



# Software libre en la migración a sistemas cubanos para la gestión del tráfico aéreo

Free software for the migration to Cuban systems for air traffic management

Guillermo Brito Acuña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA). Avenida Panamericana y Final, Boyeros 10800, La Habana, Cuba. guillermo.brito@aeronav.avianet.cu

## Resumen

Este artículo presenta los métodos utilizados por la empresa cubana de navegación aérea para cumplir con los objetivos ASBU del bloque 0 identificados para la región. Para ello documenta la importancia y funcionalidad de las infraestructuras críticas CNS/ATM. Identifica los objetivos de la OACI y las necesidades de mejoras de nuestra infraestructura. Identifica los estándares del sector que deben respetarse para lograr lo acordado, así como su carácter multidisciplinario. Realiza una comparación económica con sistemas equivalentes del sector y expone el gasto que representa su adquisición. Justifica la posibilidad de la sustitución parcial o total de componentes mediante software libre para los sistemas implicados y los resultados obtenidos en las etapas de prueba, despliegue y certificación de estos softwares.

**Palabras clave:** Software Libre Aeronáutico, Sustitución de Importaciones, ASBU, Pruebas basadas en riesgos.

## Abstract

*This article presents the methods used by the Cuban enterprise for air navigation to fulfill the ASBU goals of the block 0 for the region. To accomplish this it documents the importance and functionality of CNS/ATM critical infrastructures. It identifies the IACO goals and the needs for improvement of our infrastructure, as well as the sector's standards that must be fulfilled to reach what was accorded and the multidisciplinary character of it. The article exposes an economical comparison with equivalent systems of the sector and shows the expenses that it represents. Here is justified the possibility of the partial or total components substitution through free software for the involved systems and the obtained results on the test, deployment and certifi-*



*cation phases of these software.*

**Keywords:** *Aeronautical Free Software, investment substitution, ASBU, Risk based Tests.*

## Introducción

La Aeronáutica es una especialidad técnica con competencias en las Comunicaciones, Navegación, Vigilancia y la Gestión del Tráfico Aéreo (OACI, 2013b), estos últimos son sistemas críticos para la aeronavegación, entre cuyas funciones están: garantizar las comunicaciones, la mensajería y la gestión del espacio aéreo. Emplean tecnologías digitales, incluyendo sistemas de satélites y radares (FORCE, JOINT TASK y INITIATIVE, 2010; FORCE, JOINT TASK INITIATIVE, TRANSFORMATION, 2013; ISO, 2015; STOUFFER et al., 2011) con diversos niveles de automatización, aplicados como apoyo de un sistema imperceptible de gestión del tráfico aéreo global (OACI, 2013a). Igualmente son considerados infraestructuras críticas, ya que son instalaciones, redes y tecnologías, cuya interrupción puede tener una repercusión importante en la salud, la economía o el eficaz funcionamiento de los gobiernos (MOTEFF et al., 2003). Soportan servicios vitales en infraestructuras consideradas de alta fiabilidad y seguridad (MCGREGOR y SILVA, 2017). En ellos se evidencia que las amenazas informáticas no sólo comprometen el mundo digital, sino que también son un riesgo mayor para el mundo físico (CLARK y HAKIM, 2017). La OACI reconoce en (ANEXO, 2010) como crítico: a) Servicio de gestión y monitoreo a equipamiento aeronáutico y de comunicaciones. b) Servicio de hora centralizada para las aplicaciones aeronáuticas. c) Servicio de información de vuelo. d) Servicio de transmisión de información Radar. e) Soporte de comunicaciones de la Red de Radares del país. Todas son soluciones adoptadas por países y líneas aéreas con el objetivo de garantizar los servicios que soportan la aeronavegación de forma eficiente y segura.

Para garantizar altos niveles de seguridad existe un gran número de recomendaciones y estándares para este sector y los sistemas que en él se despliegan. Para ello, los diferentes organismos y organizaciones internacionales han incorporado indicaciones específicas, tal es el caso de indicaciones de Hardware (EUROCAE, 2000), de equipamientos específicos como la multilateración (EUROCAE, 2003), de sistemas (RTCA, 2012) o de software (EUROCAE, 2012b), que a su vez pueden subdividirse en suplementos (EUROCAE, 2012a); lo que demuestra una gran sectorización e implica gran complejidad para validar la adecuación funcional y la seguridad.

Estos llamados sistemas críticos están cada vez más difundidos en proyectos desarrollados para estas infraestructuras. Dentro de los componentes principales de muchos de estos sistemas se encuentran los softwares para su gestión. Estos software son realizados a la medida, habitualmente a prueba de errores y son comprobados matemáticamente (ACUÑA, GUILLERMO BRITO, 2016a; JOSÉ CARLOS SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ 2003). Estas características de seguridad y fiabilidad hacen que sea un componente costoso y de extrema importancia. Habitualmente su certificación para explotación también resulta costosa y los lenguajes de programación permitidos y recomendados por las autoridades en estos marcos son muy limitados, recomendándose ADA y C++.

En Cuba existen infraestructuras críticas, entre otras, en los sectores bancarios, de salud y de aeronavegación, las cuales tienen un alto componente tecnológico y una alta dependencia de software y sistemas. La dependencia de sistemas críticos extranjeros, que son vistos como cajas negras, es un riesgo para la soberanía nacional y ante algún evento podría afectar a grandes sectores de la población. Por tanto, con-



cebir un soporte de estas tecnologías con esfuerzos nacionales, debe ser una prioridad para cualquier país, más si con ello se logra rentabilidad. La industria aeronáutica cubana identificó esta problemática desde la década del 90 del siglo pasado. Para ello creó un Laboratorio de Investigación de Técnica Aeronáutica, que ha contribuido cuantitativamente a la sustitución de importaciones en este sector, en tiempos de recrudescimiento del bloqueo impuesto a nuestro país.

Dada la experiencia en técnica aeronáutica de este equipo, el acercamiento logrado a los estándares y normas internacionales en este sector, documentados en (ACUÑA, GUILLERMO BRITO, 2017a; 2016b) y el considerable ahorro representado por el trabajo de dicho equipo sobre tecnologías libres en C++, se decidió implementar la migración al bloque 0 de ASBU, con desarrollos propios, sustituyendo en todo lo económicamente viable siempre que su fase de desarrollo e implementación no afecte los compromisos estatales.

## Materiales y métodos

Para el análisis se tuvo en cuenta que el tráfico aéreo se duplica cada 15 años, mantener la seguridad operacional es uno de los retos que impone esta realidad. La OACI proyecta mejorar la eficiencia en 4 aéreas fundamentales: a) Operaciones Aeroportuarias. b) Interoperatividad mundial de datos y sistemas. c) Optimización de capacidad y vuelos flexibles. d) Trayectoria de vuelos eficientes; a este grupo de mejoras proyectados en 4 bloques se le conoce como ASBU (ICAO, 2012). Cuba está implicada en ellas mediante el compromiso firmado por el Instituto de Aeronáutica Civil de Cuba con estas metas ASBU, que consisten en una metodología de mejoras por bloques para lograr un desarrollo paralelo entre los prestadores de servicios (A. BRADFORD, 2014) y aclara cómo los usuarios del espacio aéreo deben planear sus procesos y adquisiciones de equipos para el futuro (VARDGAS PINEDA, 2017).

A finales de 2018, para la región del Caribe, deben estar cumplidas las metas del bloque 0 de ASBU. Cuba ha realizado un arduo proceso de modernización de estas técnicas, que involucran diferentes empresas del sector de la aviación. La Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA) es la responsable de brindar los servicios de navegación, vigilancia y gestión del tráfico aéreo para la FIR HAVANA, que contiene todo el espacio aéreo correspondiente al país. Para ello se cuenta con una infraestructura crítica conocida como REDAC, esta es una infraestructura CNS/ATM y garantiza la seguridad de los sobrevuelos, el aterrizaje y despegue de las aeronaves y la información meteorológica y de aeródromos importantes para la aeronavegación.

Entre las mejoras que se debían cumplir para este bloque, estaban las asociadas a los requerimientos de información meteorológica, los requerimientos asociados a la comunicación de mensajería entre centros adyacentes y los requerimientos de mejora de flujo y gestión del tráfico aéreo. Solo en el caso de la aeronavegación existe una serie de normas internacionales promovidas por la Federación Americana de Aviación (FAA) y la Agencia Europea para la Seguridad Aeroespacial (EASA) apoyada y adoptada por sus equivalentes para las regiones de Rusia, Asia y Australia. Estas buscan lograr un desarrollo y madurez en los productos desarrollados, que permitan garantizar la integridad y disponibilidad de los sistemas y la seguridad operacional que estos aseguran. Para ello se han establecido indicaciones de Hardware (EUROCAE, 2000), de equipamientos específicos como la multilateración (EUROCAE, 2003), de sistemas (RTCA, 2012) o de software (EUROCAE, 2012b), que a su vez pueden subdividirse en suplemento de los



mismos (EUROCAE, 2012a), las cuales se deben respetar para cumplir los compromisos de modernización explicados anteriormente.

Es conocido que la política del país ha decidido apostar por el desarrollo de sistemas y software en plataformas libres. Esta política no es excluyente y busca el intercambio de información y potenciar la soberanía tecnológica. En temas de aeronavegación existen muy pocas compañías en el mundo que se dediquen a comercializar sistemas; destacándose las compañías Indra, Thales, Aireon y Azimut. Estas compañías desarrollan para todos los prestadores de servicios y al ser pocas garantizan un mercado que, debido al avance de las tecnologías, está en constante actualización. Como es lógico estas son dueñas de su know how y los precios de compartirlos son normalmente muy elevados.

Para cumplir con los compromisos ASBU, muchos países han comprado sistemas a estas compañías, con el gasto económico en el orden millonario que representan. Como se ha escrito con anterioridad, para la adecuación de nuestra tecnología a los compromisos del bloque 0 de ASBU, se debían modernizar el sistema de control de tráfico aéreo, los sistemas para la medición de variables meteorológicas en aeródromo y el sistema de intercambio de mensajes con los centros adyacentes.

Para evaluar los precios de compra de estos sistemas se tomaron precios de estos sistemas vendidos por compañías con las que se tiene relaciones comerciales, sin tener en cuenta posibles afectaciones económicas producto del bloqueo de EE. UU. impuesto a nuestro país. Por ejemplo: el sistema “Galaxy” desarrollado por Azimut para el control del tráfico aéreo desplegado en varios países de la región euroasiática, como Tailandia, tiene un valor de 81 millones de dólares, de los cuales el software equivale a más de 35 millones. Los sistemas desplegados para el control meteorológico de aeródromo utilizado en el aeródromo de La Habana, alcanzaron un valor cercano a los 52 mil dólares, donde el software ronda los 20 mil dólares, si tenemos en cuenta que en Cuba existen más de 15 aeródromos, el componente de software necesario para todos, sin incluir licencias anuales, ascendería a más de 200 mil dólares. Por último, se valora la compra del módulo de compatibilidad de la mensajería con ATFN, con un valor integro de software, sin contar licencias anuales, superior a los 64 mil dólares.

## **Resultados y discusión**

Tras el análisis realizado es fácil ver el valor de la compra de tecnologías aeronáuticas, solo en el análisis realizado para 3 elementos se calculan gastos de cifras cercanos a los 82 millones de dólares, los que, al sumársele el valor de despliegue y certificación de los mismos, rondan la cifra de los 100 millones de dólares. Se decidió apostar por la posibilidad de realizarlos con medios nacionales y sustituir la mayor cantidad de importaciones posible. Para ello se deben tener en cuenta los estándares certificadores del sector y la política de desarrollo de software libre del país. Para ello se realizó un estudio publicado en el artículo (ACUÑA, GUILLERMO BRITO, 2016a) donde se documenta una serie de consideraciones realizadas para este propósito, allí se incluyen consideraciones de hardware, software, estándares de programación, políticas, entre otras. Se obtuvo además un modelo para el desarrollo de software aeronáutico compatibilizándolo con los estándares internacionales y adaptándolo en la realidad cubana (ACUÑA, GUILLERMO BRITO, 2016b).

Se identificó también el reto de proteger estas infraestructuras y tecnologías, por lo que se desarrolló un marco de trabajo para la gestión de riesgos en infraestructuras críticas (ACUÑA, GUILLERMO BRITO 2017b). Como parte de esta investigación, se previó un módulo dedicado a la especificación de pruebas en software y siste-



mas. Mediante este se pretende compatibilizar los nuevos sistemas desarrollados con el ecosistema existente. Sobre la base de las recomendaciones de muchos de los estándares, al comenzar se realiza una evaluación de la seguridad del sistema. Se evalúa el efecto de un fallo sobre el funcionamiento total del sistema. Dicho fallo es analizado, documentado y se implementan medidas para mitigarlo. Atendiendo a estos datos el fallo es clasificado en niveles de criticidad, y se evalúa la criticidad del riesgo como: a) Catastrófico, cuando el impacto de este riesgo implica muerte, múltiples lesiones graves, pérdida económica y de prestigio muy elevada. b) Severo, cuando existen daños estructurales y pocas lesiones graves. c) Mayor, pérdida de eficiencia o lesiones menores. d) Menor, reducción de los índices de seguridad dentro de las capacidades del personal y e) Sin Implicaciones. Luego se definen criterios que deberán desarrollarse y demostrarse.

Este módulo de marco de trabajo tuvo sus primeros logros con la obtención del sistema para el control de las variables meteorológicas de aeródromo AEROMET 2.0. Este sistema, realizado para cumplir con uno de los compromisos del bloque 0 de ASBU, vino también a modernizar el 100% de los aeródromos tripulados del país. Este sistema tiene un nivel de riesgo grado 3, con un impacto “Mayor” para la economía de los prestadores de servicio. Este controla variables como el QNH, la velocidad y trayectoria del viento y el techo de nubes, los que deben ser considerados para mantener o suspender las operaciones en los aeródromos. Este sistema fue certificado mediante una comisión por el IACC en su papel de responsable de los servicios aeronáuticos del país. Para garantizar la seguridad y fiabilidad del mismo se realizaron y documentaron múltiples pruebas orientadas a los riesgos detectados (ACUÑA, GUILLERMO BRITO, 2017a) y se compararon sus mediciones con el sistema desplegado en el aeródromo de La Habana, que hasta el momento tiene un sistema equivalente de la firma finlandesa Vaisala considerada entre las primeras del mundo para este campo. Las diferencias detectadas entre ambas mediciones son menores al 1%, lo que se considera diferencias producto de los algoritmos desarrollados. Al momento de escribir este artículo se ha desplegado exitosamente en los aeródromos internacionales de Varadero, Santa Clara y Cayo Coco y está planeado su despliegue en los próximos 2 años en los restantes aeropuertos operativos del país. Este software, desarrollado con tecnologías libre como QT y PostgreSQL, representa un ahorro económico por concepto de sustitución de importaciones en el campo de los intangibles de 16800 dólares por aeródromo. El hecho de contar con equipamiento en uso, compatible con el despliegue de esta nueva tecnología en todos los aeródromos considerados, implica un ahorro de recursos considerable. Estas sumas no han sido cuantificadas, pero rondan los miles de dólares por aeródromo. Los gastos en que se incurrió para el despliegue de estos equipos fueron gastos inevitables y necesarios; como por ejemplo, la compra de equipamiento meteorológico, equipos de comunicaciones de red, servidores con altas prestaciones, cableado, que debieron ser adquiridos en cualquiera de las variantes. El cálculo del ahorro obtenido por la sustitución de importaciones se calcula en 2 550 000 USD.

Otro acercamiento al cumplimiento de las metas ASBU, es el desarrollo del módulo de compatibilidad con la mensajería aeronáutica vía AFTN. Este módulo está también certificado por el IACC, las pruebas realizadas para su operacionalidad se llevaron a cabo con el centro de control de navegación aérea de Miami, que, al estar certificado por la FAA, cumple con las especificaciones más exigentes para el sector. Este módulo de mensajería significó un ahorro de 60 mil dólares y permitió, como valor agregado, el desarrollo del sitio web aeroaismet Cuba, donde se cumple un requerimiento del anexo 3 de la OACI, al presentar en tiempo real en Internet las variables meteorológicas, la información aeronáutica, los Notam y el AIP electrónico para cada uno de los aeropuertos de nuestro país. Los acercamientos anteriores a las metas ASBU comprometidas potencian la seguridad operacional, permitiendo obtener información meteorológica o de aeródromo de ser necesario. Es importante señalar, que Cuba fue el único país de la



región en desarrollar este módulo que en estos momentos trabaja ya hace 2 años con los criterios de seguridad sugeridos.

El último sistema es el sistema conocido como RADCON M, este representa una alta complejidad y un salto tecnológico notable en la gestión del tráfico aéreo que sobrevuela el territorio nacional. Este sistema permite realizar el posicionamiento multiradar en 4D, permite realizar alertas de colisión en tiempo real y generar un predictor de trayectoria, herramientas muy útiles para los controladores del tráfico aéreo. Esta modernización permitirá un carácter distribuido de los sectores y que la información de despegue y aterrizaje fluya desde los generadores de información. Los módulos para la realización de este sistema superaban las posibilidades de desarrollo de nuestro equipo, por lo que para lograr la modernización y respetar el compromiso asumido con ASBU, se realizó como colaboración con la empresa Azimut, lo que se hizo mediante traspaso de tecnología. En el momento de realización de este artículo se habían certificado internacionalmente 5 de los 7 módulos de software que corresponden al sistema. Se calcula un ahorro de 16 millones de dólares hasta el momento. La primera etapa de desarrollo de este sistema se calcula para noviembre del presente año.

## Conclusiones

En el artículo se documentaron los resultados e implicaciones del despliegue y actualización de tecnologías aeronáuticas extranjeras, sustituyéndolas por otras desarrolladas en el país. Esto permitió el ahorro de más de 15 millones de dólares y generó nuevas posibilidades de desarrollo. Este ahorro permitió invertir mejor en requerimientos de hardware necesario para las operaciones y al ser desarrollos propios abre la posibilidad de comercializar los resultados. El autor resalta la importancia del cumplimiento y comprobación de los estándares mediante certificadores calificados para estos fines y comparándolas con servicios equivalentes de primer nivel.

Mediante los análisis realizados se identificaron compromisos del país para con la OACI. Estos representaron a su vez una oportunidad de garantizar la soberanía tecnológica. Se documentan los esfuerzos realizados por la empresa cubana de navegación aérea para, sin pasar por alto los estándares internacionales, lograr un mayor aprovechamiento de los recursos económicos. Los resultados obtenidos demuestran la validez de los métodos utilizados, resalta las posibilidades de la empresa cubana de software y los recursos financieros que es posible ahorrar al país con su correcta utilización.

## Referencias

A. BRADFORD, S. NextGen progress and ICAO. En *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 2014. 2014. p. 1-22.

ACUÑA, G. B. Consideraciones sobre el desarrollo en infraestructuras críticas y software de seguridad. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 2016a, vol. 9, n° 5, p. 33-42. ISSN 2306-2495.

ACUÑA, G. B. Gestión de Pruebas Orientadas a Riesgos para Infraestructuras Críticas CNS/ATM. *RCCI*, 2017a, n°

ACUÑA, G. B. *Marco de Trabajo para la Gestión de Riesgos en Infraestructuras Críticas*. En 2017b.



- ACUÑA, G. B. MODELO W, APLICACIÓN PARA EL DESARROLLO Y CERTIFICACIÓN DE SOFTWARE CRÍTICOS CNS/ATM SEGÚN ESTÁNDAR DO-178. RCCI, 2016b, n°
- ANEXO, O. *10-Telecomunicaciones Aeronáuticas. Canadá, 2010. Vol. 1.565 pp.* ISBN 92-9194-778. 2010
- CLARK, R. M. y HAKIM, S. Protecting Critical Infrastructure at the State, Provincial, and Local Level: Issues in Cyber-Physical Security. En *Cyber-Physical Security*. Springer, 2017, p. 1-17.
- EUROCAE. ED-217, Object-oriented technology and related techniques supplement to ed-12c and ed-109a. 2012a, n°
- EUROCAE. ED 80 /RTCA 254, Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware. 2000, n°
- EUROCAE. ED 117, MINIMUM OPERATIONAL PERFORMANCE SPECIFICATION FOR MODE S MULTILATERATION SYSTEMS FOR USE IN ADVANCED SURFACE MOVEMENT GUIDANCE AND CONTROL SYSTEMS. 2003,
- EUROCAE. Software Integrity Assurance Considerations for Communication, Navigation, Surveillance and Air Traffic Management. 2012b, n°
- FORCE, J. T. y INITIATIVE, T. *Guide for applying the risk management framework to federal information systems*. 2010, vol. 800, 37 p.
- FORCE, J. T. I., TRANSFORMATION. *Security and privacy controls for federal information systems and organizations*. 2013, vol. 800, 8-13 p.
- ICAO. *Segunda presentación sobre las mejoras por bloques del sistema de la aviación mundial de OACI*. En 2012.
- ISO. *SO/IEC 27001 Information technology – Security techniques - Information security management system - Requirements*. 2015,
- JOSÉ CARLOS SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ , P. R. D. CÓMO VERIFICAR LACALIDAD DEL SOFTWARE EN SISTEMAS CRÍTICOS. 2003, n°
- MCGREGOR, J. D. y SILVA, R. S. Building Safety-Critical Systems Through Architecture-Based Systematic Reuse. En *Mastering Scale and Complexity in Software Reuse: 16th International Conference on Software Reuse, ICSR 2017, Salvador, Brazil, May 29-31, 2017, Proceedings*. 2017. p. 217.
- MOTEFF, J.; COPELAND, C., *et al. Critical infrastructures: What makes an infrastructure critical?* Library of Congress Washington DC Congressional Research Service, 2003.
- OACI. *Doc 9859 - Manual de gestión de la seguridad operacional*. Editado por: Internacional, O. D. L. a. C. 2013a,
- OACI. *Normas y métodos recomendados internacionales Anexo 19 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional., Gestión de la seguridad, Organización de la Aviación Civil Internacional*. 2013b,



RTCA. DO-178C, Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. 2012, n°

STOUFFER, K.; FALCO, J., *et al.* *Guide to industrial control systems (ICS) security*. 2011, vol. 800, 16-16 p.

VARDGAS PINEDA, J. F. *Beneficios de la Implantación del Performanca Based Navigation (PBN) en las Operaciones Aéreas de la Aviación del Ejército Nacional para las Aeronaves de Ala Fija*. Universidad militar de Nueva Granada. 2017.

