

## Complexity in assessment of fatigue in aviation: some used methods.

### Complejidad en la evaluación de la fatiga operacional: algunas herramientas utilizadas.

Alejandro Vieyra-González <sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-6947-3733>, Vicente Lozada-Balderrama <sup>1</sup>,  
 <https://orcid.org/0000-0003-1613-5690>, Armando Rodríguez López <sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-1099-8540>

<sup>1</sup> ENMH, Programa de Maestría en Ciencias en Salud Ocupacional, Seguridad e Higiene, Instituto Politécnico Nacional

Correo electrónico de contacto: avieyrag2100@alumno.ipn.mx

Fecha de envío: 03/11/2022

Fecha de aprobación: 10/10/2022

#### Abstract

**Introduction:** Operational fatigue is a physiological state that involves a reduction of physical and/or mental capacities and might jeopardize safety in aerial operations. This pathology that could develop in any aviation personnel has increased its prevalence due to the fast-growing demands of the industry favoring modifications of the pilots' journeys like longer flying and service times, rotating and night shift working.

**Review:** Aiming to mitigate operational fatigue many efforts to assess, measure, and predict it has been made, approaching it by its causes and manifestations that altogether result in a lot of ways to study this pathology. Tangible or objective manifestations have been searched individually in organs, in the whole apparatus, and by tests that bring many body systems together. Subjective tests, even easier to apply, might represent limitations and disadvantages since they depend on what the contestant would like to answer.

**Conclusion:** The complexity of the phenomenon has generated a tendency to use more than one test to assess operational fatigue. This is the right practice at least until validation of subjective tests can be carried out and its application allows constant and credible evaluations.

**Keywords:** fatigue, pilots, aerial

#### Resumen

**Introducción:** La fatiga operacional es un estado fisiológico que implica la reducción del desempeño físico y/o mental que puede representar un riesgo para la seguridad en las operaciones aéreas; esta patología puede presentarse en todo el personal técnico aeronáutico y ha aumentado su prevalencia debido a las crecientes demandas a la industria de la aviación, propiciando modificaciones en las jornadas laborales de los pilotos como mayores tiempos de vuelo y servicio, rotación de turnos y trabajo nocturno.

**Desarrollo:** Con el objetivo de mitigar la fatiga se han realizado diversos esfuerzos para evaluarla, cuantificarla y predecirla, abordándola desde sus causas y manifestaciones, las cuales en conjunto suman un gran número de formas de aproximación a la patología. Las manifestaciones tangibles u objetivas se han buscado en órganos aislados y en aparatos, así como mediante pruebas que integran a la vez varios sistemas del cuerpo. Las pruebas subjetivas, aunque más fáciles de aplicar pueden presentar desventajas y limitaciones ya que dependen de lo que el respondiente quiera manifestar.

**Conclusión:** La complejidad del fenómeno ha generado una tendencia en ocupar más de una prueba para evaluar la fatiga operacional, lo cual para los autores se traduce como un acierto, al menos hasta el punto de que la validación de las pruebas subjetivas en la población de una empresa determinada permita las evaluaciones constantes y fehacientes a través de sólo herramientas como tests o escalas.

**Palabras clave:** Medicina aeroespacial, Aviación, Pilotos, Fatiga.

Revisiones del estado del arte

## Introducción.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) define la fatiga como un estado fisiológico caracterizado por reducción del desempeño mental o físico y determina que ésta resulta de una alta carga de trabajo mental o física, disrupción circadiana y /o periodos prolongados de vigilia (OACI, 2016); en este sentido. Leimann (1985) añade dentro de las causas, una variable interna que denomina condiciones endógenas hipersensibilizantes, la cual invita a individualizar la evaluación de esta condición en cada persona que la presente sin perder de vista el contexto físico, psíquico y social en el que se desenvuelve.

Como toda patología, la fatiga presenta signos y síntomas, por lo que con el objetivo de evaluarla y predecirla se han desarrollado herramientas como cuestionarios que indaguen en la parte sintomatológica pero también se han buscado parámetros observables, tangibles y medibles en el cuerpo humano que permitan establecer el grado en el que una persona la experimenta.

El objetivo del presente ensayo es evidenciar la complejidad que representa la evaluación de la fatiga operacional a través de la descripción de algunas herramientas utilizadas en el medio aeronáutico para lograr tal fin. En la mayor parte de los estudios dichas herramientas se han utilizado aisladamente, buscando evaluar y cuantificar la fatiga a través de la respuesta a algún instrumento de evaluación escrito o escala, o mediante la observación de algún aparato o sistema del cuerpo humano. Sin embargo, sólo en algunas de las investigaciones y conociendo la complejidad del fenómeno se intenta analizar más de un sistema o abordar sus dimensiones tanto objetiva como subjetiva.

Es importante mencionar que además del intento de identificar los signos y/o síntomas de la fatiga para su medición, los estudios conducidos actualmente sobre fatiga en pilotos suelen ir acompañados de bitácoras de sueño, cuestionarios de carga laboral, o del uso sensores

de actividad que permiten contabilizar la cantidad de sueño en los tripulantes, entre otros. Esto nos hace pensar que a pesar del tiempo en el que la fatiga se ha intentado asociar a determinados signos o síntomas, los investigadores aún consideran necesario realizar una evaluación más profunda que permita cotejar si las presuntas causas mencionadas como carga mental o calidad y cantidad de sueño están verdaderamente relacionadas con el fenómeno.

## Evaluación objetiva de la fatiga operacional.

Como se mencionó anteriormente, los signos, es decir, los componentes observables, y tangibles de la fatiga, se han buscado en diferentes órganos y sistemas del cuerpo humano y las herramientas desarrolladas se han enfocado tanto en la búsqueda de cambios aislados en tales, perdiendo de vista que los órganos y sistemas a su vez pertenecen a un suprasistema tan avanzado como lo es el ser humano.

## Búsqueda de cambios asociados a fatiga aisladamente en órganos.

En un estudio que involucró la realización de electroencefalografías (EEG) a pilotos de helicóptero, aplicadas por Caldwell et al. (2002), se observó que el cerebro ha presentado cambios conmensurables en condiciones de fatiga, se comprobó una correlación entre el incremento de horas de privación de sueño con un aumento en vuelo de la actividad theta, regularmente presente en la transición vigilia-sueño, así como con una acentuación de la actividad delta de baja frecuencia que en adultos sanos sólo está presente en una de las fases más profundas del sueño.

Otro de los órganos ampliamente estudiados en búsqueda de cambios asociados a fatiga es el ojo, en el cual se han detectado modificación de diferentes parámetros cuando el individuo tiene alta carga mental, privación de sueño o manifiesta sentirse fatigado. Uno de los fenómenos que se

### Revisiones del estado del arte

han estudiado en el ojo ha sido el parpadeo, son varios los parámetros estudiados al parpadeo como la tasa, duración y amplitud. En un estudio efectuado en simulador de vuelo a pilotos bajo condiciones controladas de privación de sueño, se identificó un decremento en la amplitud del parpadeo (grado de apertura o cierre ocular durante el mismo) a medida que el tiempo frente al simulador avanzaba, lo anterior se pudiera explicar por el mismo decremento en la apertura ocular a medida que el tiempo en la tarea incrementaba. En la misma investigación se identificaron cambios en el número de cierres oculares de más de 500 ms y la tasa de parpadeo a medida que el tiempo en la tarea iba acumulándose (Morris & Miller, 1996).

Al respecto, en una revisión de la literatura hecha por Stern, Boyer y Schroeder (1994) la agencia Federal de Aviación de los Estados Unidos sugirió el incremento en la tasa de parpadeo como una manifestación de fatiga.

No obstante, la apertura ocular tanto en grado como en sus variaciones al parpadear, no han sido los únicos fenómenos estudiados al ojo. En un estudio conducido por Di Stasi et al. (2016) encontraron el pico máximo de la velocidad de movimientos sacádicos disminuido post vuelo en pilotos de helicópteros sometidos a misiones de vuelo de larga duración (más de 90 min) a través de la colocación de un casco con un sistema de rastreo ocular.

### Cambios asociados a fatiga que involucran aparatos o sistemas.

Una herramienta que involucra diversos sistemas y vías neurológicas para la determinación de fatiga es la prueba de vigilancia psicomotriz (PVT), del término anglosajón *Psychomotor Vigilance Task* la cual ha sido implementada en diferentes estudios en pilotos militares y comerciales. La prueba consiste en un sistema de pantalla y un botón que se opera manualmente, en la pantalla aparecerán varios estímulos durante un tiempo determinado con separación temporal diferente entre cada estímulo. Al aparecer un estímulo en la pantalla el piloto

debe en el menor tiempo posible presionar el botón. En la prueba se consideran válidos los intentos en los que transcurren de 150 ms a 500 ms entre el estímulo y oprimir el botón, en caso de que el botón se presione antes de los 150 ms el intento se considera falsa alarma y si se demora más de 500 ms el intento es considerado como lapso; a los estímulos válidos se les determina la velocidad de reacción (Naeeri, Kang, Mandal, & Kim, 2021).

En un grupo de aerolíneas de corto alcance, en el que se aplicó la PVT, se observó un incremento el número de lapsos, así como una disminución en la velocidad de reacción en quienes habían volado varios tramos e/o iniciado su jornada muy temprano por la mañana y/o terminando la misma muy tarde. (Arintescu, Chachad, Gregory, Mulligan, & Flynn-Evans, 2020). Si bien varios autores coinciden en que la PVT es una buena herramienta para la evaluación y predicción de fatiga, su desventaja radica en que la tarea que se está ejecutando, al momento de necesitarse la evaluación, tiene que ser suspendida para realizar la prueba.

Aunque la temperatura global ha sido evaluada y su descenso claramente establecido en individuos fatigados dentro de otros grupos de trabajadores, no se encontraron reportes en la literatura sobre estudios del fenómeno en pilotos.

En una investigación (Lindert, Brujei, van der Meijden, & Van Someren, 2012) donde se estudió globalmente el sistema metabólico, buscando oscilaciones de temperatura corporal en pilotos bajo condiciones de sueño controladas, se determinó que un incremento en el gradiente de temperatura distal-proximal estuvo asociado con la somnolencia subjetiva y el tiempo de descanso en cama.

### Evaluación subjetiva o sintomatológica de la fatiga operacional.

### Revisiones del estado del arte

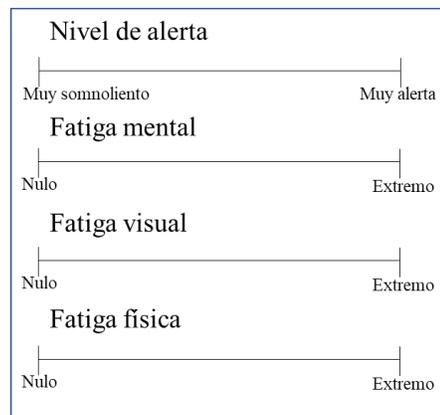
En el intento de evaluar la fatiga en ambientes donde no existe posibilidad de utilizar aparatos y de tomar en cuenta la opinión sobre los síntomas de los aviadores, se han desarrollado y modificado escalas y cuestionarios de evaluación subjetiva de fatiga. Sin embargo, ya que cada una de las escalas analiza diversas subdimensiones subjetivas de la fatiga resulta finalmente necesario emplear más de una, derivando en protocolos experimentales de alta complejidad y mayor riesgo de pérdida de información (Hu & Lodewijks, 2020).

Una de las escalas más utilizadas tanto por su facilidad para responder como por su practicidad para el análisis y posterior correlación, es la escala visual análoga (VAS-*F* o VAFS por sus siglas en inglés). Dicha escala puede comprender una pregunta o varias, ya que es adaptable a la dimensión de la fatiga que se desee conocer, en este sentido, Bourgeois-Bougrine et. al (2003) para medir y comparar la fatiga autopercebida entre pilotos de rutas de corta distancia contra los de larga distancia, solicitaron contestar a sus pilotos la pregunta “con respecto a su tiempo de servicio durante los últimos siete días, indique su nivel de fatiga (dibuje una marca en la línea entre los adjetivos apropiados, de acuerdo con su sensación)” mostrando después una línea en la que el piloto debería colocar la marca solicitada.

A diferencia del estudio anterior, en uno conducido por LeDuc et al. (2005) a los pilotos se les solicitó ponderar las diversas percepciones de varios componentes de fatiga que pudieran tener, marcándolas en diferentes líneas (Figura 1).

**Figura 1.** Escala visual análoga para diversos componentes de fatiga.

*Nota:* Adaptación al español por los autores, tomado de LeDuc,



*P., Greig, J., & Dumond, S. (2005). Involuntary eye responses as measures of fatigue in US Army Apache aviators. Aviation, Space and Environmental Medicine.*

Dentro del mismo formato de las VAS, en diversos estudios que se refieren a fatiga, en los que se busca tomar en cuenta la carga mental como uno de los factores de riesgo para su desarrollo, se ha empleado la National Aeronautics and Space Administration Task Load Index Inventory (NASA-TLX) la cual consiste en 6 preguntas que deberán ser ponderadas sobre una recta con 21 marcas, las preguntas están orientadas a explorar carga mental, carga física, trabajo bajo presión, esfuerzo, desempeño y nivel de frustración.

Otro tipo de escalas utilizadas en innumerables investigaciones derivado de la amplia difusión y recomendación que realiza la OACI sobre su empleo, son las escalas de Karolinska (Akerstedt & Gillberg, 1990) posteriormente modificada por Baulk, Reyner y Horne (2001) y Samn-Perelli (Samn & Perelli, 1982), ambas escalas tienen un formato tipo Likert en las que los pilotos deben evaluar y seleccionar la oración que más aplique a su estado de alerta/somnolencia al momento de contestarla, la diferencia entre ambas radica en el número de niveles, siendo de 7 y 9 respectivamente, como se muestra en la Tabla 1.

Revisiones del estado del arte

**Tabla 1**

*Reactivos contemplados en escalas de somnolencia.*

Escala de fatiga de Sann-Perelli Traducción al español por OACI (2016)	Escala de somnolencia de Karolinska
1. Completamente exhausto, incapaz de trabajar eficazmente.	1. Extremadamente alerta
2. Moderadamente cansado, con gran dificultad de concentración.	2. Muy alerta
3. Moderadamente cansado, agotado.	3. Alerta
4. Algo cansado	4. Poco alerta
5. Buen estado, bastante despejado	5. Ni alerta ni somnoliento
6. Muy animado, atento, pero sin desempeño máximo.	6. Algunos signos de somnolencia
7. Plenamente alerta y muy despierto	7. Somnoliento pero sin esfuerzo para mantenerme alerta
	8. Somnoliento con algún esfuerzo para mantenerme alerta
	9. Muy somnoliento, gran esfuerzo para mantenerme alerta, peleando contra el sueño.

*Nota: La escala de Karolinska (Akerstedt & Gillberg, 1990; Baulk Reyner & Horne, 2001) fue adaptada y traducida del inglés al español para efectos de este ensayo.*

En algunos estudios como el conducido por Gander et. al (2013), en que se aplicaron ambas escalas, no se reporta alguna diferencia o justificación entre los resultados y asociaciones al haber utilizado una y otra.

Si bien estas escalas y cuestionarios citados anteriormente se han centrado a la evaluación de alguna de las causas y contribuyentes al desarrollo de fatiga, otros autores señalan la necesidad de estudiar a los sujetos a partir de las operaciones sostenidas que realizan en su puesto de trabajo los trabajadores, tal y como lo describen Retzlaff y King (1997), quienes publicaron una herramienta de evaluación denominada: Evaluación del Perfil en Operaciones Sostenidas (Sustained Operations Assessment Profile: SOAP, por su siglas en inglés), la cual fue desarrollado en el Laboratorio de Investigación Armstrong de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos para medir la fatiga en el personal militar y civil que participa en operaciones sostenidas, que mediante una lista de 90 preguntas cortas, agrupadas en 10 escalas evalúa concentración, aburrimiento, reacciones lentas, ansiedad, depresión, irritabilidad, fatiga/baja energía, falta de

sueño, frustración laboral y malestar físico, con lo cual se pretende cubrir las dimensiones cognitiva, afectiva e impulsiva del individuo, escala que busca tener mayor exactitud en la evaluación de este fenómeno tan complejo.

El SOAP ha sido utilizado principalmente en población militar, son pilotos de combate, militares en tierra y submarinistas; en esta última población, Paul, Ebisuzaki, McHarg, Hursh, & Miller, (2012) estudiaron una fragata clase Halifax de 45 submarinistas de la Marina Real Canadiense, al final de la operación Nanook 2011 en el ártico, durante la transición del ártico alto a Halifax (8 días a bordo), evaluaron los horarios de vigilancia del personal a bordo, a fin de valorar la eficacia cognitiva de dicha población, utilizaron el test SOAP antes y después de la transición, los autores encontraron altos niveles de dificultad para concentrarse, depresión, fatiga, frustración laboral y malestar físico después de la transición, destacando que el calendario de vigilancia de dicha flota de superficie no es óptimo, ya que resulta en niveles preocupantes de efectividad cognitiva en muchos de los marineros evaluados.

En otro estudio Butola, Daniya y Rao (2020) evaluaron a 1521 tripulantes (pilotos de combate, de transporte y artilleros aéreos), así como personal de tierra (controladores de tránsito aéreo e ingenieros de vuelo) en varias estaciones de la Fuerza Aérea de la India, a fin de cuantificar la fatiga subjetiva y sus efectos en el personal involucrado en un ejercicio simulando de operaciones sostenidas durante varios días utilizando el SOAP, la aplicación fue en dos fases, en la primera la aplicación duró 8 días y en la segunda 6 días, misma que se efectuó después de 6 meses de ejercicio inicial.

Los investigadores encontraron un aumento significativo en las calificaciones de las tres dimensiones del SOAP (cognitiva, afectiva e impulsiva) en todo el personal; la tripulación aérea calificó los efectos subjetivos más altos que el personal de mantenimiento o el grupo de apoyo administrativo; entre la tripulación aérea, los pilotos de

### Revisiones del estado del arte

combate calificaron significativamente más alto en comparación con la tripulación aérea de transporte o helicóptero. Este estudio reveló que el "trabajo por turnos" científicamente diseñado puede ser una estrategia efectiva para mitigar los efectos de la fatiga durante las operaciones sostenidas, por lo tanto, debe ser practicado como una rutina por las unidades de combate de la Fuerza Aérea de India, con el propósito de mitigar tanto las causas como los efectos del fenómeno que potencialmente pudieran comprometer la seguridad operacional.

Como se puede observar el SOAP trata de evaluar de manera más integral la fatiga operacional, por lo que merece su inclusión en las futuras investigación, pudiendo incorporar mediciones objetivas para fortalecer la evaluación de dicho fenómeno.

### Normativa sobre gestión de la fatiga operacional en México.

Al ser México uno de los estados firmantes del Convenio sobre Aviación Civil celebrado en 1944 en Chicago, Illinois, está comprometido a proveer el encuadre necesario para garantizar los objetivos previstos por el convenio signado. En el caso particular para la gestión de la fatiga, el anexo 6 del Convenio (OACI, 2010), titulado Operación de Aeronaves, establece los criterios para contribuir a la seguridad operacional. Dentro de las recomendaciones de este documento, se encuentra que el Estado mexicano provea reglamentación para fines de gestión de la fatiga, basado en conocimientos científicos y experiencia operacional. En este sentido y en atención a las disposiciones del Convenio, en México se cuenta con la Ley de Aviación Civil, la cual en su última reforma (2022) se delega a la actual Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte, en su momento sólo Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), la responsabilidad de emitir las normas oficiales mexicanas que garanticen el objetivo de mantener los más altos

niveles de seguridad operacional de los operadores en el territorio nacional.

En cumplimiento de sus responsabilidades, la SCT emitió la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SCT3-2016, que establece las especificaciones para la gestión de la fatiga en la tripulación de vuelo, cuyo objetivo es normar la gestión de la misma en los tripulantes de aeronaves, al grado que se garantice un nivel satisfactorio de desempeño de sus actividades que permitan preservar los estándares relativos a la seguridad operacional.

Siguiendo las recomendaciones de la OACI, la NOM-117-SCT3-2016 incita a los operadores a realizar las gestiones de la fatiga en sus tripulantes a través de las siguientes opciones; primera, el apego a limitaciones prescriptivas mostradas en la Tabla 2, y segunda, la instauración de un Sistema de Gestión de Riesgos Asociados a la Fatiga (FRMS) para una parte o la totalidad de sus operaciones.

**Tabla 2.** Límites prescriptivos de tiempo de vuelo y servicio en México.

Concepto.	Limitación
<b>Tiempo efectivo de vuelo.</b>	< de 90 horas mensuales
	< de 8 horas en jornada diurna
	< de 7 horas en jornada nocturna
	< de 7.5 horas en jornada mixta
	< 30 horas durante 7 días consecutivos
<b>Periodo de servicio.</b>	< 1000 horas anuales
	< 180 horas mensuales

*Nota: Obtenido de Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2017). Norma Oficial Mexicana NOM-117-SCT3-2016. Diario Oficial de la Federación, 1-34.*

### Revisiones del estado del arte

Sin embargo, las operaciones de diversas empresas no pueden adaptarse a las prescripciones señaladas por la NOM-117-SCT3-2016, por lo que se debe optar por la implementación de un FRMS que les permita continuar la operación de rutas que impliquen vuelos de mayor duración, especificando dentro del mismo, una programación de descansos que mediante investigación constante permitan la conservación de los estándares adecuados de seguridad operacional. La NOM no resalta la importancia de la medición precisa de la fatiga, aspecto que sin duda es el punto de inflexión en este tema.

### Discusión.

Hoy por hoy las limitaciones prescriptivas a los periodos de vuelo, servicio y descanso de los pilotos llegan a ser una barrera para la satisfacción de las demandas a la industria de la aviación por lo anterior, las organizaciones internacionales como la OACI (2016) proponen implementar programas de gestión de riesgos asociados a fatiga (FRMS), los cuales para garantizar la seguridad, deben servirse de datos como el nivel y contribuyentes al desarrollo de fatiga proporcionados por el personal y procesados por expertos, así como en experiencia del operador.

Por su complejidad, la evaluación cuantificación y predicción de la fatiga, representa un gran reto y parece aún no quedar clara la trascendencia de esta patología. Mientras la definición de la OACI atribuye múltiples causas y consecuencias a su desarrollo, la misma organización recomienda evaluarla con herramientas rápidas, fáciles y aplicables en diferentes momentos del vuelo, dando a entender que sus niveles pueden fluctuar por ejecutar una simple porción de un vuelo. Aunque la definición de la OACI toma en cuenta la carga mental de trabajo, los estresores laborales psicológicos son tantos e impactan de forma tan diversa en cada persona, que no debemos perder de vista que en determinados individuos llegan tener capacidad de afectar más que otras causas de

fatiga como la cronodisrupción o la privación de sueño.

Los métodos citados con tal finalidad son sólo algunos de los tantos que se han utilizado en aviación, todos y cada uno de ellos explorando la pequeña parte de una dimensión del fenómeno tan amplio que resulta la fatiga. La aplicación de las herramientas de evaluación objetiva suelen ser caras, imprácticas por su tamaño y conjunto a la dificultad para conglomerar a una población de trabajadores cuya labor consiste en desplazarse constantemente, lo convierte en casi inviable.

En comparación con las pruebas objetivas, las ventajas de las evaluaciones subjetivas radican en su bajo costo, capacidad de aplicación desde cualquier sitio y facilidad de procesamiento, por lo que las mismas han intentado validarse contra los métodos de evaluación objetiva como el tiempo de reacción proporcionado por una PVT en intento de economizar recursos.

### Conclusiones

A la fecha, en el intento de evaluar, medir y predecir la fatiga, la tendencia sigue siendo aplicar más de una herramienta e indagar en los factores de riesgo y contribuyentes que ya se encuentran bien establecidos, lo cual desde el punto de vista de los autores resulta beneficioso. Sin embargo, el conocimiento de cómo se comporta la fatiga en la población particular de cada operador, permitirá la generación y validación de herramientas o escalas más sencillas cuyos resultados permitan alimentar y robustecer el FRMS.

### Referencias

- Akerstedt, T., & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *The International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29-37. doi:10.3109/00207459008994241
- Arintescu, L., Chachad, R., Gregory, K., Mulligan, J. B., & Flynn-Evans, E. E. (2020). The Relationship Between Workload, Performance and Fatigue in a Short-Haul

Revisiones del estado del arte

- Airline. *Chronobiology International*, 1492-1494.  
doi:10.1080/07420528.2020.1804924
- Baulk, S. D., Reyner, L. A., & Horne, J. A. (2001). Driver sleepiness--evaluation of reaction time measurement as a secondary task. *Sleep*, 24(6), 695-698.  
doi:10.1093/sleep/24.6.695
- Bourgeois-Bougrine, S., Carbon, P., Gounelle, C., Mollard, R., & Coblenz, A. (2003). Perceived fatigue for short- and long-haul flights: a survey of 739 airline pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 74(10), 1072-1077.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14556570/>
- Butola, M., Dahiya, Y., & Rao, B. (2020). Assessment of fatigue in personnel during sustained operations using 'SOAP' – Sustained Operational Assessment Profile. *Indian Journal of Aerospace Medicine*, 64, 2-7.  
doi:10.25259/ijasm\_38\_2020
- Caldwell, J. A., Hall, K. K., & Erickson, B. S. (2002). EEG Data Collected From Helicopter Pilots in Flight Are Sufficiently Sensitive to Detect Increased Fatigue From Sleep Deprivation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 12(1), 19-32.  
doi:10.1207/s15327108ijap1201\_3
- Di Stasi, L., McCamy, M., Martínez-Conde, S., Gayles, E., Hoare, C., Foster, M., . . . & Macknik, S. (2016). Effects of long and short simulated flights on the saccadic eye movement velocity of aviators. *Physiology and Behavior*, (153), 91-96.  
doi:10.1016/j.physbeh.2015.10.024
- Gander, P. H., Signal, T. L., van den Berg, M. J., Mulrine, H. M., Jay, S. M., & Jim Mangie, C. (2013). In-flight sleep, pilot fatigue and Psychomotor Vigilance Task performance on ultra-long range versus long range flights. *Journal of Sleep Research*, 22(6), 697-706.  
doi:10.1111/jsr.12071
- Hu, X., & Lodewijks, G. (2020). Detecting fatigue in car drivers and aircraft pilots by using non-invasive measures: The value of differentiation of sleepiness and mental fatigue. *Journal of Safety Research*, 72, 173-187.  
doi:10.1016/j.jsr.2019.12.015
- LeDuc, P., Greig, J., & Dumond, S. (2005). Involuntary eye responses as measures of fatigue in US Army Apache aviators. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 86-91.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16018334/>
- Leimann, H. O. (1985). Fatiga de vuelo. In H. O. Leimann, *Psiquiatría Aeronáutica Sistemica* (1a ed., pp. 320-321). Buenos Aires, Argentina: Kargieman.
- Ley de Aviación Civil (L.A.C.). reformada. Diario Oficial de la Federación (D.O.F), 21 de enero de 2022, (México).  
[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5641134&fecha=21/01/2022#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5641134&fecha=21/01/2022#gsc.tab=0)
- Lindert, B., Brujei, J., van der Meijden, W., & Van Someren, E. (2012). *Independent research on Pilot Fatigue Measurement by the Netherlands Aerospace Centre*.  
[http://publicapps.caa.co.uk/docs/33/Pilot%20Fatigue%20Measurement%20Research\\_Final%20Report\\_v0.9.1clean.pdf](http://publicapps.caa.co.uk/docs/33/Pilot%20Fatigue%20Measurement%20Research_Final%20Report_v0.9.1clean.pdf)
- Morris, T. L., & Miller, J. C. (1996). Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight. *Biological Psychology*, 42(3), 343-360.  
doi:10.1016/0301-0511(95)05166-x
- Naeeri, S., Kang, Z., Mandal, S., & Kim, K. (2021). Multimodal analysis of eye movements and fatigue in a simulated glass cockpit. *Aerospace*, 8(10).  
doi:10.3390/aerospace8100283
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2016). *Manual para la supervisión de los enfoques de gestión de la fatiga*.  
[https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/9966\\_cons\\_es.pdf](https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/9966_cons_es.pdf)
- Paul, M. A., Ebisuzaki, D. K., McHarg, J., Hursh, S. R., & Miller, J. C. (2012). *An assessment of some watch schedule variants used in Cdn Patrol Frigates*. Defence Research and Development Toronto (Canadá).  
<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA568627.pdf>
- Retzlaff, P. D., King, R. E., Marsh, R. W., & French, J. (1997). The Development of the Sustained Operations Assessment Profile (SOAP). *Armstrong Lab Brooks AFB TX Aerospace Medicine Directorate*.  
<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA328506#:~:text=The%20Sustained%20Operations%20Assessment%20Profile%20SOAP%20was%20developed%20through%20the,test%20development%20plan%20was%20accomplished.>

**Revisiones del estado del arte**

Samn, S., & Perelli, L. P. (1982). Estimating Aircrew Fatigue: A technique With Implications to Airlift Operations Technical Report no. SAM-TR-82-21. *USAF School of Aerospace Medicine, Brooks, AFB, TX*. <https://graymattermetrics.com/wp-content/uploads/2021/03/Samn-Perelli-Estimating-Air-Crew-Fatigue-SAM-TR-82-21.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2017). Norma Oficial Mexicana NOM-117-SCT3-2016. *Diario Oficial de la Federación*, 1-34. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5507211&fecha=08/12/2017#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5507211&fecha=08/12/2017#gsc.tab=0)

Stern, J. A., Boyer, D., & Schroeder, D. (1994). Blink rate: a possible measure of fatigue. *Human Factors*, 285-297. doi:10.1177/001872089403600209

**Declaración de conflicto de intereses**

Los autores de este artículo expresan que no tuvieron ningún conflicto de intereses durante la preparación de este documento ni para su publicación.

**Obra protegida con una licencia Creative Commons**



Atribución - No comercial  
No derivadas