CLAVES PARA LA REQUERIDA UNIVERSALIZACIÓN SIMBOLÓGICA DE LAS CARTAS AERONÁUTICAS

JAVIER MOYA HONDUVILLA
Grupo de Investigación Mercator – Universidad Politécnica de Madrid
Email: j.moya@upm.es
WILLINGTON SIABATO
Grupo de Investigación Mercator – Universidad Politécnica de Madrid
Email: w.siabato@upm.es
MIGUEL ÁNGEL BERNABÉ
Grupo de Investigación Mercator – Universidad Politécnica de Madrid
Email: ma.bernabe@upm.es

Resumen: Las cartas aeronáuticas son un medio conveniente para suministrar información aeronáutica de manera manejable, condensada y coordinada. Pese a contar con una extensa normativa regulatoria respaldada por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), esta cartografía especializada adolece de una acusada disparidad simbológica entre las distintas ediciones de países y editores. Ello supone no atender a la debida uniformidad y coherencia que la propia OACI identifica como imprescindible para contribuir a la seguridad de la aviación civil internacional.

Los planes para la puesta en marcha de la interoperabilidad de la información aeronáutica a escala global obligan a replantearse con urgencia la forma en la que, hasta el momento, se ha publicado y difundido este tipo de información. Una especificación simbológica única, transversal e independiente aplicada a los diversos formatos de visualización hasta ahora definidos, contribuiría a la generación de un producto final cerrado que provea información aeronáutica de interpretación general y univoca.

Como aporte al estado de la cuestión, esta comunicación pretende estimar hasta qué punto sería factible elaborar una especificación universal que facilite la necesaria legibilidad e indubitabilidad de la lectura de información aeronáutica en cualquier circunstancia operacional, siendo ésta además compatible con las especificidades de países, editores y tripulaciones.

Palabras claves: *cartografía aeronáutica, estandarización, estereotipos, factores humanos, navegación aérea, semiología gráfica, simbología.*

Abstract: The aeronautical charts are a convenient means to provide aeronautical information in a manageable, condensed, and coordinated way. Despite having an extensive regulatory legislation backed by the International Civil Aviation Organization (ICAO), this kind of specialized mapping is defined by a marked symbolical disparity between the different editions published by countries and publishers. This implies not to follow the uniformity and consistency principles that ICAO have identified as essential to help ensure the safety of international civil aviation.

Plans for the implementation of a global interoperability of aeronautical information require urgently rethink the way in which, so far, this information has been published and disseminated. A single, transverse, and independent symbolical specification would contribute to the generation of a well defined final-product that provides general purpose aeronautical information for an unequivocal interpretation.

The contribution of this article is the verification of the real possibilities for the definition of a general specification that provides the mechanisms for a reliable, indisputable, and legible reading of aeronautical charts under any operational circumstances and conditions. Such conditions must be aligned with the specificities of any country, publishers or crew.

Key words: *aeronautical cartography, standardization, stereotypes, human factors, aviation, semiotics, symbology.*

1. INTRODUCCIÓN

La cartografía aeronáutica es un medio adecuado para la distribución de información geo-aeronáutica, estando todos sus aspectos regidos por unos estándares y normativas internacionales que obligan a considerar un tratamiento homogéneo desde todas las organizaciones responsables de su producción. Esta cartografía está disponible en formato papel tradicional o digital, teniendo la posibilidad de visualizar este último en diversos dispositivos portátiles, incluyendo algunos que se integran en la instrumentación de los aviones modernos. Sin embargo, los símbolos cartográficos que se utilizan, aun estando reglados, en ocasiones varían de forma significativa, lo que provoca un riesgo de confusión en la lectura de una información crítica para la seguridad aérea. La investigación que a continuación se presenta pretende estimar los pasos dados hasta el momento para conseguir una especificación

simbológica única, transversal e independiente, tratando de aportar nuevos aspectos no considerados hasta el momento que estimamos sería valiosos para facilitar una unicidad simbólica adecuada desde el punto de vista de la comunicación cartográfica y flexible a la hora de atender a la rápida evolución tecnológica que acontece hoy en día.

Este artículo se divide en 5 secciones, siendo esta introducción la primera de ellas. La sección 2 está dedicada a la definición de información geo-aeronáutica, justificando su necesidad bajo los conceptos de eficiencia y seguridad. A continuación se identifican los servicios que difunden esta información temática y se detallan los formatos cartográficos a considerar en el ámbito aeronáutico. La sección 3 está dedicada a las estandarizaciones y recomendaciones simbológicas, haciendo especial hincapié en el Anexo 4 del Convenio de Aviación Civil Internacional de la OACI. Seguidamente se detallan las directrices generales que se recomiendan en el ámbito particular de los formatos electrónicos y se realiza una exposición del nuevo contexto de servicios y aplicaciones relativo a la información aeronáutica, dado que se espera que la llegada de los planes de interoperabilidad mundial acreciente más si cabe la necesidad de una especificación simbológica única y adaptada a las necesidades actuales. La sección 4 identifica el problema y desarrolla en profundidad la estrategia de investigación aportada, cuyo objetivo, además conseguir valorar en mayor detalle la problemática, se centra en aportar una solución en forma de conclusiones y recomendaciones en el ámbito de la semiología gráfica. Por último, la sección 5 da cuenta de las conclusiones y recomendaciones con respecto a la posibilidad final de lograr la mayor convergencia posible de las diversas especificaciones simbológicas existentes hoy en día.

2. LA INFORMACIÓN GEO-AERONÁUTICA

Este trabajo propone como ámbito de interés particular la codificación gráfica de la información geo-aeronáutica, es decir, aquella información de ámbito aeronáutico que tiene como variable esencial de su definición la localización espacial. En consecuencia, su conjunto es susceptible de ser modelado mediante una codificación cartográfica para su posterior comunicación a las tripulaciones en vuelo bajo distintos medios de visualización geográfica.

2.1 La necesidad de la información

El ejercicio de la navegación aérea implica la necesidad de un flujo constante y seguro de información georreferenciada que permita al piloto (responsable último de cualquier vuelo) tomar decisiones adecuadas en dos aspectos críticos: eficiencia y seguridad.

El primero de los aspectos consiste en desplazarse de manera eficiente por un recorrido previamente planificado. La información trasladable al piloto debe permitir conducir una aeronave de un lugar a otro determinando su posición en cualquier instante, existan o no condiciones climatológicas y ambientales que permitan el contacto visual con el terreno. Ello obliga, en el caso de una navegación de tipo instrumental, a la estricta observancia tanto de las trayectorias normalizadas como de las indicaciones que se confíen desde el control de tráfico en tierra.

La seguridad consiste en asegurar la integridad física de tripulantes, pasajeros y la propia aeronave, adquiriendo para ello una percepción constante y detallada del relieve alrededor de la posición en un instante dado. Este conocimiento permite evaluar y minimizar cualquier riesgo de colisión con el terreno circundante. Otros factores de seguridad posicional son el conocimiento de la posición del tráfico aéreo circundante y la provisión de información meteorológica; su rápido análisis permite evitar, en lo posible, riesgos innecesarios para la navegación.

2.2 Los servicios de información.

Participar en el actual sistema normalizado de navegación aérea implica un estricto sometimiento a todas las disposiciones recogidas en el denominado Reglamento de Circulación Aérea [ESP02]. En contrapartida se brinda al piloto (como usuario del sistema) diferentes servicios de información a través de los cuales puede proveerse de los datos aeronáuticos necesarios para garantizar una navegación eficiente y segura dentro del espacio aéreo. Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) estos datos aeronáuticos son la representación de hechos, conceptos o instrucciones de ámbito aeronáutico que de manera formalizada permita que se comuniquen, interpreten o procesen. El resultado sintetizado de su agrupación, análisis y formateo es lo que ha de considerarse Información Aeronáutica [OAC04]. Finalmente, son los Servicios de Información Aeronáutica (AIS) los encargados de asegurar que esta información se distribuye en todo momento a los pilotos a través de los medios que se consideren convenientes.

Las tripulaciones en vuelo disponen, fundamentalmente, de dos fuentes primarias de información: los Servicios de Tránsito Aéreo (ATS) y la Cartografía Aeronáutica.

2.2.1 Servicios de Tránsito Aéreo (ATS). Esta expresión genérica se aplica, según el caso, a los servicios de información de vuelo, alerta y control de tránsito aéreo [OAC04]. Además de mantener ordenado el movimiento del tránsito aéreo, estos servicios facilitan a las tripulaciones información útil como la situación meteorológica prevista, el estado de la infraestructura, la congestión de tráfico en áreas terminales, etc. Además, impiden situaciones potencialmente peligrosas al usuario, gracias a la transmisión normalizada de instrucciones que

eviten colisiones con obstáculos del terreno u otras aeronaves.

El flujo de información que se establece entre los servicios de información y las aeronaves es bidireccional: el comandante de una aeronave provista de equipo de radiocomunicaciones transmite informes de posición, intenciones y cualquier modificación ulterior al servicio ATS correspondiente, permitiendo así al controlador particularizar adecuadamente la información transmitida.

Aunque existe un sistema de enlace digital de datos (ACARS) que mantiene en comunicación constante a las compañías aéreas con sus vuelos a través de mensajes cortos de texto, la comunicación Tierra/Aire (T/A) o viceversa se basa en los denominados Sistemas de Comunicaciones de Voz (SCV) [ONT09]. La falta de cobertura en zonas oceánicas deshabitadas o lejos de los centros de control, las interferencias y ruido al que están sujetas las comunicaciones radiofónicas, y la limitación y congestión de frecuencias de radio impide asegurar en cualquier posición y circunstancia la continuidad del servicio, la integridad de la información y la provisión de forma inmediata de la información requerida. De particular atención es el problema de la perdurabilidad del mensaje: la información es efímera, puesto que no se aloja en ningún medio a través del cual pueda consultarse a posteriori. En definitiva, es totalmente dependiente de la capacidad de Memoria a Medio Plazo (MMP) del piloto.

2.2.2 La cartografía aeronáutica. Para conseguir que las operaciones aéreas sean seguras es esencial contar en todo momento con un medio manejable, condensado y coordinado que asegure el suministro de información para la navegación; las cartas aeronáuticas proporcionan una fuente actual, completa e irrefutable de información geo-aeronáutica. La OACI define a las cartas aeronáuticas como la representación de una porción de la superficie terrestre, su relieve y construcciones, diseñada especialmente para satisfacer los requisitos de la navegación aérea [OAC09]. Este soporte gráfico permite así disponer de todos los datos necesarios para que el piloto, mediante la lectura de los instrumentos, pueda orientarse y desplazarse en el espacio aéreo sin necesidad de dotarse de las instrucciones de los servicios ATC en tierra.

En España, la encargada de prestar el servicio AIS es la División de Información Aeronáutica de Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (Aena), siendo responsable de recibir, organizar, cotejar, ensamblar, editar, formatear, publicar/almacenar y distribuir los datos aeronáuticos necesarios para garantizar la seguridad, regularidad y eficiencia de la navegación aérea en España [AIS10]. En consecuencia, es la responsable de la producción de la cartografía aeronáutica utilizada por la aviación civil, tanto nacional como internacional, en territorio español y en aquellas zonas donde el Estado Español tenga la responsabilidad de suministrar servicios de tránsito aéreo, como por ejemplo el Sahara Occidental.

La mayoría de las cartas aeronáuticas que publica Aena están estructuradas e integradas como parte de la Publicación de Información Aeronáutica (AIP), el manual básico de información aeronáutica de cada país. Contiene la información de carácter permanente y cambios temporales de larga duración. Toda la información suministrada por la AIP se mantiene constantemente actualizada mediante enmiendas regulares, enmiendas de Reglamentación y Control de la Información Aeronáutica (AIRAC), suplementos e información de última hora para aviadores (NOTAM) [OAC09], [EUR10].

2.3 Los formatos de información gráfica

La información geo-aeronáutica puede estar disponible en formato papel tradicional o en dispositivos digitales. Además, existen visores integrados como un elemento más de la instrumentación electrónica de muchas aeronaves, los cuales permiten distintas representaciones simbólicas análogas a las que puede poseer un esquemático mapa móvil [MOY08].

2.3.1 Cartas aeronáuticas en papel. El papel es el soporte tradicional de las cartas aeronáuticas desde la aparición de estas en las primeras décadas del siglo XX [MOY11]. Como formato cumple perfectamente las necesidades de medio manejable, condensado y coordinado [OAC09-1]. La responsabilidad de su confección corresponde por mandato de OACI a los diferentes departamentos oficiales de información aeronáutica de los estados miembros. Distintas empresas privadas y consorcios de empresas de transportes de pasajeros también editan cartas (ver figura 1); en este caso su producción debe estar obligatoriamente certificada por las autoridades internacionales correspondientes [OAC08-1].

FIGURA 1. Cartas y fichas de aproximación del proveedor estadounidense Jeppesen. [MOY11]

El diseño de la cartografía aeronáutica está normalizado a nivel internacional. Si no fuese así, sería difícil para los pilotos y otros usuarios de las mismas encontrar e interpretar correctamente la información que contienen. El

Consejo de la OACI adoptó por primera vez las normas y métodos recomendados originales en 1948. En la actualidad, el Convenio sobre Aviación Civil Internacional (Doc 7900/9) [OAC44] define en el Anexo nº 4 una extensa serie de especificaciones acerca de la cobertura, el formato, la identificación y el contenido de la carta, incluyendo la simbología normalizada y el color [OAC09-1]. La serie normalizada de cartas aeronáuticas de la OACI comprende 21 tipos distintos, cada uno de ellos destinado a una finalidad específica en función de la fase o fases de vuelo que se quiere cubrir con ella: rodaje, subida, crucero, llegada, aproximación, etc. La gama comprende desde las grandes cartas plegadas para vuelos visuales y escalas menores de escalas 1:1.000.000 y 1:500.000, hasta un conjunto de fichas correspondientes a diferentes procedimientos, rutas, aeródromos, etc. que son requeridas en un vuelo de tipo instrumental [OAC09-1].

2.3.2 Cartas aeronáuticas digitales. La evolución tecnológica de la cartografía hacia el ámbito digital no es ajena al campo aeronáutico. El uso extensivo de dispositivos de visualización portátiles como el mostrado en la figura 2, de características muy variables y en constante evolución, sumado a la disponibilidad y el intercambio de información aeronáutica digital que nos brinda la tecnología actual, ha creado un entorno apropiado para la preparación rápida de cartas electrónicas que pueden visualizarse en el puesto de pilotaje. Las funcionalidades de presentación plenamente desarrolladas pueden llegar a abarcar mucho más que aquella de las cartas impresas, ofreciendo capacidades comunicativas tales como la modificación de la presentación de los objetos gráficos atendiendo a diversos condicionantes operacionales o el desplazamiento automático y permanente del mapa acorde con la posición real de la aeronave [MOY11].

FIGURA 2. Utilización de un iPad como visor de cartografía digital en aeronaves ligeras. [MOY11]

Al igual que en el caso de las cartas aeronáuticas en soporte papel, la OACI también recoge una serie de reglamentaciones que tratan de conciliar el uso de las cartas electrónicas con la seguridad del vuelo [OAC09-1]. Las recomendaciones que la OACI establece para los dispositivos de visualización de cartas digitales son, en líneas generales, prácticamente comunes a lo que se puede esperar de cualquier sistema de visualización electrónico de mapas no especializado; sin embargo aportan características particulares sobre el soporte físico de las que hablaremos posteriormente.

2.3.3 Los *displays* de navegación. Los *Displays* de Navegación (ND) forman parte de los sistemas electrónicos de instrumentos de vuelo de las aeronaves modernas, los cuales desde principios de la década de los años 80 sustituyen progresivamente a los instrumentos tradicionales (relojes analógicos) [FLI80]. El conjunto coordinado de estos sistemas se denomina genéricamente EFIS (*Electronic Flight Instrument System*). El EFIS es un generador de símbolos gráficos soportado en una unidad central de proceso; esta adquiere la información de multitud de parámetros de la aeronave a través de diferentes sensores, procesándola y proporcionando una señal de video adecuada a dos pantallas electrónicas principales (figura 3): la Pantalla Primaria de Vuelo (PFD), que recrea digitalmente la información de seis diferentes instrumentos analógicos tradicionales (horizonte artificial, anemómetro, altímetro, etc.) y la propia Pantalla de Navegación (ND) [FLI81]. Esta última es asimilable a una utilidad de mapa móvil electrónico, en la que queda representada la posición real de la aeronave con respecto a la ruta definida en el Sistema de Control automático de Vuelo (FMS) [AIR04].

En una pantalla ND (ver figura 3), mientras que la información posicional es adquirida a través de la coordinación de Sensores Inerciales (INS) y de Posicionamiento Global por Satélite (GPS), la presentación de datos geo-aeronáuticos (aeropuertos, radio-ayudas, *way-points*, etc.) se sirve de una base de datos geográfica integrada como parte del sistema de información. Un panel de control asociado permite controlar distintos modos de operación, alcance (escala) y brillo de la pantalla [AIR04].

FIGURA 3. Display de Navegación (ND) de un Boeing B737-800 NG en modo ARC. [MOY11]

2.3.4 Los EFB certificados. A medio camino entre los ordenadores que gestionan programas de visualización y las pantallas ND se encontrarían los denominados *Electronic*

Flight Bag (EFB) [FAA03], dispositivos certificados para su uso en vuelo e ideados como plataforma de propósito general para reducir y sustituir completamente el uso de papel en cabina (manuales de operación de aeronaves, manual de la tripulación de vuelo operativo, cartas de navegación, etc.). Su versatilidad hace que, además de poseer varias funciones aeronáuticas de utilidad que se sirven de la misma, como la generación de un plan de vuelo, cálculo de rumbos, velocidades, tiempos estimados, combustible y parámetros de despegue [NOR01], pueden soportar la instalación de programas de navegación que permiten el seguimiento visual del vuelo sobre la cartografía, logrando el desplazamiento automático del mapa acorde con la posición real de la aeronave, de modo análogo a como sucede en los *displays* de navegación instrumental (ND).

3. RECOMENDACIONES Y ESTANDARIZACIONES

Tal y como establece el Convenio sobre Aviación Civil Internacional, cada estado contratante se compromete, en la medida de lo posible, a adoptar y aplicar las normas y demás métodos y reglas de operación que se recomienden o establezcan continuamente en aplicación del convenio.

Como ya se ha adelantado anteriormente, las directrices de producción y difusión de cartografía aeronáutica son recogidas formalmente, en el denominado Anexo 4 del Convenio (AN/4) [OAC09-1]. Este documento caracteriza a las cartas a través de un conjunto de necesidades de interpretación y requisitos de utilización. Como necesidad fundamental de interpretación señala la de dotar a estos documentos de la propiedad de la rapidez en la interpretación: el manejo de una aeronave es un ejercicio que supone una gran tensión, factor que predispone a un accidente. Una carta que facilite en lo posible la correcta comprensión y rapidez del mensaje reduce significativamente esta tensión; en consecuencia una buena cartografía se convierte por mérito propio en un elemento positivo para la propia seguridad del vuelo. Como requisitos de utilización cita aspectos como el necesario estudio de los principios relativos a factores humanos, la necesidad de proporcionar información adecuada a cada fase concreta, la exactitud, la facilidad de interpretación a través de la correcta simbolización, la presentación adecuada de acuerdo con las circunstancias operaciones de los pilotos, etc.

La cartografía aeronáutica es una forma de transmisión de un tipo de información espacial temática; describe y representa los fenómenos geo-aeronáuticos a través de la construcción de una estructura comunicativa basada en la ideación de un conjunto coordinado de símbolos y signos que tratan de traducir gráficamente dichos fenómenos a través de determinados convencionalismos y leyes. El Anexo 4 define una serie de normas y recomendaciones simbológicas de aplicación para toda la producción de cartas OACI de los países firmantes del convenio. Esta especificación asigna un identificador numérico correlativo a cada uno de los símbolos considerados (hasta un total de 180) y los categoriza temáticamente (ver figura 4) agrupándolos en topográficos, hidrográficos, culturales, aeródromos, ayudas a la radionavegación y servicios de tráfico aéreo. Junto a la especificación de forma correspondiente, también se adjunta una guía para el uso de la variable color y adicionalmente una guía de tintas hipsométricas para la representación del relieve.

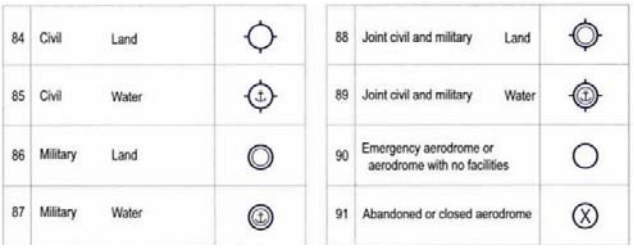

FIGURA 4. Categoría de símbolos de aeródromos-OACI, extracto. [OAC09-1]

Otras guías o manuales que deben ser tenidos en cuenta a la hora del diseño de cartas (y en particular en lo que a simbología se refiere) son el denominado Manual de Cartas Aeronáuticas (8697-AN/889/2) [OAC92], publicación en la que se orienta y ayuda a los estados a poner en práctica las normas y métodos recomendados del Anexo 4, y el Manual de entrenamiento de Factores Humanos (9683-AN/950) [OAC08-2], el cual sintetiza diversos principios de factores humanos (comprensión de las capacidades y limitaciones humanas previsibles y su aplicación). Si bien en este último apenas se realiza referencia alguna a la cuestión del diseño cartográfico, del capítulo dedicado a la ergonomía deducimos que una carta aeronáutica, al ser entendida como un soporte lógico, es un medio a través del cual el elemento humano interacciona para obtener información vital. En consecuencia, un diseño inadecuado desde el punto de vista ergonómico y cognitivo puede dar lugar a representaciones susceptibles de provocar retrasos y errores de lectura e interpretación.

3.1 Directrices particulares en el ámbito digital.

Los requisitos generales de utilización citados en el Anexo 4 son de aplicación independientemente del medio utilizado (papel o digital), por lo que la función asignada a la presentación electrónica de cartas es totalmente análoga a la que deben realizar las cartas tradicionales en formato papel: permitir en base a la presentación de la información requerida las tareas de planeamiento y observación de rutas y de navegación. En todo caso la OACI considera que con el uso del formato electrónico esta función se puede alcanzar con mucha mayor eficacia [OAC09-1], y en consecuencia particulariza determinadas directrices relacionadas con las posibilidades básicas de la

representación multimedia a través del capítulo denominado *Presentación electrónica de cartas aeronáuticas*. Por ejemplo se dispone que, aunque la información básica o indispensable para un vuelo seguro debe ser siempre visible, debe ofrecerse la posibilidad de representar otro tipo de información o datos a petición (uso de capas). De igual forma se podrá variar manualmente la zona de la carta visualizada, su escala y, en los casos en los que no se utilice cartografía estática, la zona representada podrá variar automáticamente acorde con la posición real de la aeronave.

Aun siendo las especificaciones comunes a lo que se puede esperar de cualquier aplicación electrónica de mapas, la OACI también aporta la necesidad de características adicionales sobre el soporte físico de la presentación: tamaño efectivo, capacidad, visibilidad, luminosidad, etc. Si bien nada especifica acerca de la concordancia con las condiciones particulares de una cabina de pilotaje en términos de factores humanos, mediante la observancia de las circunstancias especiales que caben esperar al hacer uso de estos en cabina: la variación de la luminosidad interior, la distancia relativa a la pantalla, la usabilidad en condiciones de atención a distintas tareas de navegación, el uso de pantallas táctiles como medio de interacción, etc. En cuanto a la especificación de simbología, en ningún caso se hace distinción en cuanto a una posible equivalencia o versión específica de un mismo símbolo bajo formato papel y electrónico.

Fuera del ámbito de la OACI, destaca el trabajo normativo del Comité de cartas aeronáuticas de SAE International (SAEG-10), el cual tutela bajo el documento denominado *Electronic Aeronautical Symbols* (ARP 5289) [SAE97] diversas recomendaciones para símbolos de uso habitual en cartas aeronáuticas. Este documento se diferencia de la especificación OACI en que, además de estar mucho más enfocado a la observancia de los factores humanos, cada especificación individual de símbolo recomendado es acompañada con la representación de los que son utilizados en la realidad tanto por los principales productores de cartas en papel y digital como por los constructores de la industria aeronáutica, en el caso de las pantallas ND.

3.2 El nuevo contexto de servicios y aplicaciones.

Resulta evidente que las recomendaciones OACI para el ámbito de la producción de cartografía aeronáutica se encuentran, a día de hoy, claramente desfasadas; así lo atestigua el Manual de Cartas Aeronáuticas (8697-AN/889/2) [OAC92], que data originalmente del año 1987 y que da cuenta de técnicas de producción cartográfica totalmente analógicas. De igual forma, el ámbito tecnológico que aún describe el anexo 4 (cuya última edición data de 2009), está a día de hoy plenamente superado por los planes de trabajo que pretenden conseguir una interoperabilidad de datos aeronáuticos mundial. En concreto, es de destacar el plan denominado genéricamente Transición de AIS a AIM, cuyo objetivo es que toda la información aeronáutica, incluida la que contienen actualmente las distintas AIP, se almacene en forma de conjunto de datos normalizados e interoperables que podrá consultarse desde diversas aplicaciones de usuario. [EUR06], [BOS11]. Las aplicaciones del usuario final ya no dependerán exclusivamente de la estructura y formato de los datos; estas tendrán capacidad de acceder a diversas fuentes de datos, para así transformarlos y coordinarlos con otros libremente en orden a presentarlos al usuario final mediante el correspondiente proceso cartográfico tal y como éste lo requiera, indistintamente del formato portador (papel, digital, NDs o EFBs) [OAC09-2].

La libertad emanada de la posibilidad de crear e integrar nuevos servicios de análisis y visualización de información aeronáutica que se nutran de datos propios o de terceros, entra en conflicto con la rigidez de las especificaciones de simbología OACI, que no tienen capacidad de contemplar nuevas necesidades tanto tecnológicas como simbólicas. Un ejemplo sintomático es la aplicación AWE [SPI03], una de las primeras propuestas de adicción de información meteorológica en tiempo real sobre una cartografía para vuelo visual. Mediante distintos artificios simbólicos (sectorización de rectángulos y triángulos con codificación dinámica de colores de relleno y borde color en los bordes, flechas con orientación y tamaño acorde con los datos de entrada, etc.) trata de codificar sobre una carta aeronáutica al uso información meteorológica relativa a las condiciones actuales de nubes, visibilidad y vientos en diferentes capas de altitud. El resultado (figura 5) es una cartografía digital capaz de proporcionar una gran cantidad de datos relevantes sobre una representación bidimensional pero que, sin embargo, adolece de una correcta integración con la información aeronáutica sobre la que se sitúa (ocultamiento, falta de unicidad y semántica simbológica, etc.) ni parece lograr una mejora en la comprensión de los datos meteorológicos, ya que los símbolos multivariables dinámicos propuestos se alejan en demasía tanto de los aeronáuticos como de los utilizados habitualmente en los mapas meteorológicos al uso por todos conocidos.

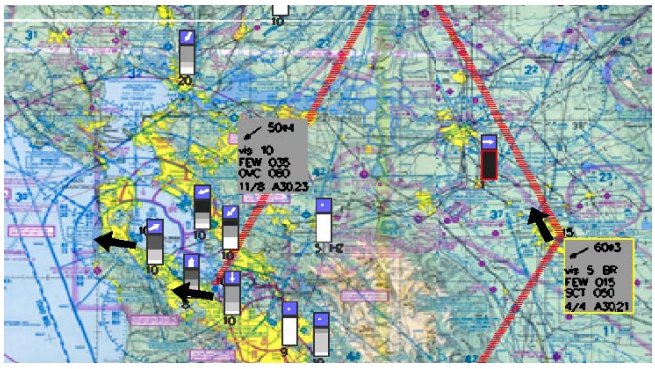

FIGURA 5. Aplicación AWE basada en símbolos dinámicos. [SPI03]

El progresivo acercamiento a una estandarización que maximice las capacidades de los nuevos formatos, así como el nuevo contexto de servicios y aplicaciones es, por tanto, urgente. Esta necesidad está siendo recogida por numerosos grupos de interés desde distintos enfoques: la aplicación del concepto de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) para la producción de cartas aeronáuticas digitales propuesta por el Comité de Cartas Aeronáuticas del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) [IPG09], y de forma singular el empleo del estándar de Descriptores de Capas de Estilo (SLD) para los símbolos OACI del Grupo de Trabajo en el Dominio de la Aviación de la OGC [BOS11], así como el estado del arte realizado por el Centro VOLPE acerca de los símbolos aeronáuticos utilizados por la industria [YEH09]. También la propia OACI está ultimando una serie de nuevos requisitos técnicos (SARPS) y textos de orientación relacionados con la presentación electrónica de cartas, cuya publicación está estimada para el año 2013 [OAC08-3].

4. SEMIOLOGÍA DE LA COMUNICACIÓN GEO-AERONÁUTICA

Los símbolos electrónicos que se utilizan en los sistemas de visualización que hemos mencionado varían a veces de forma significativa [CHA07]. La falta de homogeneidad en el grafismo de la información aeronáutica no es deseable desde el punto de vista de factores humanos. Cuando se utilizan diferentes símbolos para representar un solo objeto o elemento de la realidad, existe un riesgo de confusión. Y esta situación es probable que tenga cada vez mayor ocurrencia en vista del actual panorama de cambio tecnológico que tiende a llevar a los pilotos al uso simultáneo de distintas fuentes de información (por ejemplo, un mapa papel y su equivalente representación en una pantalla de navegación); estas múltiples fuentes, debido al escaso cumplimiento de las normas recomendadas para el diseño de símbolos en las pantallas electrónicas, pueden utilizar diferentes convenciones de simbología. El problema se agrava cuando se ha demostrado que algunos de los símbolos que están actualmente en uso no son bien reconocidos por los pilotos [YEH05]. Además, existe el problema contrario, es decir, cuando dos fabricantes utilizan el mismo símbolo para representar diferentes fenómenos de la realidad, lo que puede provocar que los pilotos malinterpreten un símbolo si se basan en la representación de las cartas o visores de otro fabricante. Por tanto, la apropiada coordinación entre las características que representan y el símbolo que las recoge es de suma importancia, sobre todo cuando la información aeronáutica se superpone junto con otros datos temáticos, como por ejemplo los meteorológicos [FEN10].

Por nuestra parte, se ha realizado una toma en consideración de la problemática a través de a) una clasificación de los símbolos de las cartas desde el punto de vista de la abstracción, b) un análisis comparativo de las ediciones de distintos AIS internacionales y c) diversas experiencias de simbolización y visualización dinámica de la información aeronáutica.

4.1 Niveles de abstracción simbólica

En una carta aeronáutica, tanto la estructura compositiva y semántica como el nivel de abstracción simbológico requerido (categorizándola en símbolos pictóricos, geométricos y literales) varía de forma sustancial obedeciendo fundamentalmente al tipo de reglas de vuelo al que van destinadas. Realicemos a continuación un cotejo de esta cuestión con respecto a las funciones operaciones a las que va destinada cada carta.

4.1.1 Cartas de vuelo visual. Bajo las denominadas Reglas de Vuelo Visual (VFR) el vuelo se realiza mediante técnicas de navegación autónomas, en las que el piloto es capaz de orientarse en el espacio por sus propios medios y sin ayudas externas [MOY11]. La cartografía utilizada para respaldar este tipo de navegación debe representar las características geográficas del área circundante que puedan reconocerse fácilmente desde el aire, además de la posición precisa de obstáculos, elevaciones del terreno y zonas restringidas del espacio aéreo. En una carta destinada a vuelo visual se utilizan con profusión los símbolos pictóricos o descriptivos, es decir, aquellos que muestran una imagen figurativa, fácil de recordar y universalmente reconocible. Debido al realismo con el que muestran la imagen que quieren evocar, se utilizan en aquellas ocasiones en las que sea necesaria en pleno vuelo una lectura rápida, directa y universal. Ejemplo de ello son los símbolos dedicados a construcciones o que pueden suponer un obstáculo para la navegación: antenas, depósitos, fábricas y parques eólicos, etc. En determinadas ocasiones, estos símbolos suelen ocupar un gran espacio en el mapa, y por lo tanto una baja precisión situacional: es el caso de los símbolos pictóricos que son utilizados para clasificar los campos de vuelo en función de su especialización.

4.1.2 Cartas de vuelo instrumental. Alternativamente existen las denominadas Reglas de Vuelo Instrumental (IFR), bajo las cuales el control de la aeronave se realiza con el apoyo de una estructura exterior (radioayudas, sistemas GNSS, sistemas ILS para el aterrizaje de precisión, etc.), debiendo atender tanto a la lectura de los instrumentos como a las indicaciones de los Servicios ATS [MOY11]. La gran diferencia de la cartografía destinada a vuelo instrumental, con respecto a la visual, es que pierde la representación detallada de elementos geográficos visibles en favor de aspectos no tangibles relacionados tanto con la estructura del espacio aéreo como de los procedimientos de navegación normalizados: aerovías, rumbos, distancias, límites de altitud, frecuencias, etc. Para acometer la correspondiente abstracción simbólica de aspectos plenamente operacionales se recurre tanto a símbolos

geométricos o abstractos como a símbolos literales. En el caso de los símbolos abstractos, generalmente no son evocadores de la imagen que representan, aunque a veces puedan recordar vagamente la forma del objeto original en cuestión (radiofaro, VOR), es por ello que necesiten de una leyenda que explique su significado (ver figura 6). Al poseer una estructura geométrica, disponen de un centro fácilmente reconocible por lo que poseen un elevado grado de precisión en su situación sobre la carta, lo que es crítico al describir procedimientos operacionales, en mayor medida cuanto más cercana esté la instrucción simbolizada al terreno.

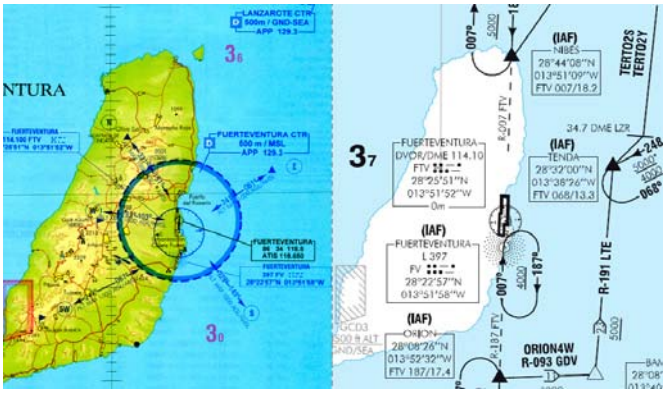

FIGURA 6. Comparativa entre la simbología de cartas VFR (Izq.) e IFR (Der.) [MOY11]

Otra categoría de símbolos de uso extensivo en las cartas destinadas a vuelo instrumental es la que está compuesta por letras y/o números (símbolos literales), muy adecuada en una cartografía pensada para extraer sin lugar posible a equívoca interpretación una ingente cantidad de atributos operacionales: denominaciones, frecuencias, límites de altitud, etc. En las cartas aeronáuticas es habitual aplicar símbolos literales a los fenómenos superficiales de una carta (concretamente en los espacios aéreos), ya que se tiende a evitar el uso de rellenos de color para no interferir en la lectura de elementos puntuales y lineales. Si bien la propia forma cerrada de la superficie delimita su ámbito de ocurrencia, existen problemas de lectura e identificación cuando este tipo de espacios comparten límites o se solapan entre sí, algo muy habitual en las Áreas de Control Terminal (TMA) de los grandes aeropuertos. Este último problema lo comparten indistintamente cartas de vuelo visual e instrumental.

4.2 Comparativa de ediciones en papel.

Aunque la obligación de la OACI de seguir una misma especificación lleve a pensar que el producto cartográfico final editado por los distintos países posee una apariencia homogénea y similar, un primer cotejo de las series de cartas de distintas AIS muestra una llamativa disparidad de aspecto formal y estético, cuestión que también afecta a la eficiencia de la comunicación cartográfica. Recogiendo este hecho, se ha realizado un estudio en el que se han analizado cartas aeronáuticas de un total de 12 países de distintas regiones y continentes: España, Francia, Estados Unidos, Islandia, Italia, Reino Unido, Holanda, Colombia, Argentina, Ecuador, Marruecos, y Australia. Para la elección de cada AIS ha influido en gran medida la facilidad de acceso a las cartas desde las distintas web oficiales, ya que en muchos casos se requiere un registro autorizado e incluso la invocación de la tenencia en vigor de una licencia PPL de piloto privado.

Se realizaron distintas valoraciones y ensayos, desde la recopilación de documentos entre distintas series con el objetivo de crear diversos planes de vuelo y tratarlos de ejecutar en un simulador de vuelo, hasta diversos análisis entre cartas de una misma tipología pero editadas por distintas AIS. Las valoraciones de tipo cualitativo se gestionaron a través de una sencilla puntuación basada en escalas numéricas de tipo Likert (1 nada adecuado, 5 totalmente adecuado). La aplicación de estas escalas de valoración atendió al intento de recoger muy diversos factores, tales como el cumplimiento de la especificación de símbolos OACI recogida en el Anexo 4, los elementos dispuestos sobre la cartela de cada carta (tipo, forma, situación, predominancia, etc.), la existencia o no de leyenda, la adecuación del tamaño de los símbolos y textos del documento, el nivel densidad de la información en especial sobre grandes zonas aeroportuarias y la manera en la que era resuelto el problema de la saturación gráfica, entre otros. También se realizaron valoraciones acerca de la calidad de la edición y el diseño desde el punto de vista estético para cada una de las fuentes accedidas, así como una recopilación de símbolos que, aunque indicaran características recogidas en la especificación OACI, su forma simbológica se alejase en cierta medida de la indicada por el propio Anexo 4. La generación de planes de vuelo resultó un instrumento especialmente útil para observar la continuidad simbólica entre diferentes series, tipos y escalas. Así, se intentó valorar si resultaba fácil la transición de lectura entre unas series y otras, si los símbolos de iguales fenómenos en distintas escalas eran análogos o, por el contrario, variaba en algo tanto su forma como la aplicación del resto de las variables visuales habituales en el diseño cartográfico.

Aunque sería necesaria una mayor profundidad de análisis y una mayor rigurosidad en los instrumentos de evaluación, de este primer estudio se pueden extraer una serie de conclusiones. Por ejemplo, se ha comprobado que existe una significativa diferencia entre la producción de las AIP cuya edición final apenas difiere de la fase de compilación en CAD/GIS (España, Islandia, Italia, Ecuador, Marruecos) con respecto a aquellas AIP que, por el contrario, trabajan y cuidan más la edición final y el aspecto simbólico de sus series (Estados Unidos, Francia, Reino Unido, Holanda, Colombia). Tal y como muestra la figura 7, en la que se

comparan las ediciones francesa y española de una carta VAC de aproximación visual, además de ser mucho más adecuadas para facilitar una buena comunicabilidad cartográfica, las ediciones cuidadas en el aspecto del diseño cartográfico tienden a adecuarse mejor al problema de la elevada densidad de datos en determinadas áreas, gracias al correcto manejo de las variables visuales.

Otra de las circunstancias habituales que debe resolver el diseño cartográfico es lograr localizar rápidamente un mismo lugar, ruta o punto significativo de esta en dos series distintas (por ejemplo en las series de salida y ruta, o de descenso y aproximación). Al respecto se ha comprobado que cuanto más cuidado está el aspecto simbólico (grosores de líneas, rotulación, uso del color, etc.) mayor es la facilidad de transición visual entre documentos, aunque la diferencia de escalas entre estos sea acusada.

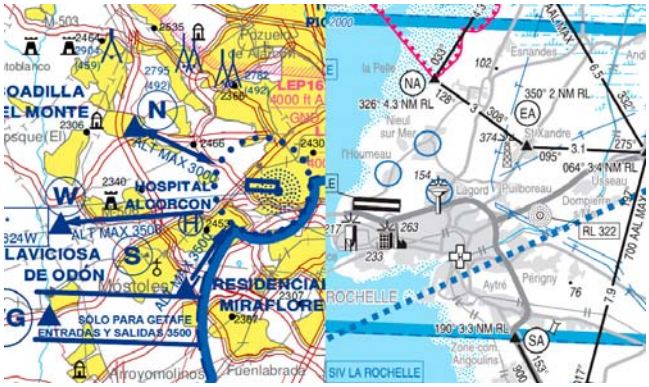

FIGURA 7. Comparativa entre la simbología de cartas VAC españolas (Cuatro Vientos) y francesas (La Rochelle)

También nos encontramos con países cuyas AIP tienden a usar un número de símbolos significativamente superiores a los indicados en el Anexo 4 y que, en el caso de los fenómenos que sí están recogidos en él, son codificados mediante símbolos cuyo diseño es distinto con respecto a lo indicado en la especificación OACI. Tal es el caso de las cartas de Estados Unidos, cuya especificación de simbología tanto para series VFR como IFR es completa y extensa, recogiendo una gran cantidad de símbolos no contemplados en el Anexo 4 (ver figura 8). Todo ello se traduce en unas cartas de gran calidad simbólica, con una adecuada integración de formas y objetos, y una excelente calidad en la rotulación, cuyo diseño además es homogéneo con el resto de los componentes gráficos que configuran la carta. Sin embargo, mientras que en el caso de las ediciones de países que mantienen un alto grado de concordancia con la especificación OACI (independientemente de su calidad de edición) la comprensión genérica de la simbología es relativamente sencilla, no ocurre así en el caso de las ediciones más alejadas de la norma.

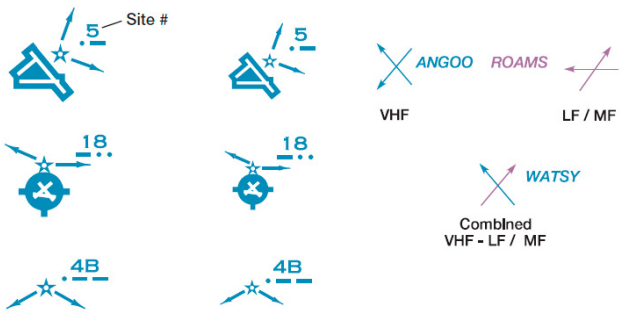

FIGURA 8. Algunos de los símbolos de cartas FAA/NACO no contemplados por OACI.

En resumen, y según el análisis realizado, las ediciones de cartas que se alejan de la especificación OACI actual en busca de una mayor calidad y cantidad simbológica resultan más comunicativas que las del resto, y además sus propiedades de calidad y velocidad de lectura son significativamente mejores. A ello hay que sumar que debido a ello tienden a resolver los problemas generales de diseño cartográfico señalados anteriormente (densidad de datos y transición entre series). Por el contrario, al alejarse de la norma y añadir una gran cantidad de símbolos particulares, la codificación simbólica es más difícil de recordar, no tanto por un mal diseño como por el elevado número total de símbolos y de categorizaciones puestas en juego; a nuestro parecer esto aumenta en gran medida la posibilidad de confusión o equivocación en la lectura, lo cual no deja de ser un riesgo en este tipo de entornos en los que la seguridad es un aspecto capital. En el caso de las cartas que más se ciñen a las recomendaciones OACI, en la mayoría de los casos analizados no es necesaria siquiera una leyenda simbológica a poco que se tenga costumbre en la lectura de cartas aeronáuticas.

4.3 Experiencias de simbolización y visualización dinámica

Con el objetivo de cerrar el círculo y atender también el ámbito de la cartografía en formato digital, se puso marcha un primer prototipo con un cliente ligero basado en la tecnología *web mapping*. El prototipo se nutre directamente de una réplica de los datos espaciales y anexos relacionados de la Publicación de Información Aeronáutica (AIP) oficial de España y proporcionada por Aena. El visor, configurado con MapServer como servidor de datos geográficos y *pMapper* como *framework* de desarrollo de funciones específicas, es capaz de representar en su primera y actual implementación las cartas aeronáuticas VFR 1/1:000.000, VFR 1/500.000 y los marcos o límites geográficos de las cartas de las series IAC, RNAV, SID, STAR y VAC. [SIA09], [FEN10]. El prototipo desarrollado permite a) representar la Información Geográfica Aeronáutica (IGA) derivada de la AIP española utilizando elementos gráficos

predefinidos, b) superponer visualmente distintas capas de información (básicas o temáticas) en diferentes formatos y de diferentes fuentes, así como c) permitir la reutilización de distintas rutinas de geo-procesamiento definidas en los SIG tales como el cambio de proyección geográfica, la edición de elementos espaciales (punto, línea, polígono) de forma remota, el cálculo de distancias y áreas, la consulta de atributos, entre otros [SIA09].

Con el fin de garantizar la interoperabilidad de los datos espaciales, todos los componentes del prototipo están basados en las principales especificaciones para el servicio de datos definidas por el OGC [ROD09]. En el desarrollo del prototipo, nuestra atención se ha puesto en la simbolización efectiva de las distintas capas de información y en las metodologías para una adecuada visualización dinámica. También se han respetado los criterios mínimos de usabilidad. El reto principal a superar viene derivado de la información extraordinariamente compleja y el gran número de capas que el visor es capaz de gestionar, el cual además cubre un amplísimo rango de escalas que van desde, aproximadamente, 1:75.000.000 a 1:5.000. Independientemente de la escala elegida dentro de este rango, todas las capas de información deben visualizarse correctamente, ya sean símbolos puntuales pictóricos, líneas vectoriales, o textos asociados. Por ello la normalización e implementación de una simbología concreta para todas las capas alojadas en el servidor es un largo proceso que debe basarse en numerosas pruebas con capas de características geométricas similares. Así, se han propuesto distintas familias de símbolos dependiendo de la escala de trabajo y de la información textual que deba ser representada. En las pruebas se ha tenido en cuenta los siguientes condicionantes de índole cartográfica y semiológica: la escala de trabajo, la cantidad de información más conveniente a representar, la disposición de la simbología en diferentes fondos (rellenos de color, ortofotos, etc.), el tamaño de texto asociado y la longitud de las etiquetas, y la interacción con otros símbolos (puntuales, lineales, superficiales, etc.).

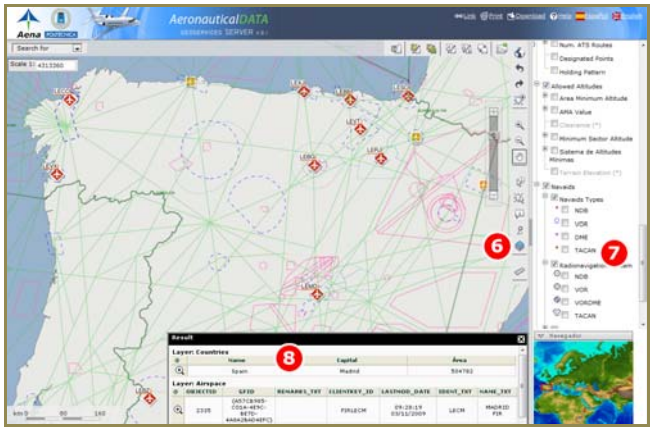

FIGURA 9. Cliente visor AENA-UPM

El control de escala de la visualización atiende a un número teórico de escalas ilimitado, por lo que se decidió definir internamente un número de niveles de escala finito y adecuado para simbolizar los objetos con respecto a ellos. En el caso de escalas pequeñas (1:75.000.000 a 1:10.000.000) fue necesario filtrar la visualización efectiva de elementos que portaban las capas para evitar la saturación visual. Este filtrado se realizó a través de una categorización cuantitativa y cualitativa. Así, para escalas pequeñas los aeropuertos se jerarquizaron según su número de movimientos anuales, mientras que en escalas más grandes (1:10.000.000 a 1:2.500.000) la categorización simbólica atendió a si recibían o no vuelos internacionales.

Es necesario destacar las dificultades encontradas para conseguir reproducir con el estándar *Style Layer Descriptor* de OGC el aspecto simbólico de las versiones de cartas VFR en papel de Aena, en especial en lo que se refiere a la simbolización de los contornos de los espacios aéreos y en las etiquetas textuales, no así en los símbolos puntuales. Este hecho nos llamó la atención de la problemática de toma de información al unísono a través de varios formatos de visualización, ya que como hemos podido demostrar la simbología que exhiben potencialmente es muy distinta entre sí. Para obtener una mejor valoración acerca de este aspecto se ejecutaron distintos planes de vuelo a través de un simulador de vuelo en el que se modelaba con enorme detalle las instalaciones aeroportuarias, el espacio aéreo controlado y la operativa de sistemas de vuelo de cualquier tipo de avión comercial que disponga o no de sistema EFIS. La experiencia de lectura simultánea en distintos formatos fue posible gracias a que simulador y visor interoperable pueden trabajar coordinadamente a través de un sistema multipantalla, por lo que se pudo valorar el flujo de información de lectura que acontece en un mismo vuelo desde tres fuentes distintas (visor interoperable, pantalla de navegación simulada y cartas en papel).

FIGURA 10. Simulación de aproximación a la pista 33R del aeropuerto de Barajas en un Airbus A320-200

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez completado el programa de transición de AIS a AIM, todas las AIP mundiales dispondrán de una fuente de datos coordinada y única, lo que implicaría que fenómenos que actualmente sólo están recogidos y simbolizados por algunos editores concretos serán accesibles por el resto gracias a la interoperabilidad entre las bases de datos nacionales. Esto facilitaría enormemente la convergencia hacia una especificación simbológica universal, al menos en las ediciones en papel. En el caso de los formatos digitales la dificultad estribaría en la enorme diversidad de modelos de pantallas (con distintos tamaños y resoluciones) y dispositivos portátiles existentes; sólo en el caso de los EFB certificados, la unicidad sería posible a corto plazo. En el caso de los *displays* de navegación, entendemos que en la práctica existe un marco de feroz competencia industrial entre los distintos fabricantes, los cuales difícilmente estarían dispuestos a ceder su independencia a la hora de diseñar la simbolización gráfica que puedan generar sus sistemas EFIS.

A la hora de acordar una especificación de símbolos única para cada fenómeno que pueda contemplarse es fundamental atender al criterio del estereotipo, es decir, las características clave que son necesarias para su reconocimiento, ya que los pilotos tienen estereotipos sobre qué formas de símbolos son representativas de un fenómeno concreto, sobre todo en el caso de los símbolos abstractos. Los convencionalismos culturales sería otro de los criterios a atender, el cual afecta no sólo a la forma de los símbolos pictóricos, sino también a la aplicación de estilos de línea, tonos de color, etc. Otro principio que no es atendido pero que consideramos importante es el de la estética del diseño cartográfico, ya que hemos podido comprobar que hay determinadas composiciones que hacen captar la atención del lector y decantarse por él. El aspecto sería el criterio fundamental que hace que una carta sea mejor considerada desde el punto de vista estético, pero también influye poderosamente la distribución de cada elemento en el espacio gráfico, su cantidad y su tamaño relativo, en especial cuando existe una alta densidad de información representada en la carta.

Las especificaciones tanto de OACI como del resto de organizaciones con capacidad normativa deberían ser mucho más flexibles, y su actualización constante en el tiempo. Proponemos que, al menos en parte, comiencen a estar relacionadas con los servicios y aplicaciones basadas en conceptos de interoperabilidad que comienzan a desarrollarse. Al igual que se indica una especificación para datos geográficos, puede contemplarse el darla también para otras temáticas que comienzan a asociarse a los datos estrictamente aeronáuticos: datos meteorológicos, datos temporales, etc. Incluso se podría llegar a realizar especificaciones simbológicas por el criterio de los servicios: servicio de gestión de rutas, servicio de vigilancia del espacio aéreo, servicio de gestión aeroportuaria, etc.

Como trabajo futuro, ahondaremos en la problemática de lectura simultánea en varias fuentes. Nada se indica en las normativas consultadas al respecto, y los resultados obtenidos en nuestro caso no han sido concluyentes, desconociendo hasta qué punto la combinación de distintas fuentes suma o resta en la comunicación cartográfica, bien aumentando o bien disminuyendo la velocidad y calidad de la comprensión, el nivel de confusión, etc.

REFERENCIAS

[AIR04] Airbus Industrie S.A.S., EFIS System: Airbus A320-200 Flight Manual. Rev. 01/03/2004. Toulouse, France, 2004.

[AIS10] División de Información Aeronáutica (AIS-España), Publicación de Información Aeronáutica (AIP). Dirección de Navegación Aérea. Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, Madrid, 2010, prólogo (GEN 0.1-1; 2007).

[BOS11] P. Bosman, Overview of OGC OWS-8 Results on Symbology. AIS-Aeronautical Information Management Study Group (AIS-AIMSG), AIS-AIMSG/5- SN/16, 2011, Montreal, Canadá.

[CHA07] DC. Chandra y M. Yeh, Pilot Identification of Symbols and an Exploration of Symbol Design Issues for Electronic Displays of Aeronautical Charting Information. John A. Volpe National Transportation Systems Center, DOT-VNTSC-FAA-07-07, Cambridge, MA, 2007.

[ESP02] Gobierno de España, Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea. M. d. l. Presidencia, Boletín Oficial del Estado, Madrid, 2002, 17: 696.

[EUR06] EUROCONTROL, From AIS to AIM: Strategic work plan for a global change. Report of the AIS international meeting. 2006. Pp.56

[EUR10] EUROCONTROL, Digital Notam Project (online). www.eurocontrol.int/aim/public/standard_page/xnotam.html. Accedido el 20 de Diciembre de 2010.

[FAA03] Federal Aviation Administration, Guidelines for the certification, airworthiness, and operational approval of Electronic Flight Bag computing devices. Advisory Circular, Washington D.C.,, pp-32.

[FEN10] J. Fenoll y J. Moya;. Aena's web map service and its integration with a metadata catalog. 33rd meeting of the EUROCONTROL AIT (AIT/33 IP8), 2010, Bruselas.

[FLI80] Flight International, Thomson-CSF presents A310 displays. Surrey, UK, IPC Transport Press Ltd., 1980, 3738: p. 2336-2337.

[FLI81] Flight International, TV in the all-digital cockpit. Surrey, UK, IPC Transport Press Ltd., 1981, 3770: p. 438-440.

[IPG09] Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Proyecto de Cooperación OACI/IPGH para la producción de cartas aeronáuticas electrónicas VFR. Reunión TF MAP 01, CART 2.1.1.1.10. 2009, Santiago, Chile.

[NOR01] G. Norris, Electronic flight bag set for first demonstration. Flight International, IPC Transport Press Ltd., Surrey, UK, 2002, 4799(160): p. 18.

[MOY08] J. Moya, MA. Bernabé y P. Puche, Estado del arte de la Información Geográfica para la navegación aérea: cartas aeronáuticas (no publicado). Grupo de Investigación Mercator (UPM), Madrid, 2008, 120 pp.

[MOY11] J. Moya y MA. Bernabé, Descubrir la cartografía aeronáutica. Madrid, Centro de Documentación y Publicaciones de Aena, Madrid, 2011, 120pp. ISBN: 978-84-92499-76-2

[OAC44] International Civil Aviation Organization (ICAO-OACI), Convention on International Civil Aviation, Doc 7300. Montreal, 1944.

[OAC92] Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO-OACI), Manual de cartas aeronáuticas + enmiendas 1 y 2, Doc 8697 - AN/889/2, Montreal, 1992, 402pp.

[OAC04] Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO-OACI); Anexo 15 del Convenio de Aviación Civil Internacional - Servicios de Información Aeronáutica. Duodécima edición, Montreal, Canadá, 2004, Pp. 3-1.

[OAC08-1] Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO-OACI), Validación de cartas aeronáuticas. Procedimiento con clave: GSAN-2-2-6-04, versión 01, 2008: 2-2.

[OAC08-2] International Civil Aviation Organization (ICAO-OACI), Human Factors Training Manual, Doc 9683 - AN/950, Montreal, 2008, ISBN: 978-92-91940905.

[OAC08-3] International Civil Aviation Organization (ICAO-OACI), AIS-AIMSG first meeting report, (AIS-AIMSG/1-SoD 8/12/08). Montreal, 2008.

[OAC09-1] Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO-OACI), Anexo 4 del Convenio de Aviación Civil Internacional - Cartas aeronáuticas. Décima edición. Montreal, Canadá, 2009.

[OAC09-2] International Civil Aviation Organization (ICAO-OACI). Roadmap for the Transition from AIS to AIM. First edition. Montreal, Quebec, Canada. 2009.

[ONT09] J. Ontiveros, Comunicaciones aeronáuticas para el futuro. Revista Itavia. Órgano de la Asociación y Colegio de Ingenieros Técnicos Aeronáuticos. Madrid, 2009, ISSN: 0213-1250

[ROD09] C. Rodriguez, W. Siabato y otros; Aeronautical Metadata Profile basedon Geographic International Standars. 8th Innovative Research Workshop & Exhibition – EUROCONTROL. 2009, Brétigny-sur-Orge, Francia.

[SAE97] Society of Automotive Engineers (SAE), Electronic Aeronautical Symbols (doc ARP 5289). Warrendale, PA, 1997.

[SIA09] W. Siabato, J. Moya y otros; Aeronautical Information Geoservices. 8th Innovative Research Workshop & Exhibition – EUROCONTROL. 2009, Brétigny-sur-Orge, Francia.

[SPI03] L. Spirkovska y S. K. Lodha, Audio-visual situational awareness for general aviation pilots. Visualization and Data Analysis, 2003, 5009: 193-202. ISSN: 0277-786X

[YEH05] Designing and Evaluating Symbols for Electronic Displays of Navigation Information: Symbol Stereotypes and Symbol-Feature Rules. U.S. Department of Transportation, John A. Volpe National Transportation Systems Center, Report DOT-VNTSC-FAA-05-16, Washington.

[YEH09] M. Yeh y DC. Chandra, Survey of Simbology for Aeronautical Charts and Electronic Displays. U.S. Department of Transportation, John A. Volpe National Transportation Systems Center, Report DOT/FAA/AR-07/66 2008, Washington.

Javier Moya: Es ingeniero en Geodesia y Cartografía e Ingeniero Técnico en Topografía por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Actualmente es CEO de Geoimagine, empresa *start-up* tecnológica de la UPM.Es premio Nacional San Isidoro y Francisco Coello respectivamente a proyectos fin de carrera en el ámbito de la cartografía y ciencias afines. También fue galardonado con el IX Möbius Barcelona Multimedia en la categoría de mejor aplicación científica multimedia en España y Portugal en 2004. Ha impartido diversos cursos en entidades y universidades españolas e iberoamericanas en el campo del diseño cartográfico y la geoinformación para la Navegación Aérea.En el ámbito científico centra su interés en la mejora de la comunicabilidad gráfica de la información aeronáutica, siendo miembro en activo del Grupo de Investigación Mercator (UPM) y de la Sociedad Española de Cartografía, Fotogrametría y Teledetección (SECFyT). Es autor de "Descubrir la cartografía aérea", libro editado por AENA en 2011.

Miguel Ángel Bernabé: Ingeniero Es Doctor en Ciencias de la Educación por la UNED, Licenciado de Bellas Artes por la Universidad de la Laguna e Ingeniero Técnico en Topografía por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Imparte desde hace más de dos décadas asignaturas relacionadas con la semiología gráfica y el diseño cartográfico, siendo actualmente Catedrático de Escuela Universitaria en la UPM. Conferencista y autor de numerosas publicaciones científicas, ha participado en más de 20 proyectos de financiación pública competitiva nacionales e internacionales, relacionados con las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), visualización de la información geográfica, cartotecas virtuales, cartografía aérea y representación del tiempo cronológico. Es Director del Grupo de Investigación Mercator (UPM) y Presidente de la Red de Laboratorios de Información Geográfica (LatinGEO), iniciativa que pretende potenciar el conocimiento tecnológico en el ámbito de la información geográfica en iberoamérica.

Willington Siabato: Asistente del Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid y Asistente de Investigación del Centro Geo I+D, con el grupo de Investigación Mercator. Su área de investigación incluye el análisis espacial, razonamiento temporal y espacio-temporal, componentes temporales en SIG, geosemántica, y GIR. En la actualidad, sus investigaciones se centran en la integración de los componentes semántico y temporal en la información geográfica, el desarrollo de cartotecas virtuales, y en el desarrollo de geoservicios aeronáuticos basados en estándares del OGC. Obtuvo su grado como Ingeniero Catastral y Geodesta en la Universidad Distrital, se especializó como Técnico en Informática y realizó sus estudios de Maestría en la Universidad Pontificia de Salamanca, en donde obtuvo el título de Máster en Sistemas de Información Geográfica. Actualmente, está finalizando su tesis doctoral que versa sobre la integración de los componentes semántico y temporal en la IG, trabajo que desarrolla en conjunto con la Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico.