

Factores humanos y CRM*

La muerte de un mito o el resurgimiento del Fénix

*Nota de RAA:V. RAA
núm. 815, Julio-Agosto 2012

FRANCISCO JAVIER MENDI POMPA
Comandante de Aviación

AL TIEMPO QUE EL ACTUAL DESARROLLO TECNOLÓGICO NOS HA PROPORCIONADO AERONAVES CADA VEZ MÁS FIABLES, LA COMPRENSIÓN DE LA IMPLICACIÓN DEL FACTOR HUMANO EN LOS ACCIDENTES E INCIDENTES DE AVIACIÓN HA IDO ADQUIRIENDO UN PAPEL MÁS RELEVANTE. SON MUCHOS LOS MODELOS TEÓRICOS QUE PRETENDEN EXPLICAR LO ANTERIOR Y NO EN POCAS OCASIONES HAN DADO LUGAR A PROGRAMAS DE PREVENCIÓN Y DE ANÁLISIS DE ACCIDENTES APARENTEMENTE ÚTILES. EN REALIDAD MUCHOS DE ELLOS NO SON MÁS QUE APROXIMACIONES SUPERFICIALES AL PROBLEMA EN SÍ, SIN LLEGAR A CLARIFICAR LA VERDADERA IMPLICACIÓN DEL FACTOR HUMANO EN DICHS ACCIDENTES¹.

Aun cuando las cifras relacionadas con la siniestralidad tanto en la aviación civil como militar son de hecho excelentes, es cierto que los progresos relacionados con la seguridad de vuelo en las últimas décadas se han ralentizado; incluso algunos afirman que una disminución de los índices actuales de siniestralidad es improbable, cuando no imposible. Hemos llegado a un punto en el que los accidentes aparecen como “los costes asociados al negocio”, y no son pocos los que afirman que la estadística permanecerá más o menos constante en el futuro.



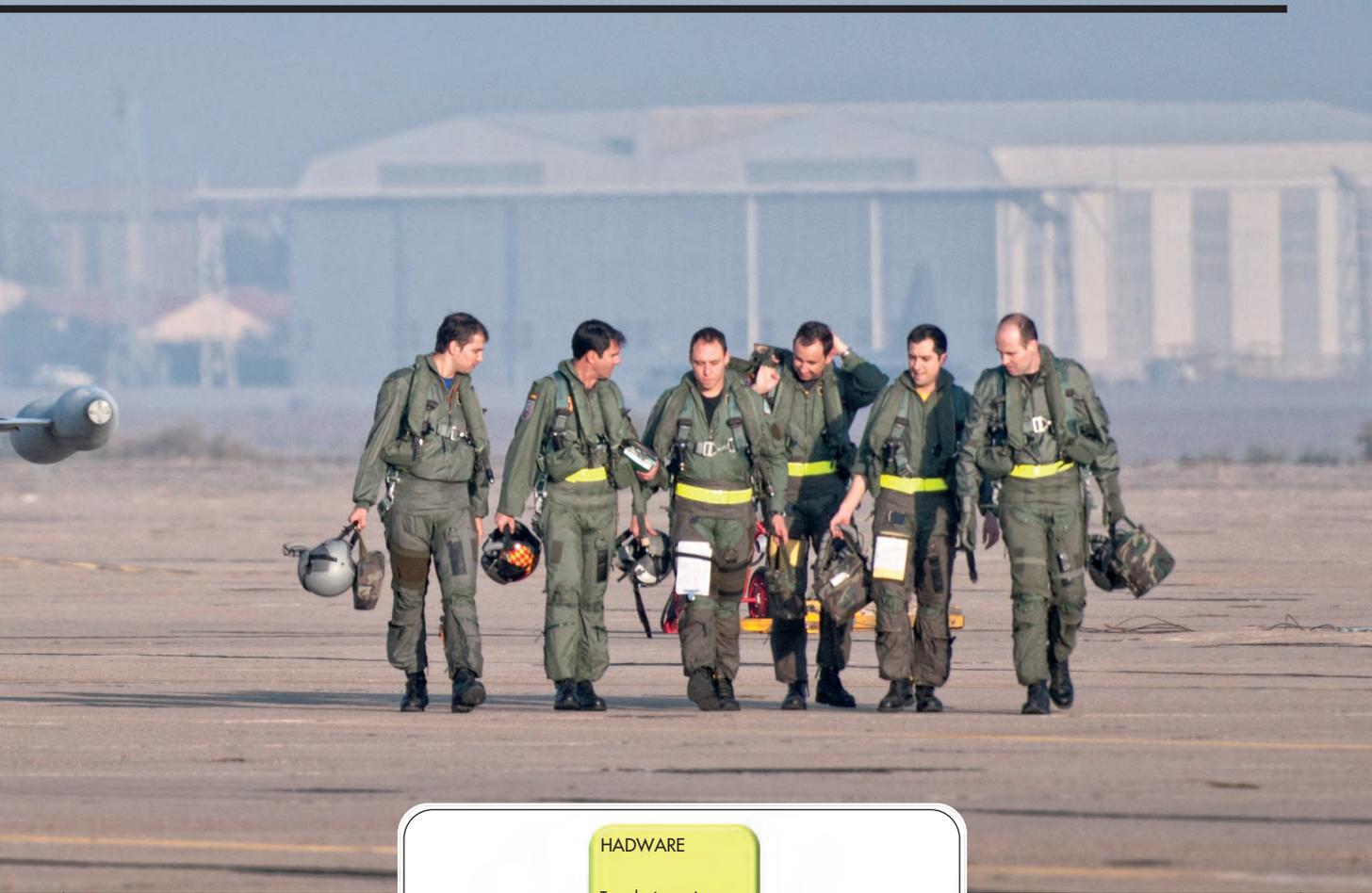
Javier Sáenz de Cabezano Gallegos

Aceptar lo anterior significaría asumir sus consecuencias, y si efectivamente hubiéramos llegado a un límite real sólo podríamos optar entonces entre dos caminos bien distintos: o bien reducir el número de vuelos buscando reducir el número total de accidentes, o aceptar convivir con el accidente como consecuencia inevitable de una actividad “tradicionalmente de riesgo”.

Sin embargo no hemos llegado a dicho límite. Es cierto que existen alternativas que permiten mejorar los resultados actuales, aunque también es cierto que toda mejora pasa por el fortalecimiento del eslabón más débil y a la vez flexible de la cadena de errores presente en todo accidente: El Factor Humano.

EVOLUCIÓN DEL CRM COMO FILOSOFÍA

La conferencia “Resource Management on the Flight Deck²” patrocinada por la NASA (National Aeronautics



and Space Administration) significó el origen del CRM hace ya más de tres décadas. En ella se presentaron los estudios longitudinales llevados a cabo por prestigiosas instituciones con el objetivo de analizar el papel jugado por los Factores Humanos en los incidentes y accidentes de aviación, además de la coordinación llevada a cabo por las tripulaciones de vuelo en los mismos. El resultado de estos estudios puso de manifiesto que la mayoría de los accidentes tenía características comunes; no estaban relacionados con las habilidades técnicas de los pilotos sino con el fruto del trabajo en equipo. El CRM surgió entonces con la intención de establecer barreras efectivas frente al error.

Hoy en día los Programas y Planes de Seguridad son preventivos por definición y han sido construidos sobre la siguiente premisa: “El error está y es-

tará entre nosotros”. Si aceptamos lo anterior, entonces es fundamental aprender a gestionar el error, detectándolo con la suficiente antelación, disminuyendo su incidencia y mitigando sus consecuencias. Si además queremos desarrollar estrategias capaces de reducir el Error Humano deberemos mirar más allá del mismo error buscando los verdaderos Factores Contri-

buyentes que han llevado a las tripulaciones a cometerlos, fallar en su detección o permitir consecuencias inaceptables para la seguridad³.

Desde aquellas primeras estrategias basadas en el obsoleto modelo SHEL de Edwards⁴, (*Software-Hardware-Environment-Liveware*) han sido muchas las aproximaciones al error realizadas por los expertos. Aquel modelo de Edwards fue reemplazado por el SHELL de Hawkins, quien añadió una nueva L con el fin

de destacar la importancia de la interacción *Liveware-Liveware* (elemento humano). Hoy en día y en su última versión no se entiende este modelo sin integrarlo con la cultura organizacional, destacando la importancia del contexto en el que el resto de los factores interactúan entre sí^{5,6}. Sin embargo no podemos olvidar que fue el modelo planteado por Hawkins el que supuso un

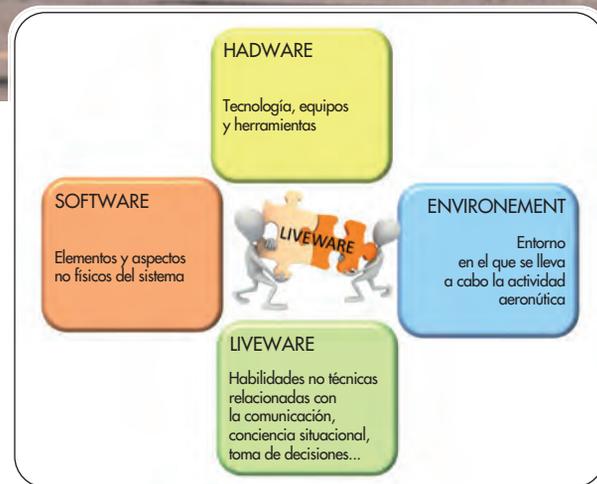


Figura 1. El Modelo SCHELL mantiene la importancia de la relación L-L y sitúa el componente humano en el centro de la actividad aeronáutica.

verdadero punto de inflexión. El Factor Humano se convirtió entonces en el núcleo central de la actividad aeronáutica y su relación con los otros factores se dejaba entrever más importante que cada uno de ellos por separado.

Fue entonces cuando se consideró fundamental la incorporación del concepto CTM o Gestión Cabina (*Cockpit Task Management*) como medida preventiva en los planes de seguridad. La Gestión Cabina implicaba una priorización en la gestión de todos los recursos disponibles, destacando en primer lugar el control de la aeronave seguido por la navegación, las comunicaciones tanto internas como externas, y finalmente la adecuada gestión de sistemas y equipos de vuelo⁷. Posteriormente Jensen definió el CRM en términos relacionados con el proceso de Toma de Decisiones: “La aplicación del buen juicio de una tripulación en aviación⁸”, incluyendo la dimensión social y enfatizando la comunicación interpersonal. Helmreich y Foushee desarrollaron un modelo basado en las habilidades grupales y personales, incluyendo conceptos relacionados no solo con la interacción hombre-máquina y la generación y posterior mantenimiento de un adecuada Conciencia Situacional, sino otras actividades y habilidades interpersonales como el liderazgo, la creación y gestión de equipos, la resolución de problemas, y la toma de decisiones⁹.

VALIDEZ Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Tras la implantación de los primeros modelos formativos CRM, no fueron pocos los que aprovecharon la persistencia del *Error Humano* en los accidentes de aviación para cuestionar la efectividad de los mismos. Por un lado, quienes pretendieron resultados inmediatos y, por otro, quienes entendieron esta disciplina como incompatible con los planes de seguridad de aquella época, bien por su carácter inmovilista

y anclado al pasado, bien por la desconfianza derivada de la falta inicial de estudios longitudinales tras su implantación. Sea como fuere, se equivocaron.

Una década después de la implantación de los primeros entrenamientos CRM, los revolucionarios estudios realizados por el profesor James Reason sobre el Error supusieron la vuelta a los orígenes del CRM, reto-

«Hay alternativas para mejorar los resultados sobre accidentes, aunque la mejora pasa por el fortalecimiento del eslabón más débil y flexible de la cadena de errores: el factor humano»

ciones se reflejaba en su actividad a bordo de la aeronave. La colaboración entre el *Human Factors Research Project* de la Universidad de Texas y la compañía Delta Airlines dio lugar en 1994 a estas auditorías basadas en la ob-

servación directa en la cabina de vuelo. “Simplemente se trataba de analizar el estado de salud de una aerolínea; medir su colesterol¹⁰”. Los frutos de

la aplicación de LOSA a más de diez mil pilotos de diferentes compañías se convirtieron en la base sobre la que el equipo de Robert Helmreich definió las bases del TEM. Sobre la premisa de la omnipresencia del error, los esfuerzos de los gestores y profesionales debían ser dirigidos hacia la mitigación de sus efectos¹¹.

A pesar de que los datos obtenidos estaban sometidos a la más estricta confidencialidad, algunos trascendieron con la intención de reflejar la efectividad del TEM¹². Increíble parece que en el 64% de las operaciones aéreas auditadas se observaran errores; pero sin duda más increíble resulta que la aplicación de la estrategia TEM diseñada por Helmreich para Continental Airlines redujera en un 70% los errores observados durante las siguientes auditorías LOSA.

Si bien es cierto que no existe otra prueba más concluyente de la efectividad del entrenamiento CRM, el interés por contar con sistemas de evaluación ha sido y sigue siendo una de las necesidades o requerimientos establecidos por aquellas compañías u organismos que apuestan por esta disciplina; en tanto en cuanto se pretende de alguna forma medir su efectividad a corto plazo. Conscientes de la dificultad, este ha sido el caballo de batalla desde la implantación de los primeros programas por United Airlines, aunque



José Miguel del Pozo Sierra

mando un concepto desvirtuado en cierta manera en la década de los noventa: La “infallibilidad” del ser humano y su predisposición al error. Partiendo de esta premisa nació el TEM (*Threat Error Management*), que supuso la última evolución de este tipo de formación y es conocida como la Quinta Generación CRM.

El TEM está vinculado con la aparición del LOSA (*Line Operations Safety Audits*) y el interés de las compañías aéreas en conocer el grado en que la instrucción recibida por las tripula-



Javier Barrio Benavente

cualquier evaluación únicamente tendrá sentido cuando su requerimiento coincida con la necesidad de contar con una sólida base sobre la que mejorar el propio entrenamiento¹³. No obstante, no se debe despreciar el hecho de que quien no confía en el CRM no se interesará por esta disciplina, a menos que disponga de datos convincentes sobre su aplicación.

Siguiendo el modelo de Kirkpatrick¹⁴ para el estudio y validación de los procesos formativos, y con la intención de evaluar la efectividad de este tipo de entrenamiento, un equipo compuesto por investigadores de la Universidad Central de Florida y el Army Research Institute de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos, revisaron el resultado de veintiocho informes relacionados con Formación CRM para determinar la efectividad de la misma en campos tan dispares como la aviación, la medicina, la producción en plataformas petrolíferas, o el mantenimiento y la seguridad de las centrales nucleares¹⁵.



Daniel Fernández de Bobadilla Lorenzo

Dicho estudio confirmó la validez del CRM, aunque destacó la escasez de estudios longitudinales al respecto.

POR QUÉ CRM

Es común encontrar en los medios de comunicación referencias al Error Humano tras los accidentes de aviación; tanto en los especializados como en aquellos que buscando rédito llenan páginas y más páginas de información,

en muchos casos no contrastada. El problema es que dichas referencias son confusas. El error está y estará entre nosotros; pero “Errare humanum est, perseverare diabolicum”. El problema entonces no es sino nuestra incapacidad para gestionar el error adecuadamente. Del estudio de los accidentes se deduce una implicación del Factor Humano en no menos del 80% de los mismos; y esto nos obliga sin lugar a dudas a tener que focalizar nuestro interés en dicho Factor.

Fallamos en la gestión de los errores, y por tanto de los riesgos. El objetivo último de la Formación CRM es mejorar la Seguridad Operacional a través de la adecuada Gestión del Error¹⁶, no la justificación inmediata de resultados. Nos encontramos por un lado con unos riesgos a los que las tripulaciones se deben enfrentar, por lo que la adecuada Gestión de Riesgos entendida como el proceso de análisis, identificación y evaluación del nivel de

riesgo asociado a las posibles líneas de acción que se contemplan en el planeamiento y ejecución de las operaciones y acciones aéreas, para lograr el cumplimiento de la misión con un nivel de riesgo conocido y asumido¹⁷, es clave.

La detección temprana y adecuada del error no solo disminuirá su incidencia, sino que mitigará sus consecuencias. CRM/TEM y Seguridad de Vuelo son los pilares de la excelencia en aviación. Tienen que, y deben ir de la mano bajo el paraguas de una sólida Cultura Justa de Seguridad; concepto en el cual se integran todos los demás elementos sin cuya participación no sería posible lograr ningún objetivo en materia de prevención dada la falta de implicación entre todas las partes¹⁸. Una sólida Cultura de Seguridad es consecuencia de una Cultura Positiva de Mejora Continua.

Son dos los motivos por los que debemos confiar en el CRM como herramienta capaz de reducir el índice de accidentes actual. En primer lugar porque en más del 80% de los accidentes de aviación el Factor Causal Principal está relacionado con el Factor Humano. En segundo lugar porque el piloto al mando sigue siendo el único “sistema” del avión que no se encuentra duplicado, y este hecho genera la necesidad de contar con medios capaces de evitar las consecuencias del Error Humano ofreciendo los recursos defensivos para evitar que un error se transforme en catástrofe¹⁹.

DEFICIENCIAS ACTUALES

Dentro de los diferentes enfoques respecto del Error Humano, el más utilizado en aviación es el propuesto por James Reason y conocido como el Modelo del Queso Suizo²⁰ (figura 2). En él se describen cuatro niveles relacionados con el Error, donde cada uno repercute directamente en el siguiente. Alejándonos cronológicamente desde el momento del accidente, el primer nivel contiene los Fallos Activos, los Errores de la Tripulación. Es en este nivel donde hasta hoy hemos centrado nuestras investigacio-

«Hoy los Programas y Planes de Seguridad son preventivos y han sido contruidos sobre la premisa de que: “El error está y estará entre nosotros”. Si aceptamos esto, es fundamental aprender a gestionar el error»

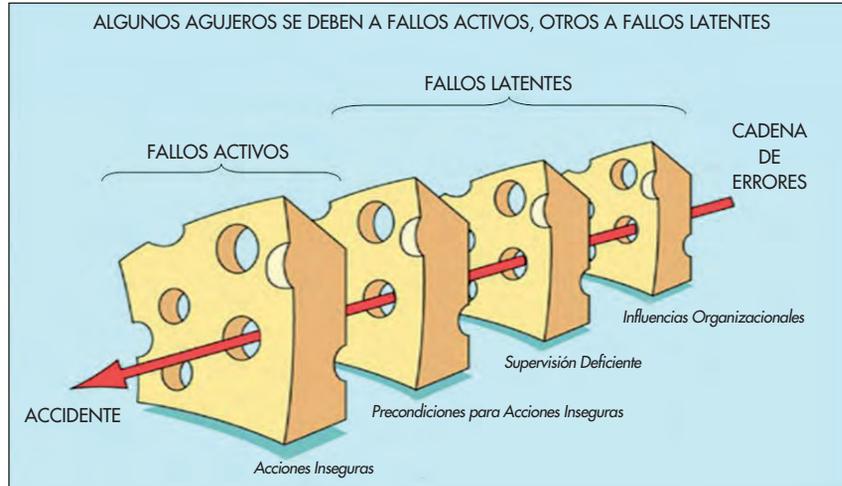


Figura 2. Origen del error de acuerdo al Modelo del Queso Suizo de James Reason, 1990.



Néstor de la Orden Bueno

nes y consecuentemente donde mayor número de Factores Causales se han descubierto. Pero es cierto que no son los únicos, ni siquiera los más graves.

Una de las fortalezas del modelo es que teóricamente permite a los investigadores enlazar los Factores Causales deducidos en el primer nivel con los otros tres restantes, siguiendo la Cadena Causal o Cadena de Errores presente en todo accidente. De esta manera podrían teóricamente conocerse los Fallos Latentes que contribuyeron a los accidentes y que no fueron detectados con antelación en todos y cada uno de los niveles de decisión. Su debilidad es la imposibilidad de definir con antelación y pre-

cisión cuáles son estos Fallos Latentes.

En otras palabras, el Modelo “Reason” nunca define cuales son los “agujeros del queso”, al menos en el contexto de nuestra operación diaria. Sin embargo, si nuestra intención es reducir el nivel de accidentes futuros, los investigadores y analistas deben disponer de una herramienta capaz de definir los errores o agujeros de las barreras durante la investigación de accidentes; definirlos y corregirlos incluso antes de que se produzcan²¹.

Muchos de los Sistemas de Gestión de Seguridad actuales se apoyan sobre las bases de la aviación de hace más de cincuenta años, cuando la máquina constituía el eslabón más débil de la cadena de errores presente en los accidentes. Debemos profundizar en los Factores Humanos durante el proceso de investigación de los acci-

dentes e incidentes de aviación, definir un marco capaz de soportar nuevos métodos de análisis con el fin de implementar y realizar el seguimiento de nuevas estrategias de actuación en beneficio de la Seguridad²².

Antes de continuar es necesario destacar que el segundo nivel del Modelo Reason²³ está relacionado con ciertas condiciones, como la fatiga mental, el deterioro de las capacidades comunicativas o la coordinación entre los tripulantes. Son las habilidades que potencia el CRM. Fortalecer esta barrera implica aceptar el CRM como factor clave dentro de la Seguridad de Vuelo por un lado, y la definición de estrategias efectivas frente al error por otro. Cada agujero de la barrera que permanece abierto nos expone a cometer los mismos errores una y otra vez.

TAXONOMÍA DE FACTORES HUMANOS

Comparto la afirmación sobre la imposibilidad de hacer una reseña de los principales problemas de la seguridad aérea o de aceptar las teorías

más comunes sobre porqué ocurren los accidentes, en un único artículo²⁴; sin embargo creo que sí es posible afirmar que el ser humano es la parte más valiosa del sistema y la más vulnerable a toda clase de influencias, tanto internas como externas. Es por esto que la comprensión de la relación entre error y factor humano es fundamental. No hay duda de que el disponer de un estudio taxonómico²⁵ de los Factores Humanos mejora significativamente el valor de la información puesta a disposición de los expertos y facilita la tarea de los investigadores en beneficio de la seguridad.

Dentro de las últimas herramientas aportadas por los expertos, quizá sea, desde mi punto de vista, el HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) la que se está erigiendo como clave en este giro operacional. Una herramienta capaz de analizar y clasificar los incidentes y accidentes de aviación relacionados con el Factor Humano. Basado en el Modelo Reason, permite la taxonomía completa del error en todos los niveles del Sistema Aeronáutico. Algo imposible de realizar hasta nuestros días y que abre las puertas a la calidad y excelencia en la definición de estrategias efectivas de prevención. El HFACS fue inicialmente desarrollado y utilizado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos como respuesta a la incapacidad de determinar la implicación del Factor Humano mediante la utilización de métodos de análisis tradicionales en la investigación de accidentes. Es más, la utilización de estos métodos de análisis ofrecía poca o ninguna



José Miguel del Pozo Sierra



Néstor de la Orden Bueno

base para los investigadores, y era de ninguna utilidad en la definición de programas preventivos para los usuarios y operadores²⁶.

Como consecuencia de lo anterior, el secretario de Defensa de los Estados Unidos publicó un memorándum, el 19 de mayo de 2003, en el que afirmaba que las "Grandes organizaciones no debían tolerar ningún accidente previsible²⁷. Había que tomar cartas en el asunto; había que reidentificar y confirmar de nuevo el porqué de los accidentes con la intención de desarrollar estrategias efectivas para reducir la incidencia de los mismos en un 50% en los dos años posteriores a su implantación. Para lo-

«Muchos de los Sistemas de Gestión de Seguridad actuales se apoyan sobre las bases de la aviación de hace más de 50 años cuando la máquina constituía el eslabón más débil de la cadena de errores»

grar este reto se creó ese mismo año un Grupo de Trabajo Conjunto, el HFWG (Human Factors Working Group), dependiente del JSSC (Joint Services Safety Chiefs) quien, de forma conjunta con la ASITF (Aviation Safety Improvements Task Force), fue el encargado de diseñar un sistema de clasificación de los incidentes y accidentes relacionados con el Factor Humano. Este sistema, el HFACS, permitió realizar análisis comparativos de accidentes mediante los informes realizados por los diferentes servicios de las Fuerzas Armadas. De esta forma, los diferentes aspectos relacionados con el Factor Humano que se descubrieron en los análisis, se distribuyeron en un mapa para establecer sus relaciones con los módulos de formación CRM recogidos en sus programas de instrucción.

La importancia de las investigaciones realizadas en el ámbito civil²⁸ y militar²⁹ aplicando el HFACS radica en el sorprendentemente similar resultado obtenido; resultado tan sumamente importante que ya hay quien habla de la Sexta Generación de CRM, basándose en el efecto sinérgico de la aplicación de sistemas como el HFACS, tanto sobre bases de datos individualizadas como colectivas. Todo apunta a que su aplicación permitirá la creación de estrategias efectivas de prevención basadas en el modelo Reason³⁰.

CONCLUSIONES

Los programas formativos CRM nacieron con la intención de reducir el error del piloto, y tras más de tres décadas de aplicación todavía existe confusión sobre las verdaderas implicaciones de esta disciplina, bien porque el objetivo inicial se ha difuminado por el intrusismo y la falta de profesionalidad en su aplicación, bien por la imperiosa

necesidad de medir su efectividad a corto plazo. Unos creen que es una más de las disciplinas que se agrupan bajo la farándula del *management*, mientras que otros lo consideraban la panacea que corregirá todas y cada una de las deficiencias

actuales del sistema aeronáutico, previniendo el cien por cien de los accidentes. Como casi siempre, la virtud se encuentra en el término medio.

Son muchos quienes confunden CRM/TEM con estrategias de instrucción dirigidas a mejorar el trabajo en equipo de las tripulaciones. Si bien el trabajo en equipo es importante, no es el objetivo del CRM. CRM incluye un amplio abanico de conocimientos, habilidades y actitudes relacionadas con la comunicación, la conciencia situacional, la resolución de problemas o la toma de decisiones. CRM puede ser definido como la gestión óptima de todos los recursos de cabina, equipos, procedimientos y personal relacionado con las operaciones con el fin de mejorar la Seguridad Operacional y la eficiencia de las operaciones aéreas.

Son muchas las voces que promulgan que nos encontramos ante una oportunidad de cambio, y que afirman que el cambio no sólo es necesario sino que ya ha comenzado. Son quienes consideran al año 2003 como el punto de inflexión en cuanto a Seguridad se refiere. No solo por la aparición de la herramienta HFACS, sino por la creación de EASA (*European Aviation Safety Agency*), que nació con la firme intención de alcanzar los estándares más altos de Seguridad en este lado del Atlántico. Desde entonces, representantes de la industria aeronáutica y más de ciento cincuenta operadores y orga-



nismos civiles y militares, disponen de una estrategia común de seguridad que pretende reducir la siniestralidad actual en hasta un 80% durante el ciclo 2006-2016, basada en iniciativas y productos ya existentes. Las recomendaciones e intervenciones derivadas de esta estrategia serán, en parte, consecuencia del re-estudio mediante HFACS de las Bases de Datos de accidentes ya analizados previamente, siguiendo métodos tradicionales. Sin embargo, y a pesar de suponer un claro avance, muchas cuestiones están aun sin resolver. "Parece clara la concienciación general sobre el qué debemos



hacer; sin embargo no parece tan claro el cómo³¹". Por otro lado, y aunque la Seguridad es un objetivo común y compartido, las necesidades individuales de cada operador y tipo de operación son diferentes; todavía más cuando nos referimos a la aviación militar. Simplemente el café con leche no vale para todos, aunque nos guste.

No hay accidentes nuevos, sino la repetición de viejos accidentes en los que se ven envueltas nuevas tripulaciones. Es por esto que la re-investigación de los accidentes es importante, pero mucho más lo es la correcta investigación de los incidentes a través del pris-



ma del Factor Humano. Un incidente siempre es un accidente evitado, conscientemente o no, pero evitado. De acuerdo con esta filosofía deberíamos apostar por iniciativas novedosas, sostenidas y sostenibles basadas en nuevas herramientas, y permitiendo y fomentando la investigación como único camino válido hacia la excelencia en aviación. Como se expuso al comienzo del presente artículo, debemos ser capaces de gestionar el error, detectándolo con la suficiente antelación, disminuyendo su incidencia y mitigando sus consecuencias; y no hay duda que las habilidades que

Javier Sáenz de Cabezano Gallegos

Ismael Abeytúa Vega

potencia el CRM juegan un papel fundamental en todo lo anterior.

De esta forma los programas CRM deben estar cimentados sobre Bases de Datos, resultado de la aplicación de taxonomías específicas de Factores Humanos durante el estudio de los incidentes y accidentes de aviación. La combinación de este tipo de Bases de Datos con programas formativos ad-hoc desarrollados para satisfacer las necesidades específicas de cada Unidad, misión, tipo de operación, aeronave e incluso tripulación



Miguel Ángel López Cabezas



Néstor de la Orden Bueno



José Miguel del Pozo Sierra

permitirá implementar estrategias efectivas frente al error³². Si además somos capaces de adoptar Ciclos Cerrados de Diseño de Sistemas de Instrucción (ISD): bases de datos-planes de instrucción - evaluación de competencias - bases de datos, entonces nuestros Sistemas de Gestión de Seguridad serán capaces de retroalimentarse y actualizarse per se, al formar parte de procesos de mejora continua. De acuerdo con este modelo, son los expertos en Factores Humanos los que deberían definir los re-

quisitos formativos de los programas CRM y colaborar activamente en la identificación de los fallos latentes existentes en cada nivel de decisión de los actuales Sistemas de Gestión de Seguridad.

No es tarea fácil, pero parece que está más cercano el día en que aquellos que apuestan por la seguridad y la excelencia como camino del éxito podrán gritar: ¡El CRM ha muerto, Viva el CRM! ■

«Debemos ser capaces de gestionar el error, detectándolo con antelación, disminuyendo su incidencia y mitigando sus consecuencias; y no hay duda de que las capacidades del CRM juegan un papel fundamental»

¹¹La forma más común de realizar hoy en día evaluaciones operativas se basa en la sinergia del producto obtenido de la unión de estas LOSA's con las encuestas confidenciales del tipo Questionnaires (FMAQ). Dichos cuestionarios además de diferentes informes técnicos se pueden

estudiar en la web de Austin Human Factors Research de la Universidad de Texas. www.psy.utexas.edu/psy/helmreich/nasaut.htm
¹²HELMREICH R. L., *On Error Management: Lessons from aviation*, BMJ, 2000; HELM-

el Ser Humano". Revista de Aeronáutica y Astronáutica, p 1068-1073, Diciembre 2010.

¹⁹LEYMANN PATT Hugo Oscar, CRM, Una Filosofía Operacional, Sociedad Iberoamericana de Psicología Aeronáutica, 1997, p. 35.

²⁰REASON James, *Human Error*, Cambridge England: Cambridge University Press, New York 1990.

²¹SHAPELL S.A., *The Human Factor Analysis and Classification System HFACS*, FAA Civil Aeromedical Institute, p.2, 2000.

²²WIEGMANN D.A. & SHAPELL S.A., *A Human Approach to Aviation Accident Analysis, the HFACS System*, Aldershot Ashgate, Reino Unido, p.19, 2003.

²³REASON James, *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Aldershot Ashgate, Reino Unido, 2003.

²⁴SOSA R., "La Seguridad Aérea en los últimos 40 años", CRM y FFHH en Aviación, Mayo 2010, <http://crmyffhh-en-la-aviacion.blogspot.com/>.

²⁵La taxonomía (del griego τὰξις, taxis, "ordenamiento"), y νόμος, nomos, "norma" o "regla") es la ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación.

²⁶WIEGMANN D.A. & SHAPELL S.A., "Human error analysis of commercial aviation accidents: Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)", *Aviation, Space, and Environmental Medicine* n° 72, p.1006-1016, 2001.

²⁷DoD HFACS Department of Defense Human Factors Analysis and Classification System, "A mishap investigation and data analysis tool".

²⁸WILHEM J.A., HELMEREICH R., KINNECT, J.R., & MERRITT, A.C. *Culture, Error, and Crew Resource Management*, SALAS E., BOWERS C.A., & EDENS E. (Eds.), Hillsdale, New Jersey, 2001 // WILHEM J.A., HELMEREICH, R.L. & MERRITT, A.C. "The evolution of crew resource management

training". *The International Journal of Aviation Psychology*, p.19-32,1999.

²⁹NULLMEYER D. & MONTIJO G.A., "Human Factors in Air Force Flight Mishaps: Implications for Change", *Interservice / Industry Training, Simulation and Education Conference (IITSEC)*, 2005.

³⁰VON THADEN Terry L. & STEELMAN Kelly S. "Classifying Crew Performance Failures in Commercial Accidents: Can we Get the Numbers Right?", Human Factors Division University of Illinois at Urbana-Champaign, IL , p.1-3, 2005.

³¹ESSI-EHEST Conference, Cascais, Portugal, 13 de octubre de 2008

³²Detwiler, C., Hackworth, C., Holcomb, K., Boquet, A., Pfeleiderer, E., Wiegmann, D. & Shappell, S. (2006). Beneath the tip of the iceberg: A human factors analysis of general aviation accidents in Alaska versus the rest of the United States (Report Number DOT/FAA/AM-06/7). Washington DC: Office of Aerospace Medicine.

¹WIEGMANN, D.A., & S.A., SHAPPELL., *A human Error Approach to Aviation Accident Analysis*, Burlington, Ashgate, p.xii 2003.

²COOPER, G. E., WHITE, M. D., and LAUBER, J. K., "Resource Management on the Flightdeck", *Proceedings of a NASA / Industry Workshop (NASA CP-2120)*. Moffett Field, CA: NASA-Ames Research Center, 1980.

³BAE SYSTEMS, BOEING COMPANY, "Human Factors-Harmonization Working Group, Final Report", *Considerations in the Flight Deck Certification Process*, FAA, EASA, junio 2004.

⁴EDWARDS, E., "Man and machine: Systems for safety", *In Proc. of British Airline Pilots Associations Technical Symposium*, p.21-36, 1972

⁵HACKMAN, J. R., *New Directions in Crew-Oriented Flight Training*, ICAO Circular 229-AN/137. Human Factors Digest No: 4. Proceeding of the ICAO Human Factors Seminar, Leningrad, April 1990.

⁶JOHNSTON, N., CRM-Cross Culture Perspective & WEINER, E. KANKI, B. & HELMREICH, R. (Eds). *Cockpit Resource Management*. San Diego: Academic Press

⁷ABBOTT, T. S., & ROGERS, W. H., "Functional Categories for Human-centered Flight Deck Design", *Proceedings of the 12th Digital Avionics Systems Conference*. New York: AIAA/IEEE.

⁸JENSEN, R., *Pilot Judgement and Crew Resource Management*, Burlington, Ashgate, p.97,1995.

⁹HELMREICH R & FOUSHEE H. C., *Why Crew Resource Management? Empirical and Theoretical Bases of Human Factors Training in Aviation*, E. Wiener, N.Kanki, & R. Helmreich Ed, San Diego CA.

¹⁰James Klinec, Director de Programación del proyecto LOSA.

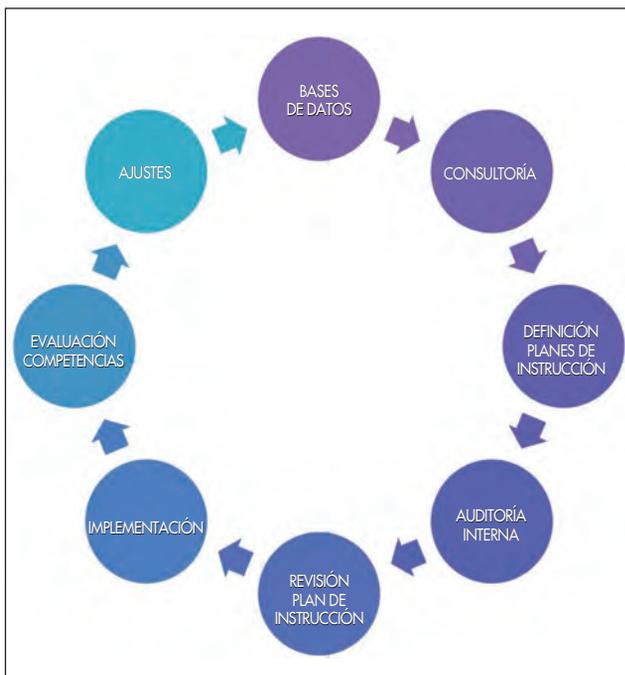


Figura 4. Ejemplo de Ciclo Cerrado de Diseño de Sistemas de Instrucción (ISD).

REICH R. L., *Managing Error in Aviation*, Sci Am, 1997.

¹³HELMREICH R & FOUSHEE H. C, Op cit, p.3-45.

¹⁴La metodología de los cuatro niveles de Kirkpatrick es el modelo usado comúnmente en el estudio y evaluación de los procesos formativos.

¹⁵SALAS E, WILSON K. A., & BURKE S, *Does Crew Resource Management Training Work?* Human Factors and Ergonomics Society Vol 48, 2006.

¹⁶BARBA ROMÁN Gustavo, "El Giro hacia la Eficacia del CRM (Gestión Integrada de Recursos Operacionales)", *Artículo del Colegio Oficial de Pilotos de la Aviación Comercial de España*, 2004, p.1.

¹⁷PEDRO PERALES J., "La Gestión del Riesgo Operativo". Revista de Aeronáutica y Astronáutica, p 1050-1057, Diciembre 2010.

¹⁸SENDÍN RODRÍGUEZ J. V., "La Clave es