

# Pruebas cognitivas que determinan

## la alteración del tiempo de conciencia útil en los pilotos expuestos a hipoxia hipobárica: una revisión exploratoria

*Cognitive tests that determine the useful consciousness time in pilots exposed to hypobarichypoxia: a review*

 Juan M. Castro-Herrera<sup>1</sup> [juancashe@unisabana.edu.co](mailto:juancashe@unisabana.edu.co)  Eduardo Tuta-Quintero<sup>1</sup> [eduardotuqu@unisabana.edu.co](mailto:eduardotuqu@unisabana.edu.co)  Daniel Botero-Rosas<sup>1</sup> [daniel.botero@unisabana.edu.co](mailto:daniel.botero@unisabana.edu.co)

<sup>1</sup>Grupo de Investigación PROSEIM, Facultad de Medicina, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia.

Autor de correspondencia: Daniel Alfonso Botero-Rosas. MD, MSc, PhD. [daniel.botero@unisabana.edu.co](mailto:daniel.botero@unisabana.edu.co) Campus del Puente del Común, Km. 7, Autopista Norte de Bogotá, Chía, Cundinamarca, Colombia. Médico, MSc, PhD en ingeniería Biomédica, director del grupo de investigación PROSEIM, Profesor asociado al área de Morfofisiología, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia.

Financiación: Ninguna.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Received/Recibido: 06/28/2021 Accepted/Aceptado: 08/15/2021 Published/Publicado: 11/30/2021 DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.5791994>

### Resumen

**Introducción:** El reconocimiento de la hipoxia en aviación es importante para disminuir la accidentalidad aérea por error humano, debido que los pilotos durante la exposición a hipoxia presentan deterioro cognitivo que refleja un compromiso en el tiempo de conciencia útil para la toma de decisiones en vuelo.

**Objetivo:** Determinar la capacidad de las pruebas cognitivas para detectar la pérdida del tiempo de conciencia útil en pilotos de la Fuerza Aérea Colombiana durante el entrenamiento de hipoxia a 25.000 pies de altura.

**Metodología:** Revisión sistemática exploratoria de la literatura desde el 2010, incluyendo las siguientes bases de datos: PubMed, lilacs, Google Académico, Google patents, IEEE Xplore, Digital Library y SCOPUS con textos que aplicaran pruebas cognitivas en hipoxia.

**Resultados:** Se encontraron 12 artículos evaluando diferentes características del deterioro cognitivo. Los países de origen de los autores y el proceso del estudio fueron Estados Unidos de América (n=5), Francia (n=2) China (n=1), Pakistán (n=1), Nueva Zelanda (n=1), Canadá (n=1) y Hungría (n=1). En los artículos evaluados se utilizó el Mini Mental State Examination, la escala Wechsler de inteligencia para adultos, la evaluación de audición en serie estimulada, pruebas neurofisiológicas automatizadas y el test de King-Devick.

**Conclusiones:** Las pruebas evalúan cuatro esferas al piloto durante la exposición a la hipoxia: la comprensión verbal, el razonamiento perceptivo, la memoria de trabajo y la velocidad de procesamiento visual.

**Palabras Claves:** Hipoxia; Pilotos; Tiempo de Conciencia Útil; Pruebas Cognitivas.

### Abstract

**Introduction:** The recognition of hypoxia in aviation is very important to reduce air accidents due to human errors, since pilots during exposure to hypoxia present cognitive impairment reflecting a time of consciousness compromise in terms of decision-making during flights.

**Objective:** To determine the capacity of cognitive tests to recognize or detect the loss of useful consciousness time in the Colombian Air Force pilots during hypoxia training at 25 000 feet.

**Methods:** Systematic Exploratory Review of literature since 2010, including a database with texts that include the applicance of cognitive tests during hypoxia, from: PubMed, lilacs, Google Scholar, Google patents, IEEE Xplore, Digital Library and SCOPUS.

**Results:** 12 articles were found evaluating different characteristics of cognitive impairment. The author's origin countries and the study process were from United States of America (n=5), France (n=2), China (n=1), Pakistan (n=1), New Zealand (n=1), Canada (n=1), and Hungary (n=1). In these articles they employed the Mini Mental State Examination, the Wechsler Adult Intelligence Scale, the Paced Auditory Serial Addition Test, automated neurophysiological tests, and the King-Devick test.

**Conclusions:** The tests evaluate 4 spheres in the pilots during hypoxia exposure: listening, perceptual reasoning, the working memory, and the visual processing speed.

**Key words:** Hypoxia; Pilots; Useful Consciousness Time; Cognitive Tests.

## Introducción

Dentro de la aviación el factor humano como error ha sido investigado durante las últimas décadas y es considerado como la causa del 75% de los accidentes aéreos<sup>1</sup>. Los errores se describen en dos grupos: el primero basado en el rendimiento debido al deterioro de las habilidades adquiridas y el segundo debido a la falta de conciencia situacional, este último grupo se incluyen los errores de juicio y toma de decisiones, alcanzando entre un 52 y un 58% de los accidentes<sup>2</sup>. La hipoxia se enmarca como principal causa del agotamiento del tiempo de conciencia útil (TUC), lo que facilita el deterioro del juicio e inadecuada toma de decisiones. Esta situación crea la necesidad de generar más herramientas que permitan identificar de forma temprana y oportuna la hipoxia durante el vuelo<sup>2,3</sup>.

El TUC se ha utilizado como una medida de severidad de hipoxia hipobárica desde la segunda guerra mundial, sin embargo, existen limitantes en la evaluación de una prueba cognitiva determinante de este periodo de tiempo, debido a la variabilidad en la evaluación de los observadores y a la aplicación de diferentes herramientas para estimar el punto final utilizado por los investigadores<sup>4,5</sup>. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es resumir la capacidad de las pruebas cognitivas para detectar la pérdida del tiempo de conciencia útil en pilotos durante el entrenamiento de hipoxia a 25.000 pies de altura en pilotos de la Fuerza Aérea Colombiana, con el fin de mejorar las respuestas de emergencia a las incidencias hipoxicas.

## Metodología

Se realizó una revisión sistemática exploratoria siguiendo los pasos propuestos por Arksey<sup>6</sup> y revisados por Levac<sup>7</sup>: a) identificar la pregunta de investigación; b) buscar estudios relevantes; c) seleccionar estudios; d) extraer los datos, y e) resumir y reportar los resultados. Este estudio realiza una búsqueda de artículos publicados en bases de datos especializadas desde el año 2010, como PubMed, LILACS, Google Académico, Google patents, IEEE Xplore, Digital Library y SCOPUS. Para la selección del material se tuvo en cuenta los siguientes criterios de inclusión: patentes, seguimientos longitudinales, casos y controles, cohortes, corte transversal, artículos de revisión y metaanálisis; de igual manera se tomaron como criterios de exclusión los textos relacionados como cartas al editor, reportes de caso, hiperbárica, gravedad cero, desorientación espacial, aceleraciones y gravedades.

## Estrategia de Búsqueda

Para realizar la búsqueda de la información se tuvo presente la relación entre el entrenamiento en hipoxia hipobárica y el desarrollo de prueba cognitiva para la determinación del agotamiento del TUC. Se realizó una búsqueda con los siguientes descriptores: ("Cogn Int Conf Adv Cogn Technol Appl"[Journal] OR "cognitive"[All Fields]) AND ("research design"[MeSH Terms] OR "research"[All Fields] AND "design"[All Fields]) OR "research design"[All Fields] OR "test"[All Fields]) OR ("time"[MeSH Terms] OR "time"[All Fields]) AND ("consciousness"[MeSH Terms] OR "consciousness"[All Fields]) AND ("pilots"[MeSH Terms] OR "pilots"[All Fields] OR ("aircraft"[All Fields] AND "pilots"[All Fields]) OR "aircraft pilots"[All Fields]) AND ("hypoxia"[MeSH Terms] OR "hypoxia"[All Fields] OR hypobaric[All Fields]).

Las publicaciones seleccionadas se examinaron detalladamente para su lectura crítica y se empleó la extensión PRISMA para reportar revisiones sistemáticas exploratorias (PRISMA-ScR)<sup>8</sup>. La lista de chequeo diligenciada está disponible en el archivo suplementario 1. La evaluación de la elegibilidad de los estudios fue realizada por dos (2) revisores de manera independiente, estandarizada y no cegada, en caso de existir desacuerdo entre los revisores se resolvió mediante consenso.

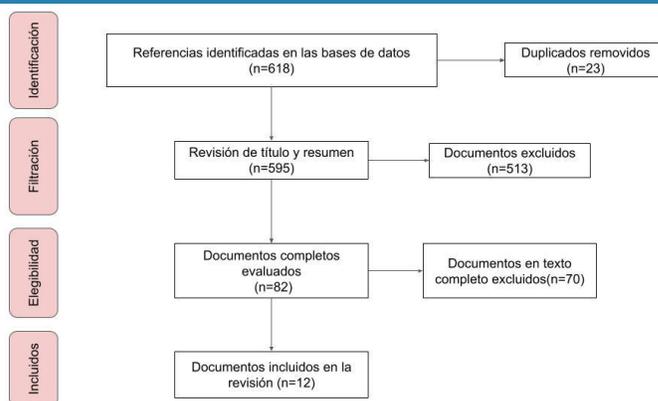
## Análisis de Datos

Los datos se procesaron de forma libre en una matriz de evidencias en Microsoft Excel, donde se depositó la información de identificación del artículo (autor, revista, año de publicación, país, título, población), Métodos (Objetivo, metodología, pruebas aplicadas), Resultados, desenlaces, recomendaciones y conclusiones finales.

## Resultados

Se encontraron 12 artículos evaluando diferentes características del deterioro cognitivo figura 1. Los países de origen de los autores y el proceso del estudio fueron Estados Unidos de América (n=5), Francia (n=2) China (n=1), Pakistán (n=1), Nueva Zelanda (n=1), Canadá (n=1) y Hungría (n=1). La totalidad de sujetos evaluados fueron 457. Las características generales de los artículos incluidos se encuentran en la tabla 1.

Figura 1. Flujograma PRISMA.



En tres artículos realizaron una evaluación con el breve examen del estado mental (MMSE por su sigla en inglés), uno lo aplicó de forma original presentando un deterioro cognitivo del 86.4% en la exposición a la hipoxia hipobárica a 5.500 metros en todos los sujetos evaluados<sup>9</sup>; los otros dos documentos lo adaptaron al tipo de metodología realizada por el investigador, reportando significancia estadística en todas las pruebas por encima de los 5.500 metros con una disminución de 74% en el índice de rendimiento de los pilotos evaluados<sup>10</sup>. Cuando se aplicó el MMSE a 25.000 pies de altura en hipoxia hipobárica se evidenció deterioro en el cálculo matemático del 9% y en el monitoreo auditivo del 11 %<sup>11</sup>.

La Escala Wechsler de inteligencia para adultos (WAIS por su sigla en inglés) se utilizó en tres documentos. Nation et al <sup>12</sup>, realizaron exposiciones en hipoxia hipobárica menores de 10 minutos a 20.000 pies de altura con cambios no significativos en memoria, atención, procesamiento visual, verbal y auditivo. Para Asmaro et al <sup>13</sup>, la prueba de WAIS adaptada en hipoxia hipobárica a 25.000

pies de altura presentó significancia estadística en el deterioro de la memoria de trabajo 1.2 veces con respecto al control sobre el nivel del mar. Cuando se aplicó el WAIS a pilotos de helicóptero en exposiciones de 14.000 pies de altura y permanencia mayor a 30 minutos disminuye su velocidad de procesamiento 2.6 veces con respecto al control en 8.000 pies de altura <sup>14</sup>.

**Tabla 1. Estudios que aplican test cognitivo en pilotos durante la exposición a hipoxia.**

Identificación del artículo	Métodos	Resultados
Asmaro et al. 2013 <sup>13</sup> . EUA. Se evaluaron 35 pilotos, 34 hombres y 01 mujer, entre 19 a 64 años.	HH a nivel de tierra, 17.500 y 25.000 pies de altura. Se aplicaron 3 pruebas y valoraron: WCST (atención selectiva y control inhibitorio), TMT (velocidad de ubicación visual) y MS (memoria a corto plazo).	Se presenta significancia estadística en la exposición a hipoxia a los 25.000 pies de altura con respecto a las otras 2 alturas evaluadas; en las tres pruebas aplicadas se evidenció mayor deterioro en la memoria de trabajo.
Zhifeng Qin et al <sup>10</sup> . 2011. China. Se evaluaron 9 sujetos, 05 hombres y 04 mujeres, entre 20 a 22 años.	HH a nivel de tierra, 3.500, 4.000, 4.500, 5.000 y 5.500 pies de altura. Aplicando 05 pruebas: Insertar palos en agujeros (coordinación); Atornillar y desatornillar tuercas (cantidad de tiempo); Determinar forma de figuras geométricas valorando su tiempo de reacción, (rendimiento y percepción); La cuarta, evaluó la fuerza de agarre con un dinamómetro; La quinta prueba consistió en determinar los síntomas subjetivos fisiológicos, psicológicos y ergonómicos.	Los resultados indican que la capacidad de operación de coordinación, tiempo de reacción, fuerza de agarre en las manos se redujo en todas las alturas 3500, 4000, 4500, 5000 y 5500 metros, sin embargo, solo existe significativa estadística en 5500 metros.
Ahmed Sadaf et al <sup>9</sup> . 2011. Pakistan. Se evaluaron 129 hombres pilotos con un promedio de edad de 28,32 años.	HH a 4500 y 5500 metros sobre el nivel del mar con MMSE. Valora 5 esferas: orientación temporo-espacial, memoria diferida, atención y cálculo, lenguaje y capacidad visoconstructiva.	Se presentaron cambios en las dos alturas sin ser significativos, el 86,4 % de la población presentó algún tipo de deterioro cognitivo.
Beer, J et al <sup>11</sup> . 2017. EUA. Se evaluaron 12 pilotos, 9 hombres, 3 mujeres con una media de 29,9 años.	HH a 18.000 y 25.000 pies de altura, aplicando 4 tareas, la primera es la memoria a corto plazo; La segunda tarea es una suma de dos números; La tercera es una tarea visual de seguimiento del indicador de combustible; la última tarea es un control auditivo al escuchar dos tonos diferentes dentro de los siguientes 3 segundos debe reconocer el de alerta.	Se presentó significancia estadística en todas las tareas. Sin embargo, con mayor deterioro cognitivo en el cálculo matemático y monitoreo auditivo con un 9 y 11 % respectivamente.
S.J. Legg et al. 2015 <sup>18</sup> . Nueva Zelanda. Se evaluaron 36 pilotos, todos hombres, entre los 18 y 40 años.	HH a 0, 8.000, y 12.000 pies de altura, aplicando las ANAM, valorando, Estado de ánimo; Cognición compleja: relaciones lógicas, rotación espacial tridimensional (prueba de maniquí), procesamiento matemático, memoria, atención selectiva (stroop test) y resolución de problemas (rompecabezas de torre).	No se evidenciaron cambios significativos en los 15 minutos de aplicación de las pruebas en 8.000 y 12.000 pies de altura.
Stepanek, J. et al <sup>20</sup> . 2013. EUA. Se evaluaron 25 sujetos, 14 hombres y 11 mujeres entre 18 y 55 años.	HH simulando 23.300 pies de altura sobre el nivel del mar, se les aplicó la prueba cognitiva de King-Devick, consistente en la lectura de una serie de números en voz alta de izquierda a derecha en tres cartas diferentes.	Se concluyó que aumenta el tiempo de finalización de la prueba en un 18% con una potencia estadística del 95%, el número de errores aumentó 4 veces con respecto a la línea de base en normoxia.
Bouak, F. et al <sup>14</sup> . 2018. Canadá. Se evaluaron 16 pilotos hombres de helicóptero con promedio de edad de 32,5 años.	Simulando HH, a diferentes alturas 8.000, 10.000, 12.000, y 14.000 pies de altura; se aplicaron 3 pruebas: Memoria a corto plazo, Memoria de trabajo y función ejecutiva.	Se evidenciaron cambios significativos en 14.000 pies de altura con exposiciones mayores a 30 minutos.
Nation, D. A. et al <sup>12</sup> . 2017. EUA. Se evaluaron 17 pilotos de los Marines 14 hombres y 3 mujeres con edad promedio de 31,1 años.	HH a 20.000 pies de altura comparado con el nivel del mar, aplicando pruebas neuropsicológicas como la WAIS y CVLT	Encontraron cambios no significativos a 20.000 pies por exposiciones menores a 10 minutos en el aprendizaje del listado de palabras y atención auditiva.
Malle, C. et al. 2016 <sup>16</sup> . Francia. Se evaluaron 86 pilotos hombres con edad promedio de 29,4 años.	HH a 25.000 pies de altura comparado en normoxia, con la PASAT	La exposición aguda a la hipoxia causó deterioro en la memoria de trabajo con un 50% menos en el tiempo de conciencia útil con respecto al grupo no expuesto
Malle, C. et al. 2013 <sup>15</sup> . Francia. Se evaluaron a 57 pilotos hombres con edad promedio de 23,9 años.	HH a 31.000 pies de altura comparado con el nivel del mar, con la PASAT	Encontraron el 55% en error de cálculo y 33,7% en omisiones con un promedio de 156,7 segundos de tiempo de conciencia útil.
Takács, E. et al. 2017 <sup>17</sup> . Hungría. Se evaluaron 25 pilotos de helicóptero masculinos con promedio de edad de 35,4 años.	HH a 5.500 metros sobre el nivel de mar y se aplicó 4 pruebas auditivas: Voz, Stroop task, GNG y por tiempo de reacción	En el Stroop de voz aumentó de 49,4 a 83,6 ms, para el tiempo de reacción aumentó 4,1 a 12,3% para la exactitud, en el nombre de Stroop de 43,5 a 82,9 ms para el tiempo de reacción, La exactitud se redujo desde 82,3 hasta 75,0% en tiempo de reacción y 85,8 a 77,5% en la tarea GNG.
Peacock, C. et al col. 2016 <sup>19</sup> . EUA. Se evaluaron 10 pilotos hombres entre 18 y 45 años.	HH a 12.000 pies de altura con dos pruebas de funcionamiento cognitivo, el POMS y las ANAM4	Los resultados POMS analizaron el estado negativo de ánimo (tensión, la depresión, la ira, la fatiga y la confusión) y el estado de ánimo total. Tanto en memoria, atención y estado de ánimo mostró deterioro de acuerdo con la exposición en comparación con normobárica sin significancia estadística.

Notas: EUA, Estados Unidos de América; HH, Hipoxia hipobarica; WCST, Word color stroop task; TMT, Trail making test; MS, memory Span; MMSE, Mini Mental State Examination; ANAM, pruebas neurofisiológicas automatizadas; WAIS, Escala Wechsler de inteligencia para adulto; CVLT, California Verbal Learning Test; PASAT prueba de audición en serie estimulada; GNG, Go and no Go task; POMS, perfil de los estados de ánimo; ANAM4, pruebas de función ejecutiva.

La evaluación de audición en serie estimulada (PASAT por su sigla en inglés), se observó en tres textos, en el primero, se realizó exposición a hipoxia hipobárica a 31.000 pies de altura con un promedio de conciencia útil de 156,7 segundos, un error de cálculo del 55% y 33.7% de omisiones<sup>15</sup>. La segunda evaluación PASAT se realizó a 25.000 pies de altura en hipoxia normobárica con un promedio de 163,3 segundos de tiempo de conciencia útil y un deterioro del 50% en la memoria de trabajo<sup>16</sup>. La tercera evaluación PASAT se realizó a pilotos de helicóptero en hipoxia hipobárica a 5.500 metros sobre el nivel del mar evidenciando disminución en el tiempo de reacción del 85.8 al 77.5%, el reconocimiento de voz aumento de 49,4 a 83,6 milisegundos, la exactitud se redujo de 82.3 hasta 75.0% en las tareas asignadas<sup>17</sup>.

Las pruebas neurofisiológicas automatizadas (ANAM por su sigla en inglés) las evaluaron Legg<sup>18</sup> y Peacock<sup>19</sup> realizando una exposición a hipoxia hipobárica a 12.000 pies de altura por menos de 15 minutos evidenciando cambios no significativos en la cognición compleja, procesamiento matemático, memoria, atención selectiva y resolución de problemas. Stepanek et al<sup>20</sup>, experimentaron hipoxia normobárica a 23.300 pies de altura, aplicando la prueba cognitiva de King-Devick evidenciando aumento en el tiempo de finalización de la prueba en un 18% y el número de errores aumento 4 veces con respecto a la normoxia.

## Discusión

En esta revisión bibliográfica no se encuentra una evaluación estándar para correlacionar con pilotos de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), sin embargo, se evidencian cuatro grandes esferas en la evaluación del piloto durante la exposición a la hipoxia: la comprensión verbal valorada por la formación de conceptos por medio de la identificación de objetos y semejanzas, el razonamiento preceptivo valorado por la capacidad de interpretación y organización por medio de matrices, rompecabezas y figuras, la memoria de trabajo valorada por la retención de información a corto plazo por medio de problemas aritméticos, series de letras, números o dígitos de forma directa u orden inverso, y por último la velocidad de procesamiento visual de la manera más eficiente y rápida por medio de claves, números, símbolos y discriminación de formas geométricas o colores<sup>21</sup>.

La evaluación cognitiva de Montreal (MoCA) evalúa las disfunciones cognitivas leves como: atención, concentración, funciones ejecutivas, memoria, lenguaje, capacidades visuales-espaciales, cálculo y orientación, con un tiempo menor a 10 minutos. El puntaje máximo es de 30 con un puntaje superior a 26 es normal. Sin embargo, no ha tenido una utilización importante en la medicina aeroespacial en tripulantes durante los entrenamientos de hipoxia<sup>22</sup>, siendo limitada su utilidad en pilotos de la FAC.

El MMSE originalmente fue creado por Folstein en 1975, su objetivo inicial es detectar lesiones cerebrales asociadas a causa orgánica tipo demencia, depresión y Alzheimer<sup>9-11</sup>. Dentro de sus principales ventajas se encuentra el libre acceso, versión en español validada, fácil administración, detección de deterioro cognitivo leve, rapidez en calificación<sup>23</sup>, incluso en ámbitos como la aviación en pilotos durante hipoxia hipobárica a 4500

y 5500 metros sobre el nivel del mar determinando deterioro cognitivo y tiempo de reacción<sup>9,11</sup>. Beer et al<sup>11</sup>, realizaron a 25.000 pies de altura en hipoxia hipobárica en la Base Aérea de Brooks, USA, encontrando deterioro en el cálculo matemático y auditivo, este último ejercicio es similar en el perfil de vuelo y de entrenamiento de la FAC en la actualidad.

Las pruebas neurofisiológicas automatizadas (ANAM por sus siglas en inglés) implementadas por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, con énfasis en razonamiento lógico y detección selectiva, se utiliza para los pacientes con traumatismo cerebral tipo conmoción en su seguimiento y control, evaluando tiempo de reacción, procesamiento matemático, códigos de sustitución, rendimiento en coincidencias y precisiones; dentro de sus desventajas se encuentra el tiempo para la aplicación, el cual puede ser superior a 30 minutos para la determinación de la conducta y evolución de la patología<sup>24,25</sup>. En el medio aeronáutico, Peacock et al<sup>19</sup>, las aplicó en 10 pilotos en cámara de altura a 12.000 pies de altura con las pruebas de función ejecutiva (ANAM4), los resultados evaluaron razonamiento lógico, centrados en la atención y la memoria observando deterioro cognitivo en comparación con normobárica sin significancia estadística. Para el entrenamiento de la Fuerza Aérea Colombiana no aplica este protocolo de ANAM4 por el tiempo y alturas del ejercicio en la exposición a la hipoxia.

El King-Devick test, es un método cuantitativo de evaluación de los movimientos sacádicos del ojo el diseño, indicado en una función cerebral inadecuada en: conmoción cerebral, migraña, esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson, hipoxia, privación de sueño y Alzheimer<sup>26</sup>. Stepanek et al<sup>20</sup>, trabajo con la Fuerza Aérea de Suiza, experimentando hipoxia normobárica con una disminución de oxígeno al 8 % simulando 23.300 pies de altura con 25 pilotos, a los cuales se les aplicó el test cognitivo de King-Devick, después de 3 minutos de estar respirando la mezcla de gas que genera la hipoxia normobárica, se cuantifican el número de errores y tiempo de reacción. En los pilotos de la FAC esta prueba no aplicaría, debido a que el entrenamiento se realiza en hipobárica, sin embargo, se podría realizar una adaptación evaluando los movimientos sacádicos.

La prueba de adición en serie auditiva estimulada (PASAT) es un test utilizado para evaluar la capacidad de procesamiento de información, memoria de trabajo, atención sostenida y dividida, utilizado en lesiones cerebrales, actualmente se utiliza en esclerosis múltiple determinando el deterioro cognitivo<sup>27</sup>. Para la aviación, Takács et al<sup>17</sup>, realizó un estudio aplicando PASAT con 25 pilotos de ala rotatoria masculinos en hipoxia hipobárica a 5.500 metros sobre el nivel de mar en el instituto cognitivo de Neurociencias en Budapest, Hungría, observando una disminución del 8,2% en el tiempo de reacción, este test no sería aplicable a los pilotos colombianos porque las alturas utilizadas, no corresponden a los planes de vuelo en Colombia.

## Conclusión

Las pruebas evalúan cuatro esferas al piloto durante la exposición a la hipoxia: la comprensión verbal, el razonamiento perceptivo, la memoria de trabajo y la velocidad de procesamiento visual. La MoCA y el MMSE cumplen criterios de selección, pragmáticos, pronósticos y concepto de expertos, sin embargo, se puede aplicar lo mejor de los dos para que pueda ser validado e implementado como el patrón de referencia de la FAC.

## Referencias

1. Kharoufah H, Murray J, Baxter G, Wild G. A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From 2000–2016. *Progr Aerosp Sci.* 2018 1;99: 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.002>.
2. Morris MB, Wiedbusch MD, Gunzelmann G. Fatigue Incident Antecedents, Consequences, and Aviation Operational Risk Management Resources. *Aerosp Med Hum Perform.* 2018 Aug 1;89(8):708-716. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5019.2018>.
3. DoD HFACS. (2017). Department of Defense Human Factors Analysis and Classification System A mishap investigation and data analysis tool Executive Summary. Disponible en: [https://www.public.navy.mil/NAVSAFECEN/Documents/aviation/aeromedical/DOD\\_HF\\_Anlys\\_Clas\\_Sys.pdf](https://www.public.navy.mil/NAVSAFECEN/Documents/aviation/aeromedical/DOD_HF_Anlys_Clas_Sys.pdf).
4. Izraeli S, Avgar D, Glikson M, Shochat I, Glovinsky Y, Ribak J. Determination of the “time of useful consciousness” (TUC) in repeated exposures to simulated altitude of 25,000 ft (7,620 m). *Aviat Space Environ Med.* 1988 Nov;59(11 Pt 1):1103-5.
5. Shaw DM, Cabre G, Gant N. Hypoxic Hypoxia and Brain Function in Military Aviation: Basic Physiology and Applied Perspectives. *Front Physiol.* 2021 May 17;12:665821. doi: 10.3389/fphys.2021.665821.
6. Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework. *Int J Soc Res Methodol.* 2005;8:19-32. <https://doi.org/10.1093/geront/gnz021>
7. Levac D, Colquhoun H, O'Brien KK. Scoping studies: advancing the methodology. *Implement Sci.* 2010;5:69. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
8. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Ann Intern Med.* 2018;169:467. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>.
9. Ahmed, S. CHANGES IN THE COGNITIVE STATE IN HYPOBARIC HYPOXIC CONDITIONS IN PAKISTAN. *PAFMJ* [Internet]. 31Dec.2011 [cited 29Aug.2021];61(4):606-. Available from: <https://pafmj.org/index.php/PAFMJ/article/view/1153>
10. Zhifeng Qin, Huimin Hu, L. Ding, Huajun Xiao and Jing Li, “Hand performance changes under acute exposure to moderate and mild hypobaric hypoxia,” 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 2011, pp. 7617-7622, doi: 10.1109/RSETE.2011.5966138.
11. Beer JMA, Shender BS, Chauvin D, Dart TS, Fischer J. Cognitive Deterioration in Moderate and Severe Hypobaric Hypoxia Conditions. *Aerosp Med Hum Perform.* 2017 Jul 1;88(7):617-626. doi: 10.3357/AMHP.4709.2017.
12. Nation DA, Bondi MW, Gayles E, Delis DC. Mechanisms of Memory Dysfunction during High Altitude Hypoxia Training in Military Aircrew. *J Int Neuropsychol Soc.* 2017 Jan;23(1):1-10. doi: 10.1017/S1355617716000965.
13. Asmaro D, Mayall J, Ferguson S. Cognition at altitude: impairment in executive and memory processes under hypoxic conditions. *Aviat Space Environ Med.* 2013 Nov; 84(11):1159-65. doi: 10.3357/ASEM.3661.2013.
14. Bouak F, Vartanian O, Hofer K, Cheung B. Acute Mild Hypoxic Hypoxia Effects on Cognitive and Simulated Aircraft Pilot Performance. *Aerosp Med Hum Perform.* 2018 Jun 1;89(6):526-535. doi: 10.3357/AMHP.5022.2018.
15. Malle C, Quinette P, Laisney M, Bourrilhon C, Boissin J, Desgranges B, et al. Working memory impairment in pilots exposed to acute hypobaric hypoxia. *Aviat Space Environ Med.* 2013 Aug;84(8):773-9. doi: 10.3357/ASEM.3482.2013.
16. Malle C, Bourrilhon C, Quinette P, Laisney M, Eustache F, Piérard C. Physiological and Cognitive Effects of Acute Normobaric Hypoxia and Modulations from Oxygen Breathing. *Aerosp Med Hum Perform.* 2016 Jan;87(1):3-12. doi: 10.3357/AMHP.4335.2016.
17. Takács E, Czizler I, Pató LG, Balázs L. Dissociated Components of Executive Control in Acute Hypobaric Hypoxia. *Aerosp Med Hum Perform.* 2017 Dec 1;88(12):1081-1087. doi: 10.3357/AMHP.4771.2017.
18. Legg SJ, Gilbey A, Hill S, Raman A, Dubray A, Iremonger G, et al. Effects of mild hypoxia in aviation on mood and complex cognition. *Appl Ergon.* 2016 Mar;53 Pt B:357-63. doi: 10.1016/j.apergo.2015.10.002.
19. Peacock CA, Weber R, Sanders GJ, Seo Y, Kean D, Pollock BS, et al. Pilot physiology, cognition and flight performance during flight simulation exposed to a 3810-m hypoxic condition. *Int J Occup Saf Ergon.* 2017 Mar;23(1):44-49. doi: 10.1080/10803548.2016.1234685.
20. Stepanek J, Cocco D, Pradhan GN, Smith BE, Bartlett J, Studer M, Kuhn F, Cevette MJ. Early detection of hypoxia-induced cognitive impairment using the King-Devick test. *Aviat Space Environ Med.* 2013 Oct;84(10):1017-22. doi: 10.3357/ASEM.3616.2013.
21. Benson N, Hulac DM, Kranzler JH. Independent examination of the Wechsler Adult Intelligence Scale-Fourth Edition (WAIS-IV): what does the WAIS-IV measure? *Psychol Assess.* 2010 Mar;22(1):121-30. doi: 10.1037/a0017767.
22. Loureiro C, García C. Uso de la evaluación cognitiva de Montreal (MoCA) en América Latina: una revisión sistemática. *Rev Neurol* 2018; 66 (12): 397-408. DOI: <https://doi.org/10.33588/rn.6612.2017508>
23. Llamas-Velasco S, Llorente-Ayuso L, Contador I, Bermejo-Pareja F. Versiones en español del Minimental State Examination (MMSE). Cuestiones para su uso en la práctica clínica. *Rev Neurol* 2015;61 (08):363-371. doi: 10.33588/rn.6108.2015107.
24. Norris JN, Carr W, Herzig T, Labrie DW, Sams R. ANAM4 TBI reaction time-based tests have prognostic utility for acute concussion. *Mil Med.* 2013 Jul;178(7):767-74. doi: 10.7205/MILMED-D-12-00493.
25. Holden J, Francisco E, Tommerdahl A, Lensch R, Kirsch B, Zai L, et al. Methodological Problems with Online Concussion Testing. *Front Hum Neurosci.* 2020 Oct 1;14:509091. doi: 10.3389/fnhum.2020.509091.
26. Torcal Cano, M. G. Relación entre los movimientos sacádicos y la comprensión y velocidad lectora. *Unir. Madrid.* 2012. Disponible en: <http://reunir>.
27. Tombaugh TN. A comprehensive review of the Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT). *Arch Clin Neuropsychol.* 2006 Jan;21(1):53-76. doi: 10.1016/j.acn.2005.07.006.