para adoptar operaciones APV-1 basadas en el SBAS como requisito mundial. Se apoyaron dichas propuestas y la reunión convino en alentar a los Estados, proveedores de servicios, usuarios del espacio aéreo y fabricantes a unir sus esfuerzos para lograr los mencionados objetivos. Por consiguiente, la reunión formuló la recomendación siguiente:

² La expresión “receptor SBAS” se refiere a aviónica GNSS que satisface, por lo menos, los requisitos relativos al receptor SBAS en el Anexo 10, Volumen I, y las especificaciones de RTCA DO-229C, enmendadas por FAA TSO-C145A/146A (o equivalente).

Recomendación 6/1 — Transición a la navegación aérea basada en satélites

Que:

- a) la OACI siga elaborando cuando sea necesario disposiciones en apoyo de una guía GNSS fluida para todas las fases de vuelo y facilite la transición a un servicio único de navegación basado en satélites, teniendo debidamente en cuenta la seguridad de vuelo, así como los factores técnicos, operacionales y económicos;
- b) los proveedores de servicios de navegación aérea, de común acuerdo con los usuarios del espacio aéreo, adopten rápidamente medidas para alcanzar, lo antes posible, una capacidad mundial de navegación hasta, por lo menos, la performance APV; y
- c) los Estados y los usuarios del espacio aéreo tomen nota de los servicios de navegación SBAS actuales y futuros que permitan efectuar operaciones APV y tomen las medidas necesarias para instalar y certificar aviónica con capacidad para operaciones SBAS.

6.2.3 Vulnerabilidades del GNSS y su uso como servicio único de navegación

6.2.3.1 Se presentó a la reunión una estrategia de navegación para la zona de los Estados miembros de la CEAC en la que se describía la transición a un entorno de navegación de área (RNAV) basado en el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS). Si se consideran los costos de la transición a dicho entorno y la necesidad de garantizar la supervivencia a las fallas, seguirían siendo necesarias, en el futuro previsible, las ayudas terrestres para la navegación y el consiguiente requisito de garantizar la protección continua del espectro para dichas ayudas.

6.2.3.2 Habiendo convenido en que debían examinarse, según corresponda, los aspectos de la estrategia relativos a la disponibilidad de espectro, la reunión analizó, en el marco de su cuestión 5 del orden del día, la capacidad del GNSS para convertirse en el servicio único de navegación. El debate giró en torno a algunas incertidumbres que persistían al respecto debido a sus posibles modos de falla, su incidencia en las operaciones ATM de los Estados miembros de la CEAC y las posibilidades de reducirlas.

6.2.3.3 Se señaló a la atención de la reunión que ya se había aceptado el sistema mundial de determinación de la posición (GPS) sin aumentación externa alguna como medio de ofrecer una capacidad RNAV básica en ruta en toda la zona de la CEAC. Esto había sido posible debido al mantenimiento de la posibilidad de volver a la navegación convencional utilizando ayudas terrestres para la navegación, tales como VOR y NDB. Se preveía que la disponibilidad de GALILEO como sistema de satélite secundario, en complemento del GPS, teniendo ambas señales adicionales de navegación, permitiera aumentar la confianza en el GNSS, haciendo posible el retiro del VOR y NDB del servicio y la aplicación de la RNAV basada en el GNSS y DME.

6.2.3.4 Si bien el GPS, junto con GALILEO, podría constituir la base para un entorno RNAV integral, quedaba todavía por demostrar que dicha solución resultaría económica, dada la posible necesidad de mantener sistemas RNAV dobles para satisfacer los requisitos de continuidad y disponibilidad. Dado que numerosas aeronaves están dotadas únicamente de equipo RNAV o del sistema de gestión de vuelo (FMS), podría entonces ampliarse considerablemente el plazo para una transición económica a un entorno RNAV integral.

6.2.3.5 Se tomó nota de que incluso con sistemas dobles a bordo podrían seguir necesitándose dos entradas de sensores diferentes, p. ej., GNSS asistido por INS o DME, para satisfacer el requisito de un riesgo aceptable de pérdida total de la capacidad de navegación. En tal caso, la cobertura DME debería mejorarse aumentando globalmente los DME en la zona CEAC durante los próximos 10 a 20 años.

6.2.3.6 Los estudios realizados en la Región Europa han indicado que, en el período 2010-2015, podría resultar más económico garantizar el nivel necesario de continuidad del servicio manteniendo el entorno VOR actual para apoyar la navegación alternativa utilizando instalaciones de aviónica VOR dobles en las aeronaves que con equipo RNAV/FMS doble y una doble entrada de sensores. Si estos resultados iniciales se confirmaran, podría no ser posible el retiro previsto de servicio del VOR en dicho período.

6.2.3.7 Habiendo examinado dicha información, la reunión reconoció que, aunque se esperaba que los avances futuros redujeran considerablemente los riesgos asociados a un servicio GNSS único, persistirían algunos modos de falla que podrían impedir confiar plenamente en el GNSS. Se tomó nota de que en el contexto de las operaciones en la zona de la CEAC, se estaba trabajando para determinar los medios y una estrategia paliativa conexas por medio de los cuales sea posible la transición gradual hacia un servicio único. No obstante, siguen siendo inciertos por el momento la capacidad de alcanzar dicho objetivo final y el plazo que se necesitaría para ello.

6.2.3.8 La reunión examinó luego los resultados del estudio sobre la vulnerabilidad del GNSS, llevado a cabo por el Grupo de expertos sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSSP) a solicitud de la Comisión de Aeronavegación. Se señaló que en años recientes varias instituciones altamente calificadas habían llevado a cabo estudios relativos a la vulnerabilidad del GPS, mientras que en el informe presentado a la reunión se trataba de considerar las mismas cuestiones en el contexto del GNSS, dado que el GPS constituye uno de los elementos centrales de este último. Se presentaron y se apreciaron varios aspectos vulnerables del GNSS, la evaluación de los riesgos operacionales, los medios de prevención de interrupciones del sistema y orientación sobre la solución de estas últimas.

6.2.3.9 La reunión tomó nota de la conclusión del estudio en el sentido de que, hasta la fecha, no se habían determinado vulnerabilidades que comprometieran el objetivo final de la transición al GNSS como sistema global para todas las fases de vuelo, en la inteligencia de que debería continuar la evaluación de la vulnerabilidad del GNSS y las posibilidades de corregirla. Se convino en que los resultados del estudio presentados a la reunión podrían servir como orientación útil para los Estados al evaluar la vulnerabilidad del GNSS y adoptar soluciones apropiadas. Por consiguiente, la reunión formuló la recomendación siguiente:

Recomendación 6/2 — Directrices sobre mitigación de la vulnerabilidad del GNSS

Que los Estados al planificar e introducir servicios GNSS:

- a) evalúen la probabilidad y efectos de la vulnerabilidad del GNSS en su espacio aéreo y utilicen, según sea necesario, los métodos de mitigación descritos en las directrices que figuran en el apéndice 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.

6.2.3.10 Se propuso que las directrices recomendadas se introdujeran en el Manual GNSS, cuyo proyecto se había presentado a la reunión, a título informativo. La Secretaría tomó nota de dicha propuesta.

6.2.3.11 Al examinar la vulnerabilidad del GNSS, se suscitaron varias inquietudes respecto a los efectos de los gradientes y centelleos espaciales ionosféricos no planares en las regiones ecuatoriales. Varios Estados informaron que habían establecido programas de compilación de datos y propusieron que la OACI evaluara los correspondientes resultados y proporcionara orientación apropiada a los Estados. La reunión recomendó que se continuaran dichas labores y el intercambio de datos entre Estados y regiones y tomó nota de que dicho intercambio ya se realizaba entre algunos grupos de expertos internacionales, p. ej., el Grupo de trabajo sobre interfuncionamiento SBAS (IWG). Por consiguiente, la reunión formuló la recomendación siguiente:

Recomendación 6/3 — Evaluación de los efectos atmosféricos en el rendimiento del SBAS en regiones ecuatoriales

Que la OACI, a fin de asistir la labor sobre reducción de los efectos atmosféricos en el rendimiento del SBAS, evalúe los resultados de la compilación de datos que están realizando los Estados y elabore textos de orientación apropiados.

6.2.3.12 La reunión examinó también una propuesta para considerar la necesidad de normalizar un medio automatizado de notificación de interrupciones del GNSS y determinar los efectos de una interrupción en las operaciones de dicho sistema. Al respecto, la reunión tomó nota de la información sobre el modelo de soporte lógico que aparece en el sitio Web de la OACI para demostrar las funciones de un instrumento de pronóstico que puede facilitar la planificación de vuelos y la producción de NOTAM. Habiendo expresado su aprecio respecto a dicha iniciativa, la reunión consideraba que era esencial que dichos instrumentos se aplicaran de manera uniforme y formuló, por consiguiente, la recomendación siguiente:

Recomendación 6/4 — Medios automatizados para notificar y evaluar los efectos de las interrupciones en las operaciones GNSS

Que la OACI considere la posibilidad de normalizar un medio automático de notificación de interrupciones del GNSS y evaluar sus efectos en las operaciones GNSS y elabore, según corresponda, las disposiciones necesarias.

6.2.4 Cuestiones relativas a la RNP y la RNAV

6.2.4.1 Se informó a la reunión acerca de varias cuestiones pendientes relativas a diferentes definiciones y conceptos relacionados con la performance de navegación requerida (RNP) y la navegación de área (RNAV). Se expresaron otras inquietudes de que, pese a los esfuerzos por elaborar e implantar una definición mundial económica de la RNP, era poco probable que la armonización del concepto y los correspondientes requisitos pudiesen lograrse en el futuro cercano. Entre las causas de dichas inquietudes cabía mencionar la dependencia de la mayoría de los sistemas RNAV de la infraestructura terrestre, que dependía del emplazamiento, la posibilidad de una variedad de funciones RNAV requeridas relacionadas con los mismos tipos RNP en diversos entornos ATC y la flexibilidad de la aviónica determinada por consideraciones de orden económico o la evolución de los sistemas RNAV/FMS. La reunión reconoció la complejidad de los problemas en cuestión y compartía dichas inquietudes.

6.2.4.2 A este respecto, un Estado informó a la reunión que estaba poniendo en práctica procedimientos RNAV basados en la performance y estructurando el espacio aéreo para aprovechar la capacidad de navegación de las aeronaves de efectuar trayectorias de vuelo más precisas y previsibles en su espacio aéreo. La RNAV basada en la performance contribuiría a aumentar los niveles de precisión de la navegación y de predicción de las trayectorias de vuelo, produciendo mayor eficacia y capacidad. Dicho Estado estaba implantando también procedimientos de aproximación con performance de navegación requerida (RNP) y elaborando una estrategia para introducir la RNP en otras esferas de vuelo. Respecto a lo expuesto, se expresó también inquietud acerca de una situación relacionada con los conceptos RNP y RNAV.

6.2.4.3 Se informó a la reunión que el 10 de junio de 2003, al examinar el informe de la cuarta reunión del Grupo de expertos sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSSP/4), la Comisión de Aeronavegación había convenido en que, según lo propuesto en la Recomendación 1/1 de la mencionada reunión, se tomaran medidas para establecer un punto de coordinación para resolver los problemas expuestos. Se había tomado nota, al examinar este asunto, de que era urgente resolver estos problemas a fin de garantizar un método armonizado para el futuro desarrollo de la RNP y la RNAV. Por consiguiente, se había establecido un nuevo grupo de estudio de navegación aérea, llamado Grupo de estudio sobre la performance de la navegación requerida (RNPSG). Varios de los Estados y organizaciones internacionales que asistían a la reunión prometieron que apoyarían la labor del RNPSG.

6.2.4.4 Para apoyar la medida propuesta, la reunión también tomó nota de que los proveedores de servicios de navegación aérea estaban efectuando inversiones en su infraestructura de navegación a medida que implantaban nuevos procedimientos RNAV y RNP. Al elaborar y aplicar dichos procedimientos, los Estados estaban enmendando las normas de separación para tener en cuenta la mayor capacidad de navegación de las aeronaves y modificando el espacio aéreo para lograr la mejor aplicación de dichos nuevos procedimientos. El calendario de implantación de nuevos requisitos debería ser objeto de coordinación para que coincidiera con las inversiones en infraestructura y concediera a los explotadores un plazo suficiente para dotarse de equipo con las capacidades necesarias. A este respecto, la reunión destacó la urgente necesidad de armonizar a escala mundial los conceptos y requisitos de la navegación basada en la performance y la función de orientación de la OACI en estas actividades de armonización. Se recomendó que para finales de 2004 se elaborara un marco para la solución de los problemas señalados por la reunión GNSSP/4 y otros problemas relativos a la implantación de las operaciones de navegación basadas en la performance. Para finales de 2005, deberían determinarse o actualizarse, según corresponda, los criterios de aprobación de operaciones, franqueamiento de obstáculos y separación para las operaciones de navegación basada en la performance. Por consiguiente, la reunión formuló la recomendación siguiente:

Recomendación 6/5 — Rápida solución de los problemas relacionados con la implantación de operaciones RNAV y RNP

Que la OACI considere con carácter urgente y tome medidas para que avancen las cuestiones relacionadas con la introducción de operaciones RNP y RNAV.

6.2.5 Capacidades GNSS avanzadas y métodos basados en la nueva tecnología

6.2.5.1 Se presentó a la reunión información sobre la situación de la implantación inicial del GNSS en un Estado. Se destacó el hecho de que la motivación principal para introducir servicios de navegación por satélite consistía en la capacidad de los nuevos servicios para resolver problemas de espacio aéreo y aumentar la disponibilidad de procedimientos de vuelo por instrumentos. Considerando que la mayoría de los aeropuertos de dicho Estado estaban situados en terreno montañoso, se elaboraron diversas características distintivas del GNSS para facilitar la mejora del acceso, la flexibilidad de las operaciones en el área terminal y la cobertura RNAV. Por consiguiente, se presentó a la reunión una propuesta de que la OACI se concentrara en actualizar y elaborar normas y procedimientos que permitieran lograr los beneficios del GNSS en materia de operaciones y seguridad, incluyendo los correspondientes a las capacidades avanzadas del sistema.

6.2.5.2 Se señaló a la atención de la reunión que la situación actual de elaboración de normas técnicas de la OACI no estaba suficientemente avanzada para permitir dichas capacidades a corto plazo. Concretamente, se le informó que se preveía que finalizaría en 2007 la elaboración en curso de los requisitos de performance del GNSS para dichas capacidades en el Grupo de expertos sobre sistemas de navegación (NSP). Así, la elaboración de los correspondientes SARPS relativos al GNSS sólo podrían finalizarse después de 2007, y más tarde los procedimientos y criterios correspondientes. Se expresaron también inquietudes en el sentido de que algunos de los desarrollos adicionales que se proponían podrían ocasionar considerables gastos indirectos para la comunidad de usuarios. No obstante, la reunión tomó nota de que no todos los desarrollos propuestos tenían necesariamente carácter técnico complejo y que algunos Estados ya habían iniciado estudios de las capacidades propuestas. Por consiguiente, la reunión elaboró las recomendaciones siguientes:

Recomendación 6/6 — Diseño de procedimientos GNSS avanzados

Que la OACI elabore procedimientos para aeronaves de ala fija y ala giratoria, a fin de permitir que los procedimientos RNAV basados en el GNSS redujeran las mínimas en entornos con numerosos obstáculos.

Recomendación 6/7 — Procedimientos RNAV del GBAS con viraje

Que la OACI elabore procedimientos GBAS para aeronaves de ala fija, proporcionando procedimientos RNAV con gran precisión para el mantenimiento de la trayectoria y la velocidad en virajes para permitir alineaciones de aproximación flexibles.

6.2.5.3 A raíz de dicho análisis, se señaló a la atención de la reunión la capacidad inercial importante que existe en la actualidad en las aeronaves del mundo y las ventajas que pueden obtenerse de las aplicaciones GNSS/INS integradas. Se recordó que se habían reconocido dichas aplicaciones como soluciones valiosas en las deliberaciones de la reunión sobre los aspectos vulnerables del GNSS. Se tomó también nota de que en muchas aeronaves se utilizaban los datos inerciales como complemento de performance de las operaciones de aproximación de precisión y aterrizaje ILS y, asimismo, que la integración del GNSS con el INS podría mejorar la performance de navegación en lo que atañe a la precisión, integridad, disponibilidad y continuidad.

6.2.5.4 No obstante, la reunión tomó nota de que la realización de las plenas ventajas de la integración GNSS/INS estaba limitada por la falta de normalización de las capacidades y características del sistema, particularmente los tiempos de extrapolación por inercia que constituyen un factor fundamental de la evaluación de riesgos y las estrategias para mitigarlos. Por consiguiente, la reunión formuló la recomendación siguiente:

Recomendación 6/8 — Integración GNSS/INS

Que la OACI elabore disposiciones para la integración GNSS/INS a fin de reducir la vulnerabilidad del GNSS a la interferencia RFI y facilitar la elaboración de capacidades GBAS avanzadas.

6.2.5.5 La reunión examinó la evaluación de la viabilidad de aproximaciones y aterrizajes de Categoría II y III y de operaciones en la superficie de los aeródromos basadas en el GNSS. Se recordó que las normas y métodos recomendados (SARPS) actuales para el GBAS prevén aumentación para las constelaciones básicas de satélites del GLONASS y el GPS y dan apoyo a las aproximaciones de precisión de la Categoría I. Se agregaría Galileo a las constelaciones básicas de satélites y su componente local se normalizaría como una enmienda a los SARPS del GBAS en una fecha posterior. Se tomó nota también de que un objetivo del desarrollo del GBAS en apoyo de las operaciones de Categoría II y III era permitir la evolución de la arquitectura básica de la Categoría I a la Categoría III minimizando los cambios en el sistema básico y asegurando la retrocompatibilidad con la aviónica de Categoría I existente.

6.2.5.6 También se informó a la reunión de los estudios en curso realizados en los Estados en apoyo del sistema avanzado de guía y control del movimiento en la superficie (A-SMGCS) y la labor del Grupo de expertos sobre sistemas de navegación, que se estaba concentrando en la aplicación del GNSS como sensor de posición para el A-SMGCS.

6.2.5.7 Los resultados de las evaluaciones habían indicado que la capacidad para las Categorías II y III podría lograrse en el período 2010-2015, dependiendo de la arquitectura del GBAS y de los requisitos de performance. El resultado final de la elaboración actual de los requisitos y las normas de performance influiría también en la complejidad de la futura arquitectura del GBAS en apoyo de las operaciones de aproximación y aterrizaje de Categoría II y III y cuando estuviera disponible en general. Aunque expresando preocupación acerca de la posible complejidad de la futura arquitectura del GBAS, la reunión apoyó la conclusión de que los beneficios de tener un sistema único que pueda proporcionar guía en toda la fase de vuelo justificaba continuar la labor relativa a la solución de las cuestiones técnicas y operacionales conexas.

6.2.6 Experiencias preoperacionales

6.2.6.1 La reunión recibió información de varios Estados y organizaciones regionales respecto a ensayos que se estaban realizando en las Regiones del Caribe, Sudamérica y África a nivel regional y nacional a fin de recoger datos para la definición de las arquitecturas GNSS en estas regiones. También se informó de una estrategia de implantación en tres etapas para el GNSS en la Región AFI y de los resultados iniciales de los ensayos del banco de pruebas EGNOS. También se presentó a la reunión información sobre los ensayos con los bancos de pruebas WAAS y EGNOS en los Estados de las Regiones CAR/SAM.

6.2.6.2 La experiencia adquirida y las propuestas originadas en la experiencia fueron objeto de examen por la reunión. Esas experiencias y propuestas abarcaban una amplia gama de cuestiones que incluían recursos humanos, capacidad regional para la instrucción, necesidad de integración de proyectos de cooperación técnica y aspectos financieros. Se puso a la reunión en conocimiento de las actividades de la OACI y los grupos que trataban estas cuestiones. La reunión también tomó nota con satisfacción del apoyo proporcionado por los Estados que participaban en el desarrollo del WAAS y el EGNOS en el marco de los ensayos del banco de pruebas SBAS. A fin de alentar la continuación de estas actividades, la reunión formuló la recomendación siguiente:

Recomendación 6/9 — Apoyo y participación en las actividades de implantación preoperacional del SBAS

Que:

- a) los Estados que desarrollan e introducen sistemas de aumentación basados en satélites y otros proveedores de servicios SBAS continúen proporcionando su apoyo y participando en las actividades que conducen a la extensión de sus áreas de servicio SBAS a las regiones y Estados vecinos; y
- b) los Estados que participan en las actividades de implantación del SBAS coordinen con otros Estados participantes sus esfuerzos a fin de optimizarlos y facilitar la participación de los proveedores de servicios.

6.2.7 Otras cuestiones conexas

6.2.7.1 Con respecto a la cuestión de los aspectos jurídicos e institucionales del GNSS a que se referían las notas de estudio 143, 153 y 160, la reunión acordó que ni la materia ni el orden del día ofrecían una oportunidad apropiada para debatir esos temas. Por lo tanto, la reunión, con ayuda del Presidente del Consejo, Dr. A. Kotaite, y del Director de Asuntos jurídicos, acordó tomar nota de la información y las opiniones que contenían las notas de estudio mencionadas y convino en que las mismas deberían remitirse al Consejo para que dicho órgano las examinara y decidiera según considerara pertinente.

6.2.7.2 Por lo que respecta a una propuesta relativa a la necesidad de servicio GNSS gratuito fiable presentada en la nota 107, se informó a la reunión que la Secretaría estaba realizando un estudio sobre la asignación de costos del GNSS con la asistencia del Grupo de expertos sobre aspectos económicos de los servicios de navegación aérea (ANSEP) y que se esperaba que dicho estudio estuviera terminado para fines de 2004. La reunión tomó nota de algunos principios e hipótesis respaldados por el ANSEP que debían

aplicarse para la asignación de costos entre la aviación civil y otros usuarios, en particular que los servicios GNSS básicos deberían proporcionarse gratuitamente y que toda asignación de costos de servicios GNSS debería realizarse a nivel regional. La reunión concluyó que debería someterse a la atención del ANSEP la necesidad de un servicio GNSS fiable proporcionado sin que se cobraran derechos a los usuarios y que el ANSEP debería considerarla en su futura labor.

— — — — —

APÉNDICE

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

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 anticollisión 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.

ADJUNTO**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 Norteamérica y Europa. En Norteamérica, 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.

— FIN —