



Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle*

| Fecha de recibido: 15 de octubre del 2019 | Fecha de aprobación: 29 de abril del 2020 |

Gerson Adolfo Páez López

Magíster en Seguridad Operacional

Fuerza Aérea Colombiana
Grupo de investigación: CIPAER
Rol de investigador: intelectual, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0003-0284-7830>
✉ GapaezL78@hotmail.com

María Alejandra Corzo Zamora

Magíster en Fisiología y Salud Espacial

Especialista en Investigación,
Centro de Investigaciones Biomédicas
Aeronáuticas y Espaciales de la FAC
Grupo de investigación: CIPAER
Rol de investigador: intelectual,
experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-6462-6745>
✉ alejitaacor@gmail.com
✉ alejandrakorzo.sph@gmail.com

Alexander Díaz Ariza

Magíster en Neuropsicología

Fuerza Aérea Colombiana, Dirección de Medicina
Aeroespacial, Subdirector Psicología de Aviación
Grupo de investigación: CELSO
Rol de investigador: intelectual,
experimental, comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-0848-6063>
✉ adiaz7@gmail.com

Nohora Inés Rodríguez Guerrero

Magíster en Epidemiología Clínica

Universidad Militar Nueva Granada,
Asesora Escuela de Posgrados
Grupo de investigación: CIPAER, CELSO
Rol de investigador: comunicativo
<https://orcid.org/0000-0002-2064-639X>
✉ nirodrigu21@yahoo.com

* Artículo producto del proyecto *Respuestas fisiológicas y funcionamiento neuropsicológico en toma de decisiones de operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle de la Fuerza Aérea Colombiana* de la invitación directa FAC-Colciencias 2017, código 56714.

Cómo citar este artículo: Páez López, G. A., Corzo Zamora, M. A., Díaz Ariza, A., & Rodríguez Guerrero, N. I. (2020). Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, 15(1), 39-52. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.658>



Herramienta de entrenamiento neuropsicológico para operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle

Neuropsychological Training Tool for Scan-Eagle Unmanned Aerial Vehicles Operators

Resumen: Los eventos de seguridad no deseados en las Aeronaves Remotamente Tripuladas (ART) tipo Scan Eagle se han atribuido a los errores humanos, en particular, en la toma de decisiones y los errores durante la operación, los cuales pueden ser susceptibles a mejorar con entrenamiento específico como medida para mitigar el riesgo de accidentes. Este artículo propone una herramienta de entrenamiento basada en el funcionamiento neuropsicológico para los operadores de ART en la Fuerza Aérea Colombiana, para el mejoramiento de habilidades y gestión del riesgo, basada en el funcionamiento neuropsicológico y las áreas cerebrales. Se empleó un método de estudio no experimental de corte transversal analítico, realizando monitoreo de la actividad eléctrica cerebral mediante electroencefalografía (EEG) con el equipo B-alert x10, durante misiones reproducidas en simulador de Scan Eagle para identificar las áreas de actividad cerebral en frecuencia beta, y se aplicó la batería BANFE-2 para evaluar funciones ejecutivas y tipo de pensamiento. Se evaluaron 17 operadores masculinos de $28 \pm 2,7$ años, los resultados fueron analizados según la formación académica de los participantes en experiencia en vuelo, ingenieros y otras formaciones. Se encontró que las seis áreas más utilizadas en la operación de ART son las encargadas de desarrollar habilidad numérica, maniobras que requieren el uso de la mano contraria a la dominante, utilización de la imaginación, lenguaje hablado, razonamiento, y por último, el área de la percepción tridimensional. Los operadores con experiencia previa en vuelo presentan una actividad cerebral medial y orbital, tienen un pensamiento de tipo automático intuitivo con menor carga cognitiva en el monitoreo electroencefalográfico, mientras que los otros grupos sin experiencia previa en vuelo presentan un pensamiento frontal dorsolateral de pensamiento reflexivo con mayor carga cognitiva. Con los resultados obtenidos se diseñó una herramienta para el entrenamiento neurocognitivo autónomo y se proponen alternativas adicionales para complementar el entrenamiento de los operadores de ART, que permita potencializar el pensamiento automático intuitivo con menor carga cognitiva.

Palabras clave: ART; entrenamiento neurocognitivo; habilidades cognitivas.

Abstract: The unwanted safety events in the Scan-Eagle remote manned aircraft (RMA) have been attributed to human errors, particularly in decision-making processes and operational procedures, that may be overcome with specific training as a measure to mitigate the risk of accidents. This article proposes a training tool for ART operators in the Colombian Air Force based on neuropsychological functioning and brain areas, which intends to enhance their skills and make improvements on risk management. A non-experimental cross-sectional and analytical approach was used for this study, in which the electrical activity of participants was monitored by electroencephalography (EEG) using B-alert x10 device during simulated missions in the Scan-Eagle simulator in order to identify areas with high brain activity. In addition, BANFE-2 battery was applied to assess executive functions and thinking modes of the participants (17 male operators, $28 \pm 2,7$ years). Results were analyzed based on previous academic studies. Findings showed that the six most used areas during ART operation are those in charge of numerical ability, maneuvers that require the use of an individual's no-dominant hand, the use of the imagination, spoken language, the reasoning area, and the area of three-dimensional perception. Operators with previous flight experience showed a medial and orbital brain activity with an automatic intuitive thinking and lower cognitive load during EEG monitoring. In contrast, groups without previous flight experience showed a frontal dorsolateral reflexive thinking with higher cognitive load in EEG. A tool for autonomous neurocognitive training is designed and additional alternatives are proposed to complement RMA operators training and, therefore, boost an automatic intuitive thinking with less cognitive load.

Keywords: ART; Neurocognitive Training; Cognitive Skills.

Ferramenta de treinamento neuropsicológico para operadores de aeronaves remotamente pilotadas ScanEagle

Resumo: As ocorrências de segurança indesejadas nas Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) ScanEagle foram atribuídas a erros humanos, particularmente aos erros e decisões tomadas durante a operação, que podem ser melhoradas com o treinamento especialmente como uma medida para mitigar o risco de acidentes. Este artigo propõe uma ferramenta de treinamento baseada no funcionamento neuropsicológico para os operadores de ARP na Força Aérea Colombiana, para otimizar habilidades e gestão do risco, com base no funcionamento neuropsicológico e nas áreas cerebrais. Para o trabalho, foi utilizado um método de estudo não experimental de corte transversal analítico, para monitorar a atividade elétrica cerebral por eletroencefalograma (EEG) com o equipamento B-alert x10, durante missões que foram reproduzidas em um simulador ScanEagle para identificar as áreas de atividade cerebral com ondas de frequência beta. A bateria BANFE-2 foi aplicada para avaliar funções executivas e tipo de pensamento. Foram avaliados 17 operadores do sexo masculino de $288 \pm 2,7$ anos; os resultados foram analisados segundo a formação acadêmica dos participantes em relação a sua experiência de vôo, engenheiros e outra formação. De acordo com os resultados, verificou-se que as áreas mais utilizadas na operação são aquelas que desenvolvem a habilidade numérica, manobras que requerem o uso da mão oposta à dominante, uso da imaginação, linguagem falada, raciocínio e, finalmente, a área de percepção tridimensional. Os operadores com experiência prévia de vôo apresentam atividade cerebral medial e orbital, têm pensamento intuitivo do tipo automático com menor carga cognitiva no monitoramento eletroencefalográfico, enquanto os outros grupos sem experiência prévia de vôo apresentam pensamento frontal de pensamento reflexivo com maior carga cognitiva. Com os resultados obtidos, foi desenhada uma ferramenta para o treinamento neurocognitivo autônomo e, são propostas alternativas adicionais para complementar o treinamento de operadores de ARP, que permita potencializar o pensamento automático intuitivo com menor carga cognitiva.

Palavras-chave: ARP; Treinamento neurocognitivo; Habilidades cognitivas.

Introducción

La operación de Aeronaves Remotamente Tripuladas (ART), también conocidas como drones, ha tenido un crecimiento exponencial a nivel mundial. Su importancia se ha incrementado gracias a la generación de nuevas oportunidades de negocio en ciertas áreas comerciales, tales como aerofotografía, estudios de fauna, reportes meteorológicos, vigilancia de zonas, envío de correspondencia, actividades recreativas, entre otras (Motoa, 2017). A nivel militar la situación es similar, por ejemplo, la Fuerza Aérea de Estados Unidos pasó de tener 15 ART en el 2007 a tener 60 en el 2011 (Murray & Park, 2013), y la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), ingresó a este escenario con la utilización de modernas ART para realizar misiones típicas desde el 2005.

El aumento progresivo de la utilización de ART ha obligado a la implementación de normas internacionales destinadas a evitar su interferencia en la operación de aeronaves tripuladas, y catástrofes por colisión entre ellas (Organización de Aviación Civil Nacional [OACI], 2012). La evaluación de los diferentes eventos reportados con la operación de ART ha permitido evidenciar que existen factores como la ergonomía, impericia, falta de experiencia, indebida interacción entre el humano, la tecnología, y otros, que influyen en la operación del sistema, lo cual conduce a la necesidad de intervención y aplicación de métodos para la gestión del riesgo (Whitlock, 2014). De esta forma, se evidencia la gran responsabilidad que recae en un operador de ART, sobre quien debe ejercerse un control estricto, similar a un avión tripulado, ya que un error en toma de decisiones puede acarrear no solo la pérdida material del dron, sino, más grave aún, la de una vida.

En la aviación mundial se ha demostrado que el factor humano es el mayor contribuyente en eventos de seguridad no deseados, se presenta un porcentaje con evidencia de error humano del 70 % al 80 % de todos los accidentes aéreos (Shappell & Wiegmann, 2000). De acuerdo con estudios en accidentes de ART, se estima esta como causa entre el 21 % y el 67 % de los accidentes. Los factores humanos identificados incluyen errores de procedimiento y habilidades que

generan la consecuente manipulación inadecuada de las aeronaves (Zhang et al., 2016). Los problemas identificados se reúnen en 4 grupos: desempeño en situaciones multitareas, confianza en la automatización, conciencia situacional y carga del operador, todas asociadas con el error humano. Así mismo, se han descrito los errores de decisión, que representan el segundo porcentaje más alto en accidentalidad (Weigmann & Shappell, 2001; Williams, 2004). De igual forma, en la Fuerza Aérea Colombiana se han documentado eventos no deseados causados por fallas humanas (Inspección General Fuerza Aérea Colombiana, 2016).

La accidentalidad aérea ha llevado a una constante búsqueda de estrategias a nivel mundial para la reducción de eventos de seguridad operacional, entre las que se incluyen la automatización y el desarrollo de Aeronaves Remotamente Tripuladas. Sin embargo, esta automatización ha llevado a la identificación del síndrome de *out-of the loop*, en el cual los humanos que trabajan con automatización presentan una disminución en la habilidad para detectar errores del sistema y pueden responder a ellos con el uso de tareas manuales (Williams, 2006).

El ambiente operacional de las ART es particular, se realiza de forma remota desde tierra dentro de un espacio en el cual existen aeronaves tripuladas, considerado como un ambiente “hostil”. Se hace a través de una interfaz gráfica que requiere habilidades para optimizar la toma de decisiones y obtener una operación segura; no obstante, la operación de ART también está expuesta a los accidentes que pueden estar relacionados con una alta demanda de tareas y tiempos, que comprometen el cumplimiento de la misión y la seguridad operacional (Murray & Park, 2013).

En Colombia, un estudio realizado por López (2014), encontró que el 62 % de los accidentes se debían a la gestión inadecuada de recursos, planeación indebida del trabajo, factores ambientales, errores del operador y violaciones rutinarias. López afirma que errores del operador, específicamente asociados a la toma de decisiones, serían responsables del 10,2 % de la accidentalidad en ART. Dichos hallazgos están de acuerdo con lo reportado en estadísticas mundiales de accidentalidad en ART (Thompson et al., 2005), en las

cuales se afirma que entre el 33 % y 43 % de los accidentes se presentan debido a factores humanos relacionados con procesos de selección, entrenamiento de operadores, errores en el trabajo en equipo, factores neurocognitivos y de destreza del piloto.

El desarrollo de competencias en los operadores de ART es una preocupación para la Fuerza Aérea Colombiana, a raíz del incremento en las misiones con disponibilidad de esta tecnología, pero también con el aumento de eventos no deseados causados por fallas humanas, asociadas a errores en la toma de decisiones y en la realización de procedimientos erróneos (Inspección General Fuerza Aérea Colombiana, 2016). En este contexto, se interroga si los eventos no deseados podrían estar relacionados con la ausencia de un entrenamiento cognitivo diferente a la instrucción de operación, que intervenga específicamente en las habilidades y competencias requeridas por los operadores ART, para incidir favorablemente en la seguridad operacional.

Para mitigar el riesgo de accidentalidad en ART se plantean intervenciones específicas, como la investigación sobre habilidades neurocognitivas con técnicas de entrenamiento de psicoestimulación con estímulos, en favor de la neuroplasticidad y la activación de las capacidades intelectuales, emocionales y de interacción. En el contexto educativo, se han propuesto estrategias para el desarrollo de habilidades cognitivas y tecnológicas con un proyecto de aprendizaje móvil (Vargas et al., 2013), y el uso de videojuegos que podrían fomentar la plasticidad y el aprendizaje del cerebro, mantener las habilidades cognitivas, aumentar el desempeño, aprender a desarrollar nuevas tareas, mejorar la memoria de corto plazo, la cognición espacial, la capacidad multitareas, y algunos aspectos de la función ejecutiva (Colder Carras et al., 2018).

El uso frecuente de estas herramientas ha mostrado mejoras en algunos aspectos de la cognición y ciertas facultades mentales como la atención, el procesamiento rápido de la información, la flexibilidad para cambiar de una tarea a otra y la rotación mental de un objeto (Bavelier & Green, 2016). Por lo anterior, el desarrollo de herramientas acorde a la operación de ART podría tener potencial en el entrenamiento para el personal de operadores.

Habilidades neurocognitivas y operación de ART

Pocos antecedentes se encuentran en la literatura sobre las habilidades neurocognitivas requeridas para ser operador de ART, varios de los estudios son el resultado de la preocupación de diferentes fuerzas militares para identificar estas características y aplicarlas en un proceso de selección de los operadores; de igual manera, estos estudios han sido realizados con la aplicación de baterías orientadas a la selección de personal, mas no en orden inverso desde las habilidades durante la operación de la aeronave para realizar una selección de personal.

Para esta identificación de habilidades, es fundamental tener en cuenta la interfaz de operación de las aeronaves y su alto nivel de automatización, lo que permite su operación de manera remota. Así las cosas, la selección se hace teniendo en cuenta principalmente los dominios cognitivo y psicomotor, con componentes de memoria a corto plazo, tiempos de reacción, manejo de multitareas, priorización y secuenciación (Kay et al., 1999).

Basados en la participación del factor humano en la accidentalidad de ART desde el punto de vista de las habilidades cognitivas y la multitarea propia de su operación, la presente investigación busca identificar las áreas cerebrales con mayor actividad cognitiva y las funciones ejecutivas presentes en misiones de operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle, en escenarios simulados de confort y emergencia. Lo anterior, con el fin de proponer estrategias de entrenamiento para disminuir la accidentalidad operacional.

Este proyecto hace parte del macro proyecto FAC-colciencias: *Respuestas fisiológicas y funcionamiento neuropsicológico en toma de decisiones de operadores de Aeronaves Remotamente Tripuladas Scan Eagle de la Fuerza Aérea Colombiana*, convocatoria: 995-2017, el cual presenta una propuesta innovadora para optimizar el entrenamiento de los operadores que manipulan estas aeronaves. Entre sus objetivos, se encuentra el determinar si la toma de decisiones

en los operadores de ART se presenta en un nivel superior de procesamiento racional, influenciado por conocimientos previos del operador o en un nivel anterior con características pre-rationales.

Metodología

Participantes

Se realizó un estudio no experimental de corte transversal, con una muestra inicial de 22 operadores militares de Scan Eagle sin enfermedad neurológica y con aptitud psicofísica para la operación de ART. Su selección se realizó por medio de un muestreo probabilístico por conveniencia, cuyos criterios de inclusión fueron pertenecer a la Fuerza Aérea Colombiana y haber completado la simulación de vuelo sin interferencia o ayuda del instructor durante la simulación. Los registros de 5 participantes fueron excluidos por no cumplir todos los requisitos en la simulación. Por último, se incluyeron en la investigación los datos de 17 operadores de ART con edad promedio de $28 \pm 2,7$ años, todos de sexo masculino.

Instrumentos

Registros electroencefalográficos. Se realizó registro electroencefalográfico durante toda la simulación mediante el equipo B-ALERT x10 (Advance Brain Monitoring compatible con Biopac). El equipo contaba con calibración de fábrica y con grabación de variables preconfiguradas. La electroencefalografía es aceptada como una de las mejores herramientas para capturar la función cerebral en el contexto en que los procesos cerebrales ocurren (Michel & Brunet, 2019).

Funcionamiento neuropsicológico. Se administró la Batería Funciones Ejecutivas BANFE-2 (Flores et al., 2008). La BANFE-2 evalúa diferentes procesos cognitivos originados principalmente en la corteza prefrontal, como las funciones ejecutivas, y permite identificar el tipo de pensamiento que predomina en el individuo. Esta batería incluye 15 pruebas con validez

convergente y clínica, con una confiabilidad del 80 % y alta validez de constructo. Adicionalmente, proporciona un índice general de desempeño en tres áreas prefrontales: orbitomedial, dorsolateral y prefrontal anterior, y funciones específicas, a partir de puntuaciones normalizadas de las pruebas (1 a 10).

Procedimiento

El estudio contó con el aval del comité de ética de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana (EPFAC) mediante el acta n.º 001 del 2017. Todos los sujetos participaron voluntariamente y firmaron un consentimiento informado. A los participantes se les avisó la posibilidad de desistir en cualquier momento de su participación y que los datos serían codificados mediante códigos numéricos para evitar su identificación y mantener así su carácter confidencial.

En primera instancia, se realizó la identificación de los escenarios de confort y riesgo en la operación de ART, con instructores de la Escuela Básica de ART (EBART) de la Fuerza Aérea Colombiana. Los escenarios identificados fueron utilizados y estandarizados por los instructores para la configuración del simulador Scan Eagle presente en la EBART. Se inició con la identificación de los escenarios más comunes utilizados en instrucción, luego se seleccionaron cinco, de los cuales dos representan escenarios tranquilos o de confort y tres representan escenarios de emergencia en los cuales la toma de decisiones es vital para el éxito de la misión. En la tabla 1, se enumeran los escenarios escogidos y su posterior categorización para el análisis en escenario de confort y de emergencia.

Tabla 1
Escenarios de la simulación y categorías para el análisis

Código	Escenario	Categoría
1	System check and take off	Confort
2	Chequeo de comunicaciones	Emergencia
3	Falla de generador	Emergencia
4	Skyhook	Emergencia
5	Aterrizaje y fin de simulación	Confort

Fuente: elaboración propia.

La invitación a los operadores de ART para participar en la investigación se realizó una vez completaron el chequeo final del control anual. El participante ingresó a la investigación posterior a la firma del consentimiento informado, momento en el cual se le dio identificación con código alfanumérico. Después, se diligenció un cuestionario de información sociodemográfica de los participantes, incluyendo el equipo de ART que operaba: horas totales de operación en ART, operación previa de aeronaves tripuladas, horas de vuelo en aeronaves tripuladas y formación académica previa.

Al final, los participantes fueron expuestos a la simulación con los escenarios de confort y riesgo, y se les aplicó la prueba neuropsicológica BANFE-2 por parte de un neuropsicólogo.

Durante toda la simulación se realizó registro electroencefalográfico mediante el equipo B-ALERT X10 (Research Advance Monitoring). Los datos quedaron automáticamente grabados en tiempo real en el *software* Aqknowledge (receptor del sistema BIONOMADIX), y el inicio y final de cada escenario fue marcado en el *software* de recepción. Más adelante, los registros fueron exportados a formato MATLAB para obtener las imágenes por tipo de onda cerebral en EEGLAB V4.3, desarrollado por el Swartz Center for Computational Neuroscience en MATLAB R2018b, para identificar los sectores con mayor actividad beta durante las simulaciones.

Posterior a la determinación de habilidades, se hizo una búsqueda de ejercicios y recomendaciones prácticas que estuvieran acorde a cada una de ellas, buscando las que más se ajustaran a las necesidades del participante.

Análisis de datos

Se llevó a cabo un análisis descriptivo de los resultados obtenidos en relación con las áreas cerebrales en las que se presentó la mayor actividad beta, a través de medidas de tendencia central. Los datos fueron agrupados por formación académica previa:

- Grupo 1: experiencia en vuelo. Contempla a los operadores con experiencia previa en vuelo de cualquier equipo de la Fuerza Aérea Colombiana.

- Grupo 2: ingenieros. Aquellos con pregrado en Ingeniería de Sistemas o Electrónica.
- Grupo 3: otros, con carreras diferentes a las mencionadas.

Para el análisis de las variables derivadas de las pruebas BANFE-2, se realizó un análisis intergrupar no paramétrico con la prueba Kruskal-Wallis. Así mismo, se implementó un análisis no paramétrico en términos de variables fisiológicas evaluadas, este se hizo teniendo en cuenta la formación académica previa y si existía o no un escenario de emergencia. El análisis se ejecutó mediante el estadístico Kruskal-Wallis y la U de Mann-Whitney como post hoc para identificar diferencias significativas entre pares de grupos ($p < 0.05$, IC 95 %).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se efectuó una revisión de ejercicios prácticos con amplia fundamentación teórica, buscando su aplicación al personal requerido teniendo en cuenta su campo operacional.

Resultados

El análisis de los datos se realizó en función de la formación académica previa de los participantes.

Actividad cerebral

Para ejecutar el análisis cuantitativo de los datos obtenidos, se realizó una asignación numérica a cada uno de los principales colores del espectro obtenidos en EEGLAB en la frecuencia beta (22Hz), debido a que son las ondas de mayor actividad y representación de un alto proceso cognitivo que genera una variable categórica ordinal, para registrar el resultado por electrodo, véase figura 1 y tabla 2. Los resultados de la actividad cerebral de los operadores participantes se presentan en la tabla 3.

Al analizar las zonas de activación cerebral en onda beta, se observó que en el grupo 1 con experiencia previa en vuelo en los escenarios de confort y riesgo y en el grupo 2, de ingenieros, se presentó mayor actividad beta a nivel parietal izquierdo en los escenarios de emergencia 3 y 4, y a nivel frontal izquierdo en el escenario 4, mientras el grupo 3 de otras carreras, obtuvo activación a nivel frontal izquierdo.

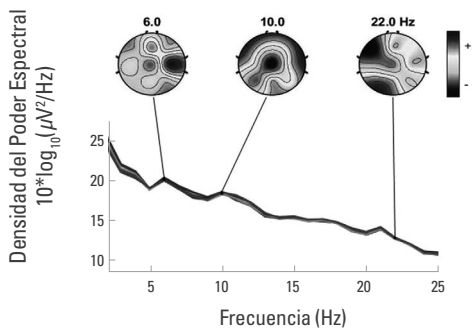


Figura 1. Ejemplo de resultados de poder espectral obtenidos en EEGLAB
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Asignación numérica por cada uno de los colores derivados del análisis de poder espectral en EEGLAB

Color espectro	Código	Nivel de actividad
Rojo	1	Máxima
Naranja	2	Alta
Amarillo	3	Alta intermedia
Azul claro	4	Intermedia
Aguamarina	5	Intermedia baja
Azul medio	6	Baja
Azul oscuro	7	Muy baja

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3
Actividad cerebral consolidada para onda beta (22Hz), por escenario en cada grupo

		Zonas de activación cerebral en ondas beta (22Hz)																								
Rol	n	Esc	F3		F2		F4		C3		CZ		C4		P3		PZ		P4							
			Nivel	%	Nivel	%	Nivel	%	Nivel	%	Nivel	%	Nivel	%	Nivel	%	Nivel	%	Nivel	%						
1	7	1	7	42,9	4	42,9	4	28,6	4	5	28,6	4	42,9	3	57,1	1	3	42,9	3	28,6	3	42,9				
		2	6	42,9	7	57,1	6	42,9	4	43,9	4	42,9	5	42,9	1	42,9	4	5	28,6	3	4	28,6				
		3	1	6	7	28,6	4	42,9	5	42,9	5	28,6	3	5	28,6	4	57,1	1	57,1	2	3	4	28,6			
		4	6	42,9	7	42,9	5	6	7	28,6	5	28,6	2	3	28,6	3	42,9	1	57,1	4	4	42,9	4	57,1		
		5	1	28,6	4	42,9	4	42,9	3	5	28,6	4	57,1	3	42,9	1	42,9	3	4	28,6	2	4	28,6			
		Total	6	28,6	7	34,3	5	28,6	5	25,7	4	28,6	3	37,1	1	28,6	4	28,6	3	31,4						
2	7	1	7	42,9	7	57,1	7	57,1	3	42,9	3	42,9	4	42,9	1	2	28,6	4	57,1	3	5	28,6				
		2	7	42,9	5	57,1	7	42,9	3	42,9	3	42,9	4	42,9	5	42,9	3	42,9	4	4	42,9					
		3	3	42,9	3	5	7	28,6	4	5	7	28,6	4	42,9	3	4	5	28,6	1	42,9	3	4	28,6			
		4	1	28,6	4	28,6	5	28,6	1	3	28,6	4	57,1	3	4	5	28,6	1	4	42,9	2	42,9	4	7	28,6	
		5	7	28,6	3	6	28,6	4	6	7	28,6	3	57,1	4	5	42,9	3	4	28,6	3	42,9	1	4	28,6		
		Total	3	17,1	7	28,6	7	37,1	3	40	5	34,3	4	34,3	1	31,4	4	34,3	4	34,3	3	4	28,6			
3	3	1	1	3	7	33,3	3	66,7	3	4	5	33,3	3	66,7	5	100	3	66,7	1	2	4	66,7				
		2	1	2	5	33,3	3	66,7	5	66,7	3	66,7	3	4	5	33,3	1	4	5	33,3	1	3	5	33,3		
		3	1	100	1	3	4	33,3	1	4	5	33,3	2	66,7	5	66,7	2	3	5	33,3	4	66,7	1	2	4	33,3
		4	1	3	6	33	6	66,7	4	6	7	33,3	3	66,7	4	66,7	2	5	7	33,3	6	66,7	2	3	7	33,3
		5	1	66,7	4	66,7	6	66,7	1	3	4	33,3	4	33,3	4	66,7	2	3	6	33,3	2	4	6	33,3	3	66,7
		Total	1	53,3	3	40	4	5	6	26,7	3	46,7	5	46,7	5	33,3	1	26,7	1	3	26,7	3	40			

* Resultados presentados en porcentajes.

Fuente: elaboración propia.

Funcionamiento neuropsicológico

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos por los participantes en la prueba BANFE-2. En estos no se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento entre los grupos; sin embargo, se observa mayor desempeño en el área prefrontal anterior en el grupo 1 con experiencia en vuelo, en el área dorsolateral en el grupo 2 de ingenieros y en el área dorsolateral en el grupo 3.

Tabla 4
Resultados batería de funciones ejecutivas (BANFE-2)

Rol previo	Orbitomedial	Prefrontal anterior	Dorsolateral
Experiencia en vuelo	94,71 ± 20,7	102,14 ± 9,42	95,29 ± 11,91
Ingenieros	82,14 ± 22,9	92,43 ± 14,02	96,57 ± 12,27
Otros	104 ± 12	92 ± 8,185	104,67 ± 10,21

* Diferencia estadísticamente significativa $p \leq 0,05$.

Fuente: elaboración propia.

Discusión

El propósito del presente estudio ha sido identificar las áreas cerebrales más destacadas y las funciones ejecutivas presentes durante la operación de escenarios de confort y emergencia en operadores de ART, con el fin de determinar herramientas que permitan complementar el entrenamiento de los operadores y contribuir a la reducción de eventos de seguridad durante la operación de ART.

En relación con la monitoría cerebral, los resultados muestran que las seis áreas más utilizadas en la operación de Aeronaves Remotamente Tripuladas son la encargada de la habilidad numérica, la que se activa durante maniobras que requieren el uso de la mano contraria a la dominante, la que hace presencia durante la utilización de la imaginación, la que se ocupa del lenguaje hablado, la encargada del razonamiento y, por último, la de percepción tridimensional.

Los datos consolidados de actividad en áreas cerebrales con ondas beta (22Hz) se presentan en la tabla 5, en ella se hace una comparación de las habilidades por actividad del área cerebral y su discriminación por grupos. Al analizar las áreas de mayor nivel de actividad para los tres grupos, se encontró el área del electrodo P3 en nivel 1, el cual refleja la habilidad numérica.

Basado en las zonas de representación cerebral de habilidades (Flores & Otrosky, 2012), se realiza un análisis comparativo observacional en los tres grupos, identificando que en el personal de operadores con experiencia previa en vuelo las áreas de mayor activación se encontraron en los puntos P3, C3 y F3 que corresponden a las habilidades de razonamiento, habilidad numérica y lenguaje hablado; mientras que en los grupos de ingenieros las áreas fueron F3, POZ y P3 con las habilidades de razonamiento, control de mano y habilidad numérica; y para el grupo de otros, las áreas de mayor actividad fueron P3, C4 y P4, correspondientes

Tabla 5
Promedio de puntajes generales operadores de ART y habilidades correspondientes

Descripción zonas	Otros		Experiencia en vuelo		Ingeniero	
F3: razonamiento Fz: retentiva F4: intuición C3: lenguaje hablado Cz: conocimientos previos C4: imaginación P3: habilidad numérica Pz: control de mano P4: percepción tridimensional	Ranking de zonas					
	Zona	Nivel	Zona	Nivel	Zona	Nivel
	Cz	4	F3	3	F3	1
	C4	3	C3	3	C3	3
	P3	1	C4	4	P3	1
	Pz	4	P3	1	Pz	1
P4	3	pZ	4	P4	3	

Fuente: elaboración propia.

a las habilidades de razonamiento, imaginación y percepción tridimensional. Estas habilidades son similares a las encontradas por Barnes et al. (2000), las cuales incluyen comunicación, procesos conceptuales, razonamiento, tiempos de reacción, procesos visuales, habilidades psicomotoras y motricidad gruesa mediante la utilización del sistema de evaluación de profesiones, Job Assessment Software System (JASS), y el Enhanced Computer-Aided Testing (ECAT), aplicado a 30 operadores de ART del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica.

En este contexto, se observa que el personal de operadores con experiencia previa en vuelo presenta menos áreas con mayor activación en comparación con los otros grupos, esto debido a que, por su experiencia en vuelo, tienen una apropiación de las habilidades derivadas de su exposición a vuelo tripulado.

Las habilidades de razonamiento o habilidades cognitivas superiores presentaron gran actividad en los grupos 2 y 3, debido a que se requiere realizar un proceso mental más elaborado para transformar la información derivada de las coordenadas y demás componentes de la operación remota de los ART, ya que al no tener experiencia en vuelo tripulado deben realizar el proceso mental sin tener referencia previa visual sobre terrenos y otras características físicas.

En términos de la habilidad de lenguaje hablado, es más exigente en los grupos 2 y 3 debido a que, al no tener experiencia previa en vuelo, no han estado expuestos a las densas comunicaciones con tránsito aéreo que son requeridas para el vuelo tripulado. Cabe anotar que la diferencia también radica en que el personal con experiencia previa en vuelo fue expuesto a este tipo de habilidad en momentos tempranos de su formación previa a comparación de los otros grupos, por lo que tienen consolidada esta habilidad. Como evidencia se tiene que en el personal con experiencia previa, esta zona, se encuentra con una actividad intermedia baja con nivel 5 en 22 Hz.

Al comparar los resultados de los monitoreos cerebrales con los de BANFE-2, se aprecia una correspondencia entre los resultados obtenidos. Por tanto, se observa que el grupo de experiencia en vuelo presentó el mayor puntaje en el área prefrontal, mientras

que el grupo de ingenieros y otros lo presentaron en el área dorso lateral. Esto implica que el personal con experiencia previa en vuelo muestra una baja carga cognitiva por procesos automatizados, derivados de la experiencia previa en vuelo, lo que genera un pensamiento rápido e intuitivo, caso contrario con el grupo de ingenieros y otros, quienes presentan una carga cognitiva más alta constituida por procesos más analíticos y razonamiento abstracto del entorno, lo que permite identificar una toma de decisiones reflexivas que generan un pensamiento más lento durante su actividad.

De los resultados conseguidos, se observa que el grupo de ingenieros es el que requiere más refuerzo en las habilidades identificadas para la operación del equipo Scan Eagle, pues son el grupo que mayor actividad cerebral presenta en diversas zonas del cerebro, en contraposición al grupo con experiencia en vuelo que tiene menor actividad, lo que indicaría que durante la operación del equipo su accionar requiere menor esfuerzo, pues sus habilidades están más desarrolladas. Este comportamiento se puede basar en la sensibilidad previa al vuelo que adquieren aquellos que tienen experiencia y pueden integrar la información real del vuelo con la información presentada en los equipos de operación remota del Scan Eagle, a través del proceso de recuerdos y vivencias.

Así mismo, se aprecia que las zonas de habilidad numérica (P3), control de mano (POz) e imaginación (C4), son comunes en todos los grupos. Así mismo, este hallazgo permite evidenciar el proceso de la operación remota del Scan Eagle, en el que gran parte de la información se entrega a través de formatos numéricos como coordenadas y nivel de vuelo, lo que genera que se realice un proceso de transformación de la información en un proceso más complejo de pensamiento, esto anclado al control de mano derivado del uso del *joystick* para el control de la aeronave, y a la imaginación, que permiten una integración sensoromotora guiada por procesos cognitivos. Resultados similares a los encontrados en estudios previos en operadores de ART del Ejército de los Estados Unidos (Barnes et al., 2000).

Para el entrenamiento de estas habilidades de forma integrada, se propone presentar una guía con

la presentación de diferentes escenarios operacionales en la instrucción propia del equipo con el uso del simulador de vuelo, los cuales deben ser personalizados según el perfil previo del operador y su tiempo de ejecución en el equipo. Para este fin, los resultados de la investigación permitieron establecer diferencias entre los operadores, según su experiencia previa, que orientan la instrucción.

Sin embargo, cada habilidad puede ser entrenada de forma separada, en este caso las de razonamiento numérico, imaginación, control de mano, retentiva y percepción tridimensional, pueden ser reforzadas a través de ejercicios. Dichas actividades, pueden ser realizadas de forma remota en momentos diferentes a las simulaciones, también pueden ser cambiadas en diferentes situaciones, lo que permitiría desarrollar mejores habilidades para la integración final en el ámbito operativo directo del Scan Eagle.

Este tipo de entrenamientos se utiliza principalmente en el campo clínico en pacientes en los que se requiere rehabilitación cognitiva por diferentes trastornos de este tipo. No obstante, para fines de este estudio las herramientas y ejercicios se pueden utilizar para potencializar en menor tiempo funciones ejecutivas que permitan el desarrollo de un pensamiento más automático y rápido para la operación, e incluyen la orientación, la memoria de fijación y la atención como se sugiere en el trabajo de Retureta et al. (2012), en el cual se observó mejoría con el uso de estos entrenamientos en personas con deterioro cognitivo.

Otra forma de entrenamiento se encuentra inmersa en el uso de recursos digitales para apoyo a niveles de pensamiento medio y superior (Vargas et al., 2013). Entre estos se encuentran los dispositivos móviles que permiten una experiencia atractiva y actual para los estudiantes, como es el caso los operadores de ART. En este marco, podría plantearse a futuro el desarrollo de una *app*, derivada de los resultados obtenidos, que incluya los ejercicios de forma personalizada para la población de operadores, con el beneficio de acceso instantáneo en cualquier momento y lugar, para de esta forma mantener un estímulo intermitente y autónomo de las habilidades necesarias para la operación real.

Un recurso digital adicional de probable utilidad para los operadores es el uso de videojuegos, en especial aquellos de acción con componentes de estrategia, que han mostrado evidencia de rehabilitación cognitiva en pacientes con lesiones traumáticas cerebrales (Vakili & Langdon, 2016). De igual manera, permiten fortalecer los procesos mentales superiores por medio de la recompensa, lo que influye positivamente sobre el estado de ánimo (Moreno & Lopera, 2010), asociados a la integración sensoromotora y el ambiente de percepción tridimensional que generan y los convierten en una opción para tener en cuenta como complemento en el entrenamiento de los operadores (Bavelier & Green, 2012).

Los videojuegos de acción que incorporan disparos y ritmos vertiginosos han demostrado que pueden mejorar la atención, el rápido procesamiento de la información, así como una mayor flexibilidad para cambiar de una tarea a otra y optimizar la rotación mental de objetos (Bavelier & Green, 2016). Este tipo de herramientas permitirían el refuerzo de las habilidades identificadas en este proyecto. Así mismo, y basado en las diferencias encontradas con la prueba BANFE-2, para conseguir un pensamiento más rápido e intuitivo, la exposición a videojuegos permite explotar de forma más eficiente la información del entorno para realizar tareas de forma eficaz, permitiendo la supresión de fuentes de información irrelevante y con distractores potenciales. Además, refuerza las habilidades durante escenarios que requieran talentos multitarea (Bavelier et al., 2012).

En los antecedentes del uso de videojuegos como complemento al entrenamiento de personal de ART, se encuentra el desarrollo de un videojuego por parte de la Fuerza Aérea de Israel en 1994, hecho por Gopher, Weil y Bareket. El videojuego se desarrolla en un ambiente aeronáutico de combate y enfatiza habilidades conceptuales de alto nivel requeridas en la planeación de vuelo. A su vez, incluye el estímulo de habilidades psicomotoras y de combate, necesarias durante el entrenamiento (Barnes et al., 2000).

Para finalizar, la incorporación de estas novedosas propuestas al entrenamiento ya existente, permitirá el fortalecimiento conjunto del proceso cognitivo complejo para entregar operadores de ART más atentos

a sus procesos de aprendizaje más allá de los controles anuales, y contribuirá con el desarrollo de capacidades de aprendizaje complementario de forma autónoma. Del mismo modo, la adquisición de habilidades de tipo automático se puede conseguir a través de la presentación de estímulos que permitan la potencialización de capacidades intelectuales, emocionales y físicas de forma integral, lo que en conjunto permitirá la reducción de eventos de seguridad aérea y la mitigación del riesgo por factor de error humano.

Descripción de la herramienta

Como resultado del análisis de las pruebas BANFE-2, monitoreo cerebral, y posterior a la identificación de habilidades con apoyo de la literatura, se diseñó una herramienta de entrenamiento en forma de cartilla, la cual corresponde a un compilado de ejercicios encontrados en la literatura compuesta por 5 capítulos, estructurados por tipo de habilidad a desarrollar (Habilidad numérica, control de mano no dominante, imaginación, lenguaje hablado y percepción tridimensional); adicionalmente en todos los capítulos se incluyen ejercicios de razonamiento, lo cual hace parte de las habilidades más activas durante las pruebas realizadas.

Esta herramienta puede ser utilizada de forma individual, en cualquier momento, con el fin de mantener la pro-eficiencia en las diferentes actividades.

Conclusiones

Del presente estudio es posible concluir que las principales habilidades necesarias en un operador de Aeronaves Remotamente Tripuladas son el razonamiento y habilidad numérica, lenguaje hablado, imaginación, percepción tridimensional, control de mano y conocimientos previos. Teniendo en cuenta la actividad de la onda beta, se observa cómo el personal de operadores con experiencia previa en vuelo presenta una carga cognitiva menor frente aquellos que no la tienen.

Estos hallazgos se complementan con los resultados de la BANFE-2, en la cual el grupo con experiencia en vuelo presenta un pensamiento más automático e intuitivo, mientras que los otros dos grupos son reflexivos, lo que en el campo operacional se traduce en una toma de decisiones más rápida y efectiva.

A su vez, se identificó que la experiencia previa en vuelo es uno de los factores que permite mayor adquisición de habilidades para la operación de ART, y hace posible la adquisición progresiva de un pensamiento más automático. La automatización de varias de estas habilidades permite la reducción de la carga cognitiva beta que se registra en el grupo de operadores con experiencia en vuelo, frente a la alta carga en un mayor número de áreas cerebrales de los otros dos grupos.

Derivado de las habilidades encontradas y el tipo de pensamiento que se desea observar en todos los operadores de ART del presente estudio, se propone llevar una herramienta a dispositivo móvil que contenga ejercicios de razonamiento numérico, imaginación, control de mano, retentiva y percepción tridimensional, los cuales permitirán su realización fuera de la utilización del simulador de vuelo, en cualquier momento y lugar.

De igual manera, se recomienda esta herramienta complementaria al simulador de ART para desarrollar un pensamiento automático e intuitivo en los operadores que no poseen una experiencia previa en vuelo tripulado, así como la utilización de videojuegos de estrategia y combate que no solo permiten el aumento de estas habilidades sino también su mantenimiento fuera de los momentos de entrenamiento en simuladores de vuelo. También este personal puede ser expuesto a simuladores de vuelo tripulado e inclusive a vuelos tripulados reales para crear una mayor sensibilidad al ambiente que finalmente se traduce en un pensamiento automático y de intuición que lleva a una menor carga cognitiva durante la operación de ART.

Limitaciones y recomendaciones

Una de las limitaciones encontradas fue el tamaño de la muestra, por lo que se sugiere que para futuras investigaciones se involucre a un mayor número de

participantes por grupos, con el fin de validar los resultados obtenidos. Se proyecta realizar una segunda fase de ejecución, en la cual se aplique la herramienta, se transfiera a un medio digital mediante una *app* y se estudie el antes y el después de la aplicación para determinar su utilización periódica en los operadores de ART.

Referencias bibliográficas

- Barnes, M. J., Knapp, B. G., Tillman, B. W., Walters, B. A., & Vellicki, D. (2000). *Crew Systems Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Future Job and Tasking Environments*. United States Army, Army Research Laboratory. https://www.researchgate.net/publication/235049816_Crew_Systems_Analysis_of_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_Future_Job_and_Tasking_Environments
- Bavelier, D., Green, C., Pouget, A., & Schrater, P. (2012). Brain Plasticity through the Life Span: Learning to Learn and Action Video Games. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 391-416. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-152832>
- Bavelier, D., & Green, C. (2016). Videos que potencian el cerebro. *Investigación y Ciencia*, 480(2), 18-24. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/efectos-cerebrales-de-los-videojuegos-679/videojuegos-que-potencian-el-cerebro-14460>
- Colder Carras, M., Van Rooji, A., Spruijt-Metz, D., Kvedar, J., Griffiths, M. D., Carabas, Y., & Labrique, A. (2018). Commercial Video Games as Therapy: A New Research Agenda to Unlock the Potential of a Global Pastime. *Frontiers in Psychiatry*, 8, 300. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2017.00300>
- Flores, J., & Otrrosky-Solís, F. (2012). *Desarrollo neuropsicológico de lóbulos frontales y funciones ejecutivas*. Manual Moderno.
- Flores, J., Otrrosky-Solis, F., & Lozano, G. (2008). Batería neuropsicológica de funciones ejecutivas y lóbulos frontales: presentación. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8(1), 141-158.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, Attentional Control, and Action Video Games. *Current biology. Current biology*, 22(6), R197-R206. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.02.012>
- Inspección General Fuerza Aérea Colombiana. (2016). *Investigaciones Aeronaves Remotamente Tripuladas*. Fuerza Aérea Colombiana.
- Kay, G., Dolgin, D., Wasel, B., Langelier, M., & Hoffman, C. (1999). *Identification of the Cognitive, Psychomotor and Psychosocial Skill Demands of Uninhabited Combat Aerial Vehicle (UCAV) Operators*. Naval Air Systems Command. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a368578.pdf>
- López, N. (2014). Análisis y clasificación de factores humanos en eventos no deseados de seguridad operacional. (*EVENTOS*) de aeronaves remotamente tripuladas (ART) de la Fuerza Aérea Colombiana en el 2012, 5.
- Michel, C., & Brunet, D. (2019). EEG Source Imaging: A practical Review of the Analysis Steps. *Frontiers in Neurology*, 10(325). <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00325>
- Moreno, C., & Lopera, F. (2010). Efectos de un entrenamiento cognitivo sobre el estado de ánimo. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 5(2), 146-152.
- Motoa, F. (2017, 3 de mayo). Jóvenes empresarios les apuestan a los drones. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/bogota/santiago-espitia-y-felipe-castillo-empresarios-que-incursionan-en-el-negocio-de-los-drones-84286>
- Murray, C., & Park, W. (2013). Incorporating Human Factor Considerations in Unmanned Aerial Vehicle Roting. *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics: Systems*, 43(4), 860-870. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2012.2216871>
- Organización de Aviación Civil Internacional OACI. (2012). *Manual sobre sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*. <https://www.icao.int/SAM/Documents/DSOSYMP12/Aeronaves%20pilotadas%20a%20distancia%20RPA%20MUL.pdf#search=sobre%20sistemas%20de%20aeronaves%20pilotadas%20a%20distancia>
- Retureta, B., Rodríguez, B., López, Y., & Travieso, M. (2012). Terapia de rehabilitación con entrenador mental en el adulto mayor con deterioro cognitivo. *Medimay*, 18(2), 3-11. <http://revcmhabana.sld.cu/index.php/rcmh/article/view/543>.
- Shappell, S., & Wiegmann, D. (2000). *The Human Factors Analysis and Classification System—HFACS*. U.S. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Thompson, W., Tvaryanas, A., & Constable, S. (2005). *U.S. Military Unmanned Aerial Vehicle Mishaps: Assessment of the Role of Human Factors Using Human Factor Analysis and Classification System (HFACS)*. United States Air Force.
- Vargas, L., Gómez, M., & Gómez, R. (2013). Desarrollo de habilidades cognitivas y tecnológicas con aprendizaje móvil. *Revista de Investigación Educativa del Tecnológico de Monterrey*, 3(6), 30-39 <https://www.rieege.mx/index.php/rieege/article/view/76/40>

- Vakili, A., & Langdon, R. (2016). Cognitive Rehabilitation of Attention Deficits in Traumatic Brain Injury Using Action Video Games: A Controlled Trial. *Cogent Psychology*. <https://doi.org/10.1080/23311908.2016.1143732>
- Weigmann, D., & Shappell, S. (2001). *A Human Error Analysis of Comercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)*. U.S. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Whitlock, C. (2014, 20 de junio). Part One: When the Drones Fall from the Sky. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/sf/investigative/2014/06/20/when-drones-fall-from-the-sky/?tid=sm_fb&utm_term=.ee7b2cc02cd0
- Williams, K. (2004). *A summary of Unmanned Aircraft Accident/ Incident Data: Human Factors Implications*. U.S. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Williams, K. (2006). *Human Factors: Implications of Unmanned Aircraft Accidents: Flight-Control Problems*. Department of Transportation Federal Administration Aviation.
- Zhang, W., Feltner, D., J, Shirley, J., Swangnetr, M., & Kaber, D. (2016). Unmanned Aerial Vehicle Control Interface Design and Cognitive Workload: A Constrained Review and Research Framework. *2016 IEEE International Conferences on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. <https://doi.org/10.1109/smc.2016.7844502>