



Factor fatiga: riesgos y desafíos de la Seguridad Operacional

WOCRM EN YPF

Estrategias de los factores humanos en la aviación.

PROPIEDADES EMERGENTES

Análisis sistémico sociotécnico ambiental del modo ferroviario.

TAXONOMÍA ADREP/ECCAIRS

Propuesta metodológica en los sucesos aeronáuticos en Argentina.

Editorial

Estimados:

Estamos ya ante el cuarto número de la edición de RSO, cuyo tema central es el efecto fatiga y su impacto en el transporte. Por eso, encontrarán diversos artículos que detallan su incidencia y abordaje desde diferentes puntos de vista. Médicos especialistas en esta problemática nos detallan todo lo que hay que saber sobre la misma desde el punto de vista clínico, ineludible a la hora de tomar decisiones y medidas para la mitigación del riesgo. Investigadores de distintos modos de transporte, de nivel nacional e internacional, analizan desde esta perspectiva cómo generar recomendaciones para afrontar este desafío. Es una responsabilidad enorme para los trabajadores y operarios multimodales tomar previsiones para la seguridad de ellos mismos y de su entorno.

Como siempre, completan esta edición notas y contenidos relacionados con los cuatro modos de transporte y su problemática o investigación en relación con la seguridad operacional. El reconocido experto en factores humanos, Erik Hollnagel, nos comparte un artículo sobre seguridad y aprendizaje y el traspaso de una mirada desde la perspectiva de la Seguridad I, centrada en el análisis de riesgos y accidentes, y la gestión de errores y fallos para manejar la prevención y protección, a la perspectiva de la Seguridad II, en donde se busca comprender las capacidades potenciales de los sistemas sociotécnicos para facilitar y respaldar el trabajo productivo cotidiano.

Tenemos el privilegio de compartir el trabajo sobre Crew Resource Management (CRM) y su aplicación en la aviación. Esta es una estrategia de seguridad operacional de los factores humanos junto a la capacitación, el entrenamiento y la procedimentación de las habilidades no técnicas (NTS «non-technical skills») con el fin de disminuir los accidentes mayores y mejorar sus estándares de seguridad. En este artículo, premiado por el Comité Organizador y Técnico del 5to Congreso Latinoamericano y 7mo Nacional de Seguridad, Salud Ocupacional y Ambiente en la Industria del Petróleo y del Gas, nos presenta su implementación en la industria del gas y el petróleo, llevada a cabo en YPF.

También, con la intención de seguir mejorando, hemos sumado para nuestro crecimiento editorial el proceso de revisión de pares. Gracias a este espacio de diálogo y debate entre los expertos y los autores, se garantiza contenido de alta calidad técnica. Cada vez estamos más cerca de cumplir con nuestra aspiración de indexar la revista, para que forme parte de repertorios y catálogos que aumenten el alcance y la autoridad de esta publicación y constituirse en la referencia en la materia de seguridad operacional en nuestro idioma.



Dr. Julián A. Obaid
Presidente de la Junta de
Seguridad en el Transporte (JST)



RSO

Revista de Seguridad Operacional
Número 4. Año 2024
ISSN IMPRESO 2953-4720
ISSN DIGITAL 2953-4739
JST Ediciones - ediciones@jst.gob.ar

Junta de Seguridad en el Transporte
Florida 361, (C1005AAG), CABA
argentina.gob.ar/jst
Tel.: 0800-333-0689



Director Editorial
Dr. Julián Obaid

Comité Editorial
Guillermo Remonda
Diego Di Siervi
Tomás Raspall
Esteban Maddonni Brito
Estefanía Demichelis
Marcelo Covelli
Alejandro Covello
Daniel Barafani
Diego Turjanski

Editor en Jefe
Hilario Lagos
David Schapovaloff

Coordinadora editorial
Luz Fuster

Equipo editorial
Mariana Jacques
Sebastián Mateo
María Laura Ramos Luchetti
José María Cohen
Carolina Rodríguez

Correctores
Federico Adrián Camps
María Lucila Amodei
Constanza Farías

Diseñador
Diego Sturtz

Fotografía
Adrián Rodríguez

Esta revista está bajo licencia



Atribución -No comercial-
Compartir/Igual

SUMARIO

AERONÁUTICO

4

Impacto aerocomercial del COVID-19 en Argentina



FERROVIARIO

10

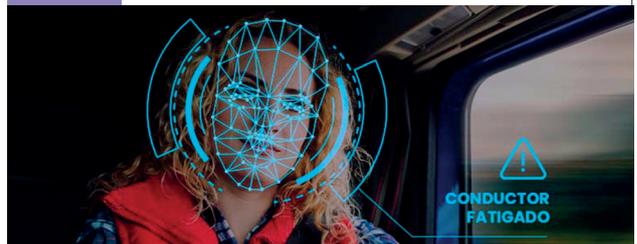
Las normas no están para cumplirse



DOSSIER

14

Sistema de gestión del riesgo de fatiga



DOSSIER

22

El factor fatiga en el suceso del buque pesquero Floridablanca IV



DOSSIER

36

Fatiga en el ferrocarril



DOSSIER

Limitaciones humanas y riesgo en pilotos de líneas aéreas: sueño y fatiga

41

DOSSIER

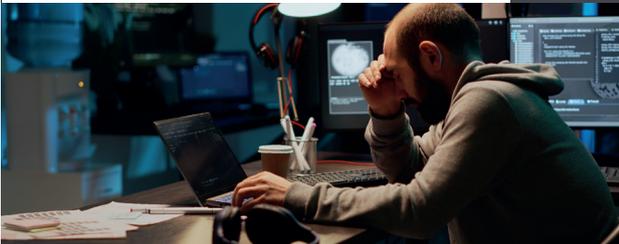
Fatiga en el transporte marítimo

56

DOSSIER

La fatiga: un desafío para los investigadores en seguridad operacional

62



INTERNACIONAL

Seguridad y aprendizaje desde la perspectiva de la Seguridad II

70

AERONÁUTICO

Importancia del uso del idioma inglés en las comunicaciones

76



Implementación de Well Operations Crew Resources Management (WOCRM) en YPF

83

Propuesta metodológica en los sucesos aeronáuticos en Argentina para la aplicación de una matriz de riesgo basada en la taxonomía ADREP

97

Propiedades emergentes, resiliencia y seguridad operacional en un sistema sociotécnico ambiental ferroviario (SSTAF)

105

REVISORES DE PARES

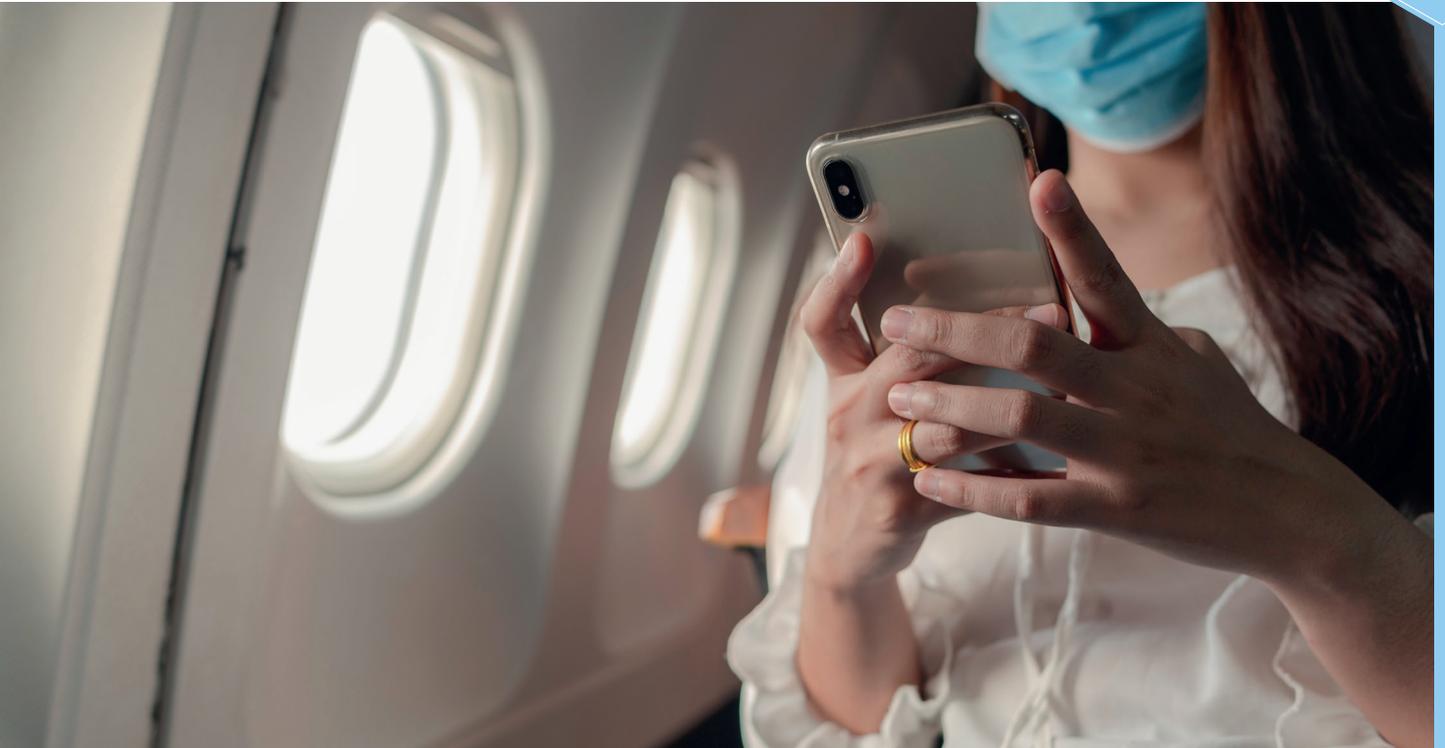
Dra. Carolina Sabio Paz. Médica examinadora de personal aeronáutico, piloto comercial de avión, instructora facilitadora de FFHH CRM TEM, fundadora de Pyramires RA Consultora de Factores Humanos.

Ing. Pablo M. González. Docente investigador UTN - Grupo de Tecnología Aeroespacial.

Dra. Maria Cristina Lozano. Médica Neurocirujana, facilitadora de Factores Humanos.

Dr. Marcelo Muro. Médico, piloto de línea aérea, facilitador de Factores Humanos, investigador de desempeño humano Comité de Seguridad de Apla.

Ing. Alejandro Leonetti, gerente de Seguridad Operacional Trenes Argentinos Operaciones, profesor de la cátedra de Seguridad Operacional Ferroviaria en UNSAM, UNLA y UTN.



Alejandro Miguel
Universidad Tecnológica
Nacional, Facultad Regional
Haedo, Haedo, Buenos Aires,
Argentina.

Carlos Varrenti
Universidad Tecnológica
Nacional, Facultad Regional
Haedo, Haedo, Buenos Aires,
Argentina.

Alexis Caratozzolo
Universidad Tecnológica
Nacional, Facultad Regional
Haedo, Haedo, Buenos Aires,
Argentina.

Trabajo presentado en
el 4to Congreso sobre
Medios de Transporte y sus
Tecnologías Asociadas,
septiembre de 2023,
Argentina.

Recibido: 23/02/23
Aceptado: 18/03/23

SITUACIÓN DE LA ACTIVIDAD AÉREA POSTPANDEMIA

Impacto aerocomercial del COVID-19 en Argentina

La pandemia fue un acontecimiento histórico que paralizó la actividad aérea a nivel mundial. Argentina no quedó exenta de esto y sus secuelas aún hoy continúan.

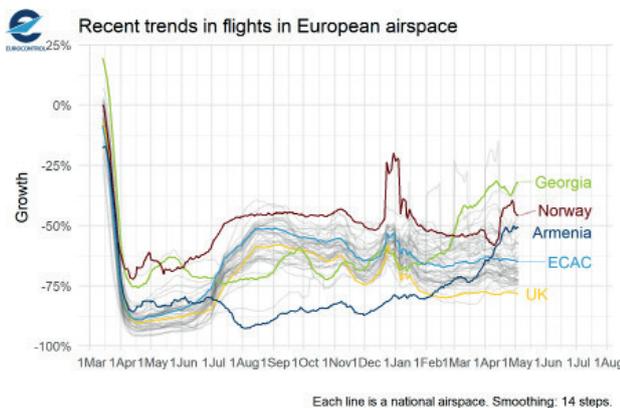
El 30 de enero del 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declara la emergencia de salud pública de importancia internacional y luego, el 11 de marzo de 2020, reconoce la pandemia del coronavirus COVID-19 e informa la presencia de 118.000 casos en 114 países y el lamentable saldo de 4.291 personas fallecidas. Tres años más tarde -el 5 de mayo del 2023-, y tras llevarse a cabo una campaña de vacunación masiva, asegura que el coronavirus es un problema de salud establecido y persistente, y que no constituiría ya una emergencia de salud pública de importancia internacional.

La pandemia del COVID-19 fue, entre otros efectos, el causal de un acontecimiento sin precedentes a nivel mundial, escenario de mínimos históricos de operación nunca antes vistos en la actividad aérea internacional y donde se produce un momento de quiebre por la abrupta caída en las operaciones aéreas a nivel mundial.

Distintas entidades relevaron la actividad aerocomercial durante la pandemia, analizando el comportamiento de las operaciones e intentando modelar predicciones de tráfico y recuperación de la actividad. Una de las entidades que más trabajó en ese sentido fue Eurocontrol (Organización Europea para la Seguridad de la Navegación Aérea), una organización civil y militar de carácter paneuropeo integrada por 41 Estados miembro. Se sumó la Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC) y la propia Unión Europea, cuyo objetivo fundamental es la integración de los servicios de navegación aérea en Europa para lograr una mayor seguridad y eficiencia en las operaciones de tránsito aéreo.

Según los datos publicados por Eurocontrol (2021), se registró una caída mayor al 70 % durante los meses de marzo a junio de 2020, con una recuperación de la actividad en los meses venideros (Figura 1).

Figura 1: Registro de operaciones 2019-2021



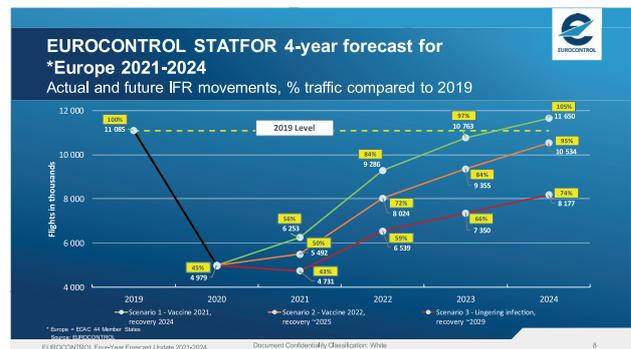
Fuente: Eurocontrol, 2021.



Eurocontrol (Figura 2) planteó distintos escenarios de recuperación para la región europea (solo para vuelos que requieren control de tránsito aéreo denominados también IFR), que considera la disponibilidad y efectividad de la campaña de vacunación:

- **Escenario 1:** Vacunación durante el verano 2021 y relajación de las restricciones de viaje a partir del verano 2021 (recuperación en 2024, curva verde).
- **Escenario 2:** Vacunación durante el verano 2022 y relajación de las restricciones de viaje a partir del primer cuarto del año 2022 (recuperación en 2025, curva naranja).
- **Escenario 3:** Se prevee una infección persistente y bajo nivel de confianza del pasajero (recuperación en 2029, curva roja).

Figura 2: Proyecciones 2019-2024

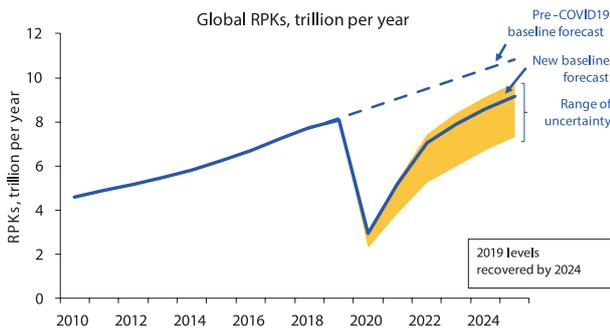


Fuente: Eurocontrol, 2021.

Al igual que Eurocontrol, IATA (2020) ha analizado las operaciones aerocomerciales mediante una métrica altamente utilizada por las aerolíneas denominada RPK (2013) –ingresos por pasajero-kilómetro– donde se proyecta una recuperación de los niveles de actividad no antes del 2024.

[4 - 9]

Figura 3: Proyecciones 2010-2024



Fuente: IATA, 2020.

Al analizar las operaciones realizadas en 2022, Eurocontrol (2023) registró un crecimiento en torno al escenario 1 proyectado, donde para el 2022 se alcanzaría un nivel de actividad ligeramente superior al 80 % (Figura 4). En su nuevo informe, se reajustan las variables estudiadas y se evalúa un pronóstico al 2029, considerando tres escenarios y donde las problemáticas a superar no son solo la pandemia del COVID-19, sino también la alta inflación y la guerra entre Rusia y Ucrania:

- El escenario alto prevé un crecimiento moderado del PBI, un impacto limitado en la demanda de la inflación, una confianza razonable de los pasajeros y restricciones de capacidad limitada en 2023 en aeropuertos y aerolíneas.
- El escenario base considera un PBI débil, la inflación (incluido el precio del combustible) impacta en la demanda y reduce la confianza/propensión a volar de los pasajeros.
- El escenario bajo considera el impacto de varios riesgos, incluidos varios estados en recesión en 2023, una demanda de viajes fuertemente afectada (inflación/COVID-19/alternativas a los viajes de negocios/preocupaciones ambientales) y problemas de personal/capacidad en aerolíneas/aeropuertos en 2023.

Figura 4: Forecast 2023-2029



Fuente: Eurocontrol, 2023.

Observado el contexto internacional pre y post pandemia surge la inquietud de entender que sucedió con la actividad aerocomercial en la República Argentina. A fin de poder analizar las operaciones en el país, se recabaron y adecuaron los datos de aterrizaje y despegue procesados por la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC, 2023) durante el periodo 2016-2022, los cuales registran todas las operaciones aéreas (despegue y aterrizaje) que presentan un plan de vuelo (vuelos privados, comerciales, militares y sanitarios). Para las operaciones aerocomerciales, se consideraron las operaciones regulares y no regulares. Las primeras se caracterizan por tener un esquema constante de frecuencias, días y horarios, mientras que las no regulares no poseen un esquema de frecuencias. Procesando los datos provistos, existen ciertas operaciones entre los años 2016-2020 que ANAC no clasificó adecuadamente en su base de datos, por lo que se registran como "N/A".

De esta forma, podemos apreciar que la caída al final del año 2020 con respecto al 2019 fue del 67 %. Una caída mayor a la relevada en Europa (Figura 2), con una leve recuperación en 2021 y reduciendo la caída a tan solo un 10 % menos con respecto a las operaciones del 2019 al finalizar el año 2022.

Luego de la pandemia, se evidencia una caída significativa de los vuelos internacionales para el fin del año 2021, siendo los mismos tan solo un 16,22 % del total de las operaciones comerciales, pero registra una recuperación al 2022 que representa un 21 % de las operaciones totales.

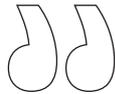
Durante el 2022 una parte significativa de las principales rutas domésticas o de cabotaje (aeropuertos con designador OACI) se habían recuperado o se encontraban próximas a recuperar las cifras de operación cercanas al 2019, siendo que la mayor cantidad de operaciones se concentraban en las urbes del país y centros turísticos.

En el caso de las rutas internacionales apenas algunas habían obtenido valores de operación cercanos al 2019. Un dato de interés a la hora de analizar las operaciones internacionales es que, desde el 1 de diciembre de 2020, la ANAC (2020) implementa la internacionalización Aeroparque Jorge Newbery, lo cual habilita las operaciones desde y hacia aeroparque desde países como Brasil, Uruguay, Paraguay y Chile, entre otros. Por este motivo se incrementan en 2021 las operaciones entre Aeroparque (SABE)-San Pablo (SBGR) y Aeroparque (SABE)-Santiago de Chile (SCEL), entre otras rutas.

Al analizar las operaciones pre y post COVID-19, surge la necesidad de comprender cómo influyó este hecho en las aerolíneas y la participación de mercado. Durante el 2019, se observó que la mayor participación

se encontraba distribuida entre Aerolíneas Argentina (37,21 %), Austral (31,79 %) y LATAM Airlines Argentina (12,15 %) y, en menor porcentaje, Flybondi (6,64 %), seguida de Norwegian Air Argentina, JetSmart Argentina y Andes Líneas Aéreas.

“Cuando la Organización Mundial de la Salud declara la emergencia de salud pública de importancia internacional se produce un momento quiebre por una abrupta caída en las operaciones aéreas a nivel mundial.



Al estudiar la participación de mercado al 2022, se observa que solo Aerolíneas Argentinas, JetSmart y Flybondi continúan activas, concentrando las operaciones en Argentina. En 2019 Norwegian anuncia su salida del país y sus acciones son compradas por el holding conformado por JetSmart (Ámbito Financiero, 2019), quedándose con la flota y sus operaciones. Por otro lado, hay que recordar que para finales del 2020 LATAM Airlines Argentina, la tercera aerolínea con mayor participación de mercado, anuncia el cese de operaciones en este país. A su vez, el mismo año se concreta la fusión entre Aerolíneas Argentinas y Austral (2020). En el caso de Andes, luego de la pandemia dejó de operar vuelos regulares de cabotaje para pasar a vuelos charter (Aviacionline, 2023).

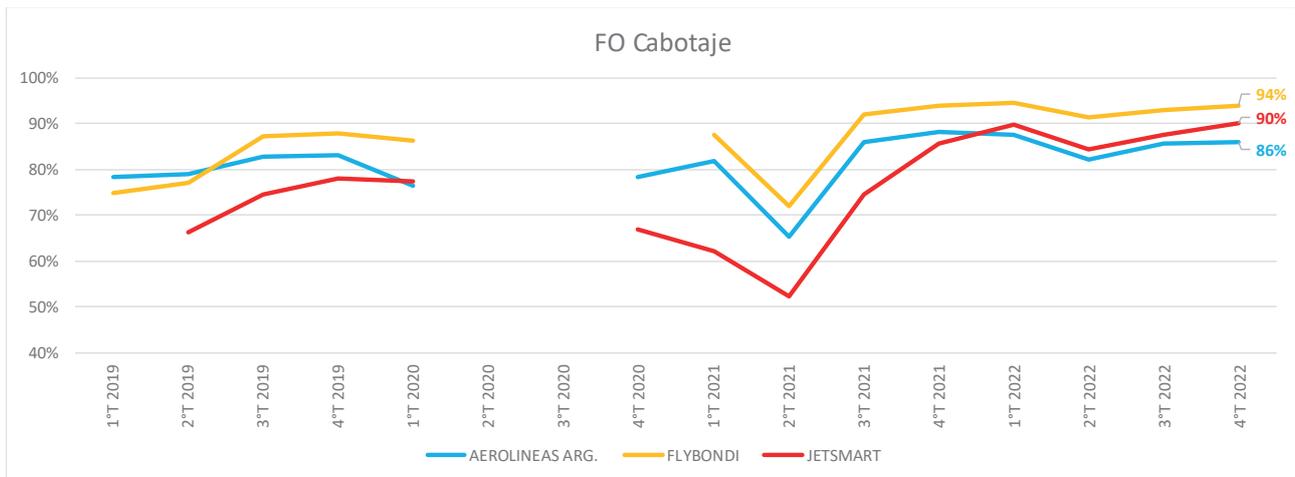
Comparando las aeronaves de las principales aerolíneas en 2019-2022 a través de Airfleets (2023) (Tabla 1), se aprecia una notable reducción en la cantidad de operadores aéreos, como así también de aeronaves en el país, lo que se traduce en una disminución de la oferta de las principales compañías de transporte aerocomercial.

Tabla 1: Análisis de Flota 2019 y 2022 (Airfleets, 2023)

Flota de Aerolíneas	2019	2022
Aerolíneas Argentinas	42	70
LATAM	13	0
Austral	26	0
Flybondi	5	12
JetSmart	4	8
Norwegians	3	0
Andes	4	0
TOTAL	97	90

Si se confronta la flota de aeronaves y los niveles de ocupación promedio 2019-2022 (ANAC, 2022) presentados en la Figura 5, también conocidos como factor de ocupación o FO (relación entre asientos ocupados y asientos disponibles), se observa que al 2022 se encuentran en valores superiores al 80 %, e incluso iguales o superiores al 90 %. Al existir una menor cantidad de aviones, los mismos operan a una capacidad alta, lo que en la práctica se traduce en la imposibilidad de conseguir asientos disponibles para atender a la demanda.

Figura 5: Factor de ocupación promedio 2019 vs. 2022 en operaciones domésticas



Fuente: ANAC, 2022.

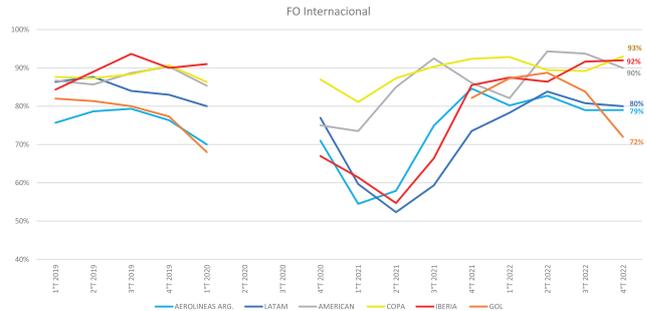
En lo que respecta a la participación de mercado en rutas internacionales, en 2019 la mayoritaria se concentraba entre Aerolíneas Argentinas, LATAM, TAM y Austral. Para fin del 2022, se reconfigura el mercado y Aerolíneas Argentinas, Compañía Panameña de Aviación (Copa Airlines), GOL, American Airlines (AA) y SKY se presentan como las más activas en rutas internacionales.

El factor de ocupación promedio en las rutas internacionales también registra valores superiores al 80 %, operando con una capacidad alta (Figura 6). Es decir que se registra una lenta recuperación de las operaciones internacionales con un factor de ocupación alto, lo que también implica una baja disponibilidad de asientos para atender una demanda en crecimiento.

Recientemente, la ANAC (2023) publicó datos de carácter provisorio, con información al 30/04/2023, donde se evidencia un aumento de pasajeros y operaciones

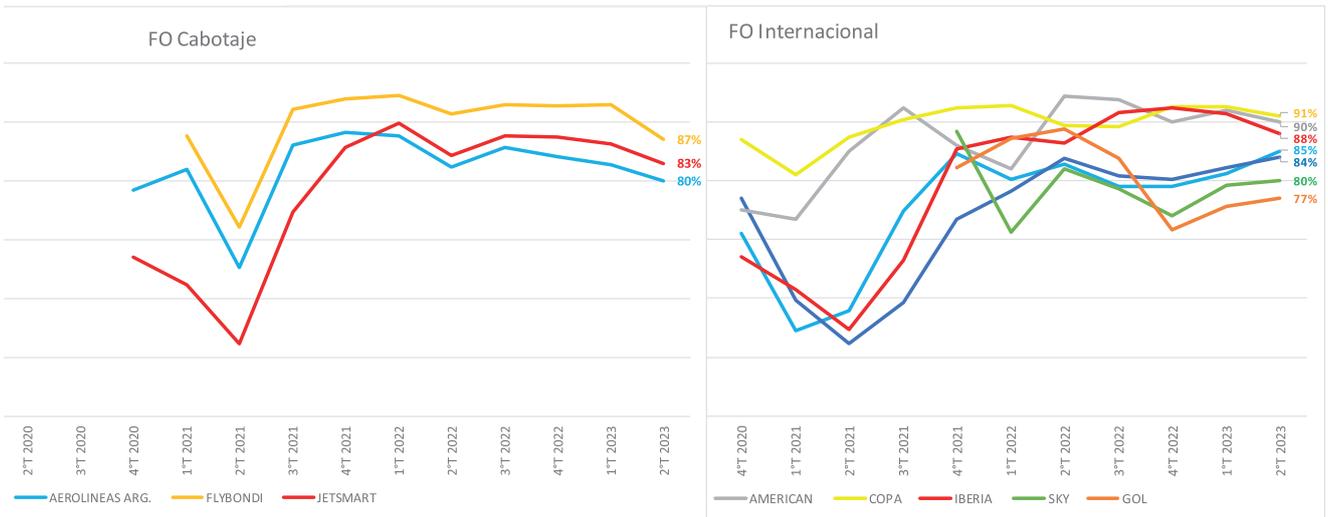
nacionales/internacionales en los primeros cuatro meses del 2023. Según los datos publicados, los factores de ocupación en las principales líneas aéreas registran valores superiores al 80 %, tanto en rutas domésticas e internacionales (Figura 7).

Figura 6: Factor de ocupación promedio 2019 vs 2022 en operaciones internacionales



Fuente: ANAC, 2022.

Figura 7: Factor de ocupación cabotaje vs internacional



Fuente: ANAC.

CONCLUSIONES

La pandemia del COVID-19 ha sido un hecho sin precedentes en la historia aeronáutica, y por ende la recuperación a nivel mundial es un desafío para la aviación comercial. Argentina es un país que sufrió una caída en las operaciones regulares/no regulares en torno al 67 %, pero registra al 2022 un aumento significativo en las mismas y recupera en un 90 % los niveles prepandemia. El COVID-19 ha generado cambios significativos en la participación de mercado, dejando solo tres aerolíneas con más del 90 % del mercado doméstico y con factores de ocupación altos en sus vuelos. Las operaciones internacionales evidencian una lenta re-

cuperación en comparación con las operaciones domésticas, donde también se revelan factores de ocupación altos al 2022.

Las aeronaves son un medio de transporte estratégico para el desarrollo de un país de gran extensión territorial que requiere el traslado de mercancías y pasajeros. De continuar el crecimiento en las operaciones aerocomerciales, se deberá incrementar el número de operadores aéreos o la flota de las aerolíneas, a fin de responder al crecimiento de la demanda en vuelos domésticos e internacionales.

Referencias bibliográficas

Organización Mundial de la Salud (2020). Alocución de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020. <https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19--11-march-2020>

Organización Mundial de la Salud (2020). Declaración acerca de la decimoquinta reunión del Comité de Emergencias del Reglamento Sanitario Internacional (2005) sobre la pandemia de enfermedad por coronavirus (COVID-19). [https://www.who.int/es/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-\(covid-19\)-pandemic](https://www.who.int/es/news/item/05-05-2023-statement-on-the-fifteenth-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-coronavirus-disease-(covid-19)-pandemic)

Eurocontrol (2021). Forecast Update 2021-2024, European Flight Movements and Service Units. Eurocontrol.

IATA (2020). IATA Economics' Chart of the Week, Five years to return to the pre-pandemic level of passenger demand. IATA.

Bijan Vasigh, Ken Fleming and Thomas Tacker (2013). Introduction to Air Transport Economics From Theory to Applications - Second Edition. Ashgate Publishing limited.

Eurocontrol (2023). Forecast Update 2023. Eurocontrol.

ANAC (2023). Aterrizajes y despegues procesados por la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). <https://www.datos.gob.ar/dataset/transporte-aterrizajes-despegues-procesados-por-administracion-nacional-aviacion-civil-anac>.

Administración Nacional de Aviación Civil (2020). Resolución 149/2020. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ANAC.

Ámbito (2019). Confirmado: JetSmart compró la low cost Norwegian en el país. <https://www.ambito.com/economia/jetsmart/confirmado-compro-la-low-cost-norwegian-el-pais-n5069437>

LATAM Airlines Argentina (2020). LATAM Airlines Argentina informa el cese de sus operaciones por tiempo indeterminado. <https://www.latamairlines.com/ar/es/prensa/comunicados/LATAM-Airlines-Argentina-informa-cese-de-operaciones-por-tiempo-indeterminado>.

Aerolíneas Argentinas (2020). Se concretó la fusión entre Aerolíneas Argentinas y Austral. https://www.aerolineas.com.ar/es-ar/prensa/comunicadoprensainterno/5283_se-concreto-la-fusion-entre-aerolineas-argentinas-y-austral

Aviacionline (2023). Andes Líneas Aéreas logró la recertificación por parte de la ANAC y puede volver a volar. <https://www.aviacionline.com/2023/05/andes-lineas-aereas-logro-la-recertificacion-por-parte-de-la-anac-y-puede-volver-a-volar/>

Administración Nacional de Aviación Civil (2022). Informe mensual 2022, diciembre. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ANAC.

Airfleets (2023). Compañía Aérea. https://www.airfleets.es/recherche/search_airline.htm

Administración Nacional de Aviación Civil (2023). Informe mensual 2023, abril. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ANAC.





Iago Novidelsky
Investigador a Cargo en
la Dirección Nacional de
Investigación de Sucesos
Ferroviarios de la Junta
de Seguridad en el
Transporte.

Recibido: 11/02/23
Aceptado: 27/03/23

NUEVAS PERSPECTIVAS EN SEGURIDAD OPERACIONAL

Las normas no están para cumplirse

Reflexión sobre la manera en la que comprendemos la naturaleza de las investigaciones de seguridad operacional y la metodología bajo la cual se explican y modelizan los accidentes e incidentes de transporte para cumplir con los objetivos impuestos por la Ley 27514.

Si solo se tratara de cumplir la norma, ¿por qué nos cuestionamos sobre cómo lograr sus objetivos? Cuando uno recurre a una ley, norma técnica, manual o procedimiento, se encuentra normalmente con subtítulos referidos a su alcance, propósito, función, finalidad, entre otras cuestiones. De no ser así, sería juicioso pensar que no se está frente a una "buena norma".

Ahora bien, ¿qué constituye una "buena norma"? Considerando que su construcción se basa en el conocimiento y en los objetivos planteados por sus autores, podemos afirmar que no consiste en una verdad revelada en términos bíblicos, sino más bien en la manifestación de una necesidad real, originada en un contexto determinado.

Los problemas que enfrentamos, y me atrevo a decir que superamos como seres humanos, pueden resolverse de diversas formas. No obstante, lo que nos distingue de los animales es nuestra capacidad de aprender y transmitir ese aprendizaje.

Dicha habilidad nos otorga la ventaja de no tener que descubrir soluciones desde cero en un ciclo interminable, evitando así un tipo de sisifismo¹ de la supervivencia. Cuando uno recurre a una norma, y se encuentra con su función, se puede asumir que, de todas las posibles soluciones, se adoptaron las que se creyeron más convenientes en un momento dado.

Las normas son una de las herramientas que empleamos en las organizaciones para generar restricciones y condiciones de contorno sobre cómo hacer las cosas. Es importante destacar que existe un riesgo en quedarnos con una sola forma de obrar, ya que esta representa una realidad específica, un estado particular de un sistema inmerso en un medio en constante fluctuación.

En *Ten Questions About Human Error* (2004), Sidney Dekker expone una característica fundamental de la realidad de los sistemas sociotécnicos complejos, como los sistemas de transporte. El autor indica que los sistemas son parte de un universo y, por lo tanto, están inmersos en un entorno. Dicho entorno, a su vez, experimenta cambios, que pueden abarcar aspectos como la economía, la cultura, la tecnología, los valores, entre otros. Cuando un sistema no se adapta a estos cambios, se aísla de su entorno y termina muriendo.

Si una norma se transforma en un obstáculo para lograr los objetivos propuestos a lo largo del tiempo, podríamos argumentar que se convierte en una "mala norma". Si ya no refleja ni abarca los caminos necesarios para mantener la funcionalidad del sistema, entonces

deja de ser coherente con la realidad a la que intenta aportar un conocimiento adquirido para la concreción de los objetivos propuestos.

Veamos un ejemplo. En el marco de los procedimientos que se aplican en muchas organizaciones para la evacuación en casos de incendios, se recomienda que las personas permanezcan agachadas para reducir la cantidad de partículas tóxicas respirables presentes en el aire. Esta medida parte de la premisa de que el humo caliente tiende a subir y, por lo tanto, las proporciones de partículas no deseadas son menores cerca del suelo. Ahora bien, esta idea surgió en un contexto donde la mayor parte de las instalaciones o edificios poseían estructuras o amoblamientos de madera, cuya combustión produce dicho efecto. Sin embargo, nuestros sistemas han cambiado y, hoy día, parte de estas instalaciones cuentan con una gran cantidad de componentes plásticos.

“Si una norma se transforma en un obstáculo para lograr los objetivos propuestos a lo largo del tiempo, podríamos argumentar que se convierte en una mala norma.”



El comportamiento de los distintos polímeros en un incendio es un tema en constante investigación y no se puede asegurar que la premisa postulada en el párrafo anterior siga siendo adecuada.

Más allá de la validez de la idea de que el aire en estratos inferiores posee menos compuestos indeseables para la respiración, veamos lo estipulado en el artículo científico: *Solid particle deposition of indoor material combustion products*, de A.O. Zhdanova et al. (2022). En este, los autores profundizan sobre el desarrollo de nuevos mecanismos y elementos activos que permiten acelerar el ritmo de deposición de las partículas presentes en los humos pesados, logrando su acumulación en el suelo y disminuyendo su concentración en el aire a la altura en la que solemos respirar.

En caso de que una organización implementase dichos mecanismos, ¿qué sucedería si se mantiene el procedimiento de agacharse durante una evacuación? Indudablemente, podría generarse un resultado indeseado, ya que lo que se consideraba una zona "más segura", ahora se convertiría en una zona "menos segura".

Cuando se toman decisiones que impactan en el entorno de una operación, cuestionarse si los procedimientos elaborados en el pasado pueden tener efectos no deseados en el contexto actual, resulta de vital importancia en materia de seguridad.

¹. Tarea aparentemente inútil e infructífera que se es obligado a cumplir continuamente.

Volviendo a la reflexión inicial, las normas reflejan la intención de sus creadores. Así estén escritas en piedra, papel o en código binario, resultaría risible asumir que pertenecen al ámbito de lo inescapable. Claro está que su razón de ser puede derivar de un consenso unánime, debidamente justificado y respaldado por las partes relevantes para su aplicación. Sin embargo, lo verdaderamente relevante aquí es su propósito, motivo y función.

La creencia arraigada de que una norma, que incluye una introducción sobre su función específica, está para ser cumplida, es un error. La norma no fue redactada con la intención de ser cumplida *per se*; fue creada, concebida y revisada para convertirse en una herramienta efectiva para lograr un objetivo concreto.

“Si una norma se transforma en un obstáculo para lograr los objetivos propuestos a lo largo del tiempo, podríamos argumentar que se convierte en una mala norma.”



Cuando afirmamos que la función de la norma es únicamente ser cumplida, pierde automáticamente toda validez. Para ser útil, su cumplimiento sería condición suficiente y necesaria. En el caso inverso, sería inútil si no se cumpliera.

No obstante, la mera ejecución de las normas no garantiza su utilidad. Estas plantean un desafío importante, son representaciones de conocimientos y, según Marshall McLuhan en *Laws of Media: The New Science* (1988), por naturaleza son obsoletas y obsolescentes. A pesar de ello, son esenciales para gobernar los sistemas contemporáneos y, al mismo tiempo, permitir la existencia de sistemas futuros.

Las normas pueden ser útiles, pero para que lo sean, debemos comprender su naturaleza, su composición, su funcionamiento y las interacciones a través de las cuales emergen las propiedades de los sistemas en los que se aplican.

Retomando el propósito de este texto, las investigaciones de seguridad operacional no tienen el deber de considerar estas reflexiones, ya que no estarían infringiendo ninguna regla de no hacerlo. Pero, si nos mantenemos dentro de los límites que se definieron para la concreción de los objetivos del organismo, e intentamos aprender y analizar desde nuevas perspectivas, tampoco estaríamos por fuera de la norma.

Las leyes o normas técnicas, incluso aquellas que parecen tan alejadas de la opinión subjetiva, forman parte de un sistema que necesita ser analizado y modelado para comprender las circunstancias en las que obtenemos resultados no deseados. Si no evaluamos y reflexionamos acerca de si las limitaciones que establecemos se ajustan o no a los requisitos que planteamos para nuestro sistema, tanto en su estado actual como en el que deseamos alcanzar, perderemos la oportunidad de encontrar lo que realmente buscamos.

En suma, el desafío de analizar la capacidad de una norma técnica de acercar a una organización a la concreción de un objetivo, de cómo se relaciona con las demás normas y, más importante aún, cómo interactúa con la realidad en la que se aplica, no debería permitir la existencia de los axiomas de que “las normas están para cumplirse”, ni de que una “buena norma es aquella que se cumple”.

La norma está y debe ser evaluada para lo que pretende hacer. Si se la reduce al valor del deber, el cuerpo de normas jamás será representativo de la realidad, sino de la suma de aspiraciones que se tiene sobre lo que sería un mundo ideal, donde la capacidad de moldear el universo dependería tan solo de un papel y una pluma.

Referencias Bibliográficas

A.O. Zhdanova, R.S. Volkov, G.V. Kuznetsov, N.P. Kopylov, S.N. Kopylov, E.Yu. Syshkina, P.A. Strizhak (2022). Solid particle deposition of indoor material combustion products. *Process Safety and Environmental Protection*. Volumen 162, 494-512. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.033>

Dekker, S. (2004). *Ten Questions About Human Error. A New View of Human Factors and System Safety* (1° ed.). CRC Press.

McLuhan, M. and McLuhan, E. (1988) *The Laws of Media: The New Science*. University of Toronto Press, Toronto.



RSO

REVISTA SEGURIDAD OPERACIONAL



PRIMERA REVISTA
sobre transporte multimodal de la
ARGENTINA

Te invitamos
a leer RSO



JST | EDICIONES

ediciones@jst.gob.ar

JST | SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE



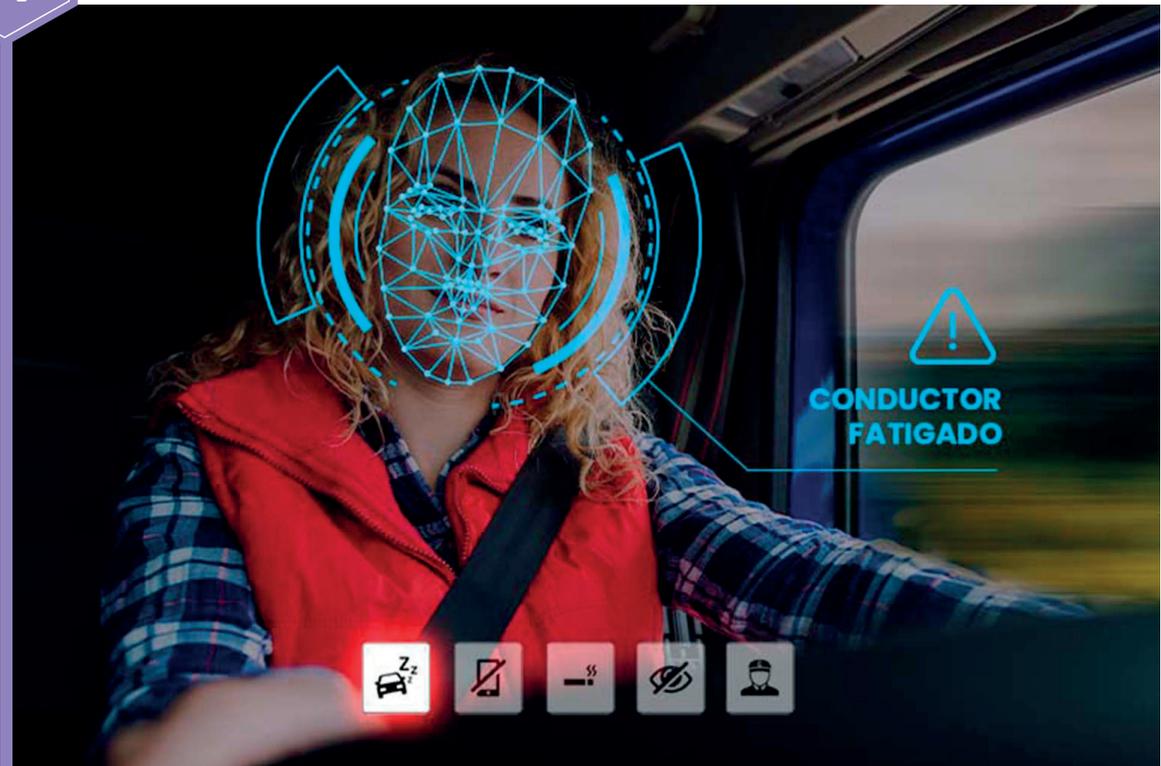
Secretaría
de Transporte
Ministerio de Economía



AUTOMOTOR

Malena Mul Fedele
Lic. en Biotecnología y Doctora en
Ciencia y Tecnología de la Univ. Nac. de
Quilmes. Investigadora del CONICET.

Recibido: 05/03/23
Aceptado: 12/04/23



MBMF COMO MECANISMOS DE PREVENCIÓN Y DETECCIÓN

Sistema de gestión del riesgo de fatiga

Las alteraciones generadas por la falta de sueño a menudo pueden desencadenar incidentes y accidentes. Es por ello que este factor constituye un gran riesgo sobre la seguridad de la sociedad.

Introducción

La llegada de la luz artificial en el siglo XIX, en conjunto con las demandas sociales, empresariales y culturales, moldearon lo que se conoce como la "Sociedad 24/7", una sociedad que necesita estar activa las 24 horas, los 7 días de la semana. Muchas industrias y servicios dependen de una fuerza laboral continua, dando lugar a jornadas laborales no convencionales, tales como el trabajo nocturno, los turnos rotativos y las jornadas extendidas (James *et al.*, 2017). Esto ha llevado a que muchas personas se aparten de sus ciclos habituales de 24 horas, los cuales responden a la alternancia de luz-oscuridad ambiental, generando alteraciones en sus ritmos circadianos. Asimismo, cada vez es mayor el porcentaje de personas que reportan dormir menos de las 7 u 8 horas recomendadas (Watson *et al.*, 2015).

Las largas horas de trabajo, la exposición a la luz nocturna y los factores psicosociales generan una desincronización entre nuestro reloj biológico endógeno y los sincronizadores externos o ambientales, como la luz solar. En personas con patrones de sueño normales, estos ritmos son impulsados por la actividad de los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo cerebral. Este reloj central se relaciona con relojes periféricos distribuidos en todo el organismo, regulando distintas variables fisiológicas y comportamentales (ciclo sueño-vigilia, temperatura, metabolismo, secreciones hormonales, etc.), preparando así al organismo para concentrar las capacidades físicas y cognitivas, alimentarse durante el día y para descansar y realizar funciones de reparación durante la noche (Golombek & Rosenstein, 2010). La discrepancia entre los horarios laborales y sociales y los dictados por el reloj biológico se denomina "jet-lag social" (Wittmann *et al.*, 2006).

Todos los individuos tenemos un nivel de ritmo circadiano de alerta alto durante las horas del día y bajo durante las horas de la madrugada. En oposición a este ritmo biológico natural, el trabajo en turnos determina que un individuo debe estar despierto cuando el nivel de alerta determinado por el ritmo circadiano es bajo y dormido cuando es alto, o bien debe permanecer despierto luego de muchas horas de servicio, acumulando la presión homeostática del sueño (necesidad de dormir), dándose a veces ambas situaciones al mismo tiempo. Toda esta situación conduce a un sueño corto y de mala calidad y a una somnolencia excesiva mientras se está despierto (James *et al.*, 2017).

La desincronización de los ritmos biológicos en general y la falta de sueño en particular impactan a nivel físico, psicológico y social. A nivel físico, se producen modificaciones neurocognitivas que incluyen cambios en la atención (reducción del alerta y de la capacidad para concentrarse en tareas continuas),

en la memoria (disminución de la memoria de trabajo, semántica y episódica) y en funciones ejecutivas (disminución en la capacidad de toma de decisiones, creatividad, productividad y el cada vez más requerido *multi-tasking*) (Goel *et al.*, 2009; Céline Vetter *et al.*, 2012). Asimismo, se observan cambios en la actividad del sistema nervioso autónomo, endócrino, metabólico e inmune (Mullington *et al.*, 2009). A nivel psicológico, se producen modificaciones en la esfera afectiva (fluctuaciones en el humor, ansiedad, depresión) (Vogel *et al.*, 2012). A nivel social, se observan cambios en la forma de interactuar con los pares (Anderson & Dickinson, 2010).

Es por ello que en 2006 el Instituto de Medicina perteneciente a la Academia Nacional de Ciencias de EE. UU. declaró la privación y desórdenes del sueño, entre los cuales se encuentran aquellos ocasionados por la interrupción de los ritmos circadianos, como un problema de salud pública (Colten & Altevogt, 2006). En lo que respecta a América Latina, se encontró que un gran porcentaje de la población, independientemente de la edad, reportó haber experimentado trastornos de sueño, y gran parte de estos trastornos fueron identificados como moderados a graves y, además, se detectó una brecha de sueño de unas dos horas entre las horas efectivamente dormidas y las que se deseaba dormir (Blanco *et al.*, 2004). En nuestro país, según un estudio que utilizó datos relevados por el Observatorio de la Deuda Social Argentina referidos a una muestra de 5000 sujetos a nivel nacional, el 15 % de los sujetos refiere dormir menos de 6 horas, una cifra similar informa padecer mala calidad de sueño, y el 20 % declara excesiva somnolencia diurna (Simonelli *et al.*, 2013).

La desincronización de los ritmos biológicos, junto con la falta de sueño, predispone al desarrollo de fatiga. La fatiga es un estado complejo, caracterizado por una disminución en la capacidad de atención y una reducción del rendimiento mental y físico, a menudo acompañado de somnolencia. Sus principales causas son: el horario, la cantidad y la calidad del sueño diario; el tiempo transcurrido desde el último período de sueño; la hora del día; y la carga de trabajo, el tipo de tarea y el tiempo transcurrido en la tarea (W. J. Evans & Lambert, 2007).

La fatiga se observa, objetivamente, como cambios en diversos aspectos del rendimiento, incluido el aumento del tiempo de reacción, lapsus de atención (es decir, tiempos de reacción altos), el aumento del tiempo necesario para realizar tareas cognitivas, la reducción de la conciencia situacional y de la motivación. Las alteraciones generadas por la fatiga a menudo pueden desencadenar incidentes y accidentes (Dawson *et al.*,

2012). Es por ello que en el trabajo la fatiga constituye un gran riesgo sobre la seguridad de las personas y quienes forman parte de su entorno laboral, así como también para la sociedad.

En comparación con aquellas personas que tienen un sueño de calidad, quienes informan somnolencia diurna excesiva debido a un sueño inadecuado son más vulnerables a accidentes y lesiones dentro y fuera del trabajo (Rosekind *et al.*, 2010). Algunos estudios realizados en organizaciones de Estados Unidos, Francia y Reino Unido muestran que el número de accidentes de trabajo relacionados con problemas asociados al sueño pueden variar del 10 % al 30 % (Otmani *et al.*, 2005). Según los informes de los accidentes ocurridos en la planta de Union Carbide en Bhopal —la fusión nuclear de Three Mile Island y Chernobyl, y la conexión a tierra del supertanker Exxon Valdez— los efectos de la fatiga, la pérdida de sueño y la disrupción circadiana en el rendimiento de quienes trabajaban se identificaron como factores presentes al momento del accidente (Rosekind *et al.*, 2010).

La falta de sueño no solo tiene costos en la salud y la seguridad de las personas, sino también en la economía. Los impactos financieros de la privación del sueño y los trastornos del sueño pueden clasificarse como directos (costos de utilización de recursos médicos, incluido el consumo de servicios hospitalarios, ambulatorios y farmacéuticos dentro del sistema de prestación de atención médica) o indirectos (gastos incurridos por absentismo como reducción de la productividad laboral y aumento de errores y accidentes en el lugar de trabajo) (Redeker *et al.*, 2019). En un estudio realizado en Reino Unido se concluyó que la falta de sueño le cuesta a la economía cerca de U\$S 54.000 millones por año (1,8 % del PBI), teniendo en cuenta la pérdida de productividad y efectos de mortalidad (Rosekind *et al.*, 2010). Asimismo, teniendo en cuenta solo cinco países (de altos ingresos) pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), se estima que se pierden a causa de esta problemática al menos U\$S 680 billones por año en total (Chattu *et al.*, 2018).

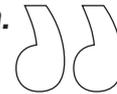
Por último, también es importante destacar que en el largo plazo la desincronización de nuestros ritmos biológicos y la poca cantidad o mala calidad de sueño se asocian con problemas de salud crónicos, como intolerancia a la glucosa, obesidad, diabetes, aumento de la susceptibilidad a infecciones, hipertensión y enfermedades cardiovasculares (Rajaratnam *et al.*, 2013; Roenneberg *et al.*, 2012; Celine Vetter *et al.*, 2018).

Fatiga y seguridad vial

La excesiva somnolencia diurna es un problema de salud pública que afecta entre un 12 % y un 20 % de la

población adulta (Gottlieb *et al.*, 2018; Simonelli *et al.*, 2013) y que produce no solo accidentes automovilísticos y laborales, sino también irritabilidad, estrés y deterioro de la calidad de vida. Si bien en nuestro país no hay estadísticas concretas sobre el estado de fatiga y somnolencia de quienes están involucrados en este tipo de accidentes, no son pocos los casos en los que los elementos peritados muestran conductas solo explicables por el sueño (y que llegan al conocimiento del público a través de los medios de comunicación, cuando cronistas y periodistas lo sintetizan de manera terminante: “todo indica que el conductor se durmió”).

“Todos los individuos tenemos un ritmo circadiano de alerta alto durante las horas del día y bajo durante las horas de la madrugada.”



Desde la óptica de la salud pública y la seguridad, la somnolencia por agotamiento o privación de sueño ha sido comparada con la que manifiesta una persona luego de ingerir bebidas alcohólicas. La vigilia mantenida durante 17 horas genera el mismo nivel de dificultad para realizar una determinada tarea que la producida por concentraciones plasmáticas de alcohol de 0.05 g/dl (que es la alcoholemia límite en algunas provincias de Argentina y en otros países) (Dawson & Reid, 1997).

De acuerdo con estadísticas de Estados Unidos, el 20 % de quienes conducen se duermen durante la conducción, y suman más de 300.000 accidentes por año vinculados a somnolencia y que significan una tasa del 20 % en los accidentes fatales (Gottlieb *et al.*, 2018).

Existe bastante evidencia científica acerca de la relación entre el patrón de sueño, los esquemas laborales y los accidentes de tránsito. En un estudio llevado adelante por nuestro grupo de trabajo, en el que se evaluó al personal de conducción de ómnibus de larga distancia, se detectaron alteraciones en el patrón de sueño y en el ritmo circadiano, junto con modificaciones en la respuesta psicomotora, autonómica y endócrina, asociadas a los esquemas laborales de riesgo más elevado (Diez *et al.*, 2020). Muchas veces la privación de sueño puede ser consecuencia de la presencia de trastornos de sueño, como, por ejemplo, las apneas de sueño (cortes en la respiración que se dan durante el sueño). Se ha demostrado que la privación de sueño, tanto debido a la presencia de apneas como a la falta de tiempo de descanso, es un factor de riesgo para la ocurrencia de accidentes viales en

la población en general (Gottlieb *et al.*, 2018; Kalsi *et al.*, 2018).

Además de trabajar en el desarrollo de esquemas laborales más seguros y de herramientas de detección de la fatiga, es importante trabajar en la concientización de quienes conducen, ya que un posible problema es que muchas veces pueden subestimar los síntomas de fatiga (Sallinen *et al.*, 2020).

Modelado biomatemático de la fatiga

La realidad es multiforme y difícil de capturar. Pese a ello, para tomar decisiones de manera racional es necesario conocer las posibilidades que se abren y su efecto. Ese análisis se puede hacer a través de modelos que pueden ser más o menos simples. Los modelados matemáticos son representaciones de la realidad y se componen de algoritmos. A través de los modelados biomatemáticos de la fatiga (MBMF) es posible predecir o conocer en tiempo real los niveles de fatiga relacionados con un determinado ciclo de sueño-vigilia.

La fatiga es una condición multifactorial, es decir, que depende de diversos factores que incluyen el tipo, la dinámica y el contexto de la actividad realizada por la persona; el valor y el significado de la actividad para el individuo; factores psicosociales que abarcan el trabajo y la vida familiar; rasgos individuales; estados individuales (dieta, aptitud física, salud y otros); y condiciones ambientales (Caldwell *et al.*, 2019). Es por esto que estos modelados, al igual que cualquier otro modelado, constituyen un acercamiento a la situación real y son simplificaciones de mecanismos neuropsicológicos. Siempre debe tenerse en cuenta que tanto el contexto individual como el laboral de cada persona puede hacer que esta representación sea más o menos precisa de su estado de fatiga.

Como hoy en día es muy difícil medir directamente el riesgo relacionado con la fatiga o el nivel de fatiga de una persona (a diferencia del consumo de alcohol o de drogas, por ejemplo), estos modelos no tienden a regular la fatiga en sí misma, sino que tienden a implementar mecanismos que permitan conocer el posible nivel de fatiga antes, durante y después de un incidente o accidente que pueda relacionarse con esta condición.

Los MBMF consideran que el alerta varía a lo largo de la etapa de vigilia de acuerdo con las horas de sueño, la hora del día en la que la persona durmió, las horas que lleva despierta y el momento del día en el que desarrolla la actividad (Dawson *et al.*, 2011). Naturalmente, y como se mencionó previamente, estos modelos no fueron creados para hacer comparaciones o determinar la longitud de la jornada laboral, sino

para determinar cuál es la mejor organización de estas jornadas en situaciones complejas (como el trabajo en turnos no convencionales), para el monitoreo proactivo de la fatiga en el lugar de trabajo y para un seguimiento reactivo posterior al incidente (Honn *et al.*, 2019).

Una de las primeras organizaciones en aplicar estos modelos para la diagramación de los turnos y prevención de la fatiga fueron las aerolíneas. A pesar de que este tipo de transporte es el más seguro por kilómetro viajado (L. Evans, n.d.), estos modelos fueron validados en estudios con pilotos y se demostró que son eficaces para predecir el riesgo de fatiga y las alteraciones neurocognitivas que esta causa (Caban *et al.*, 2012; Ingre *et al.*, 2014; Morris *et al.*, 2018). Es por ello que hoy en día se utilizan tanto para el diseño de los esquemas laborales de las aerolíneas como para predecir la fatiga al comienzo de la jornada laboral.

En cuanto al transporte terrestre, se ha demostrado que en el personal de conducción de vehículos de cargas la predicción de fatiga obtenida a partir del MBMF se relaciona con la ocurrencia de eventos críticos para la seguridad, los cuales se corresponden con la ocurrencia de colisiones y errores en la conducción (Mollicone *et al.*, 2019). Por su parte, también se ha observado que el MBMF es un buen predictor de accidentes de tránsito, tanto para automovilistas (Åkerstedt *et al.*, 2008) como para camioneros (Moore-Ede *et al.*, 2004). Asimismo, en este último estudio se demostró que, al implementar en una flota de camiones las predicciones arrojadas por el MBMF para organizar de manera más eficiente los esquemas laborales del personal de conducción, se disminuyó el nivel de fatiga y de esta forma el número y severidad de los accidentes relacionados con esta problemática. Por último, el MBMF también fue validado en la industria ferroviaria de Estados Unidos, y se ha observado que es capaz de predecir el riesgo de que ocurran accidentes relacionados con fallas en el desempeño (Dean *et al.*, 2007). Asimismo, a partir del análisis de accidentes ferroviarios relacionados con factores humanos, se ha observado que el riesgo económico relativo aumenta cuando el riesgo de fatiga predicho por el modelado biomatemático aumenta (Hursh *et al.*, 2011).

Las fuerzas armadas de Estados Unidos fueron pioneras en el desarrollo, validación y aplicación de los MBMF. El Departamento de Defensa ha incorporado un MBMF dentro de un sistema de manejo de riesgo de fatiga, llamado FAST, que utiliza la información sobre el horario de trabajo de una persona junto con la de sus hábitos de sueño para predecir su rendimiento (Hursh *et al.*, 2004). El sistema FAST ha sido modificado y validado para ser utilizado en aerolíneas. Además, se han desarrollado otros sistemas de manejo de riesgo de fatiga, en los cuales se utilizan como he-

[14 - 21]

herramienta los MBMF, para organizar los esquemas de trabajo y monitorear los niveles de fatiga de la tripulación (Ingre *et al.*, 2014). De hecho, a partir del 2020, la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) exige a los proveedores de servicios de navegación aérea (ANSP) que implementen sistemas de manejo del riesgo de fatiga (International Civil Aviation Organization, 2020).

Por último, otra de las industrias en las cuales se están usando los MBMF para el monitoreo y organización de los esquemas laborales son las mineras (Maisey *et al.*, 2021), en las cuales se ha observado que su aplicación no solo aumenta la seguridad de quienes trabajan, sino que también favorece el aumento de la productividad de la empresa (*Fatigue Science*, 2022).

Sistema de manejo del riesgo de fatiga

La forma tradicional de controlar la fatiga ha sido con regulaciones sobre los periodos de servicio y descanso. Las regulaciones convencionales que siguen este modelo reducen, pero no eliminan, las condiciones que contribuyen a la fatiga. Se basan principalmente en las teorías del "tiempo en la tarea" y en el supuesto de que la fatiga se acumula en forma lineal; pero no consideran las interacciones entre la pérdida de sueño y los ritmos biológicos. Además, estas regulaciones no pueden abordar las complejidades operativas caso por caso.

Existen distintos predictores de fatiga que se pueden utilizar para generar un Sistema de Manejo del Riesgo de Fatiga (SMRF). Este es un modelo que incluye cuatro etapas de mecanismos de control de riesgos, en el cual las oportunidades para prevenir un incidente o accidente van disminuyendo a medida que avanzan las etapas. Los accidentes relacionados con la fatiga son eventos de baja frecuencia, pero de altas consecuencias, por lo tanto, un SMRF efectivo debe focalizarse en identificar eventos de alta frecuencia y bajas consecuencias, con la implementación de controles a lo largo de las cuatro etapas.

Las defensas o medidas que componen este sistema deben ser múltiples, redundantes y superponerse, con el objetivo de aumentar su efectividad. Tradicionalmente, la fatiga se ha manejado utilizando una sola capa de defensa (por ejemplo, la regulación de las horas de servicio), asumiendo que la persona puede aprovechar correctamente las oportunidades de sueño y que de esa forma va a estar descansada y en condiciones de ejercer sus tareas. Pero este podría no ser el caso, y por estas razones se plantea este modelo con capas de defensa suplementarias.

Estructuralmente, un SMRF se compone de procesos y procedimientos para medir, modelar, gestionar, miti-

gar y reevaluar el riesgo de fatiga en un entorno operacional específico. Se trata de una estrategia efectiva para mitigar la fatiga y los riesgos asociados a ella. Combina la evaluación de horarios, la recopilación de datos individuales, el análisis continuo y sistemático y las mitigaciones proactivas y reactivas de la fatiga, con base en la información proporcionada por estudios científicos, complementando con los requisitos legales respecto de tiempos de servicio y descanso de cada actividad en particular. El SMRF tiene como objetivo garantizar altos niveles de alerta en el personal para mantener niveles aceptables de seguridad y rendimiento (Dawson *et al.*, 2012).

Un SMRF puede ser parte de los Sistemas de Gestión de la Seguridad (SGS) de una organización o de un sistema independiente. Incluye procesos documentados para recopilar y analizar datos de seguridad relacionados con la fatiga e implementar contramedidas, permitiendo siempre una mejora continua. Basado en el modelo de defensas por capas, puede verse como una serie de capas defensivas que se pueden posicionar en cuatro puntos a lo largo de la trayectoria potencial de un incidente. Cada uno de estos puntos brinda la oportunidad de identificar y prevenir accidentes relacionados con la fatiga en diferentes niveles de control (Figura 1), ofreciendo un enfoque proactivo en lugar de reactivo para el manejo de la fatiga.

El nivel 1 de la trayectoria representa las oportunidades de sueño que proporciona un esquema de trabajo específico. Las estimaciones de riesgo más cualitativas o las herramientas de modelado de fatiga cuantitativas más recientes (MBMF) proporcionan un indicador del grado de riesgo asociado a un esquema de turnos de trabajo particular. A tal fin se tienen en cuenta parámetros como horas de trabajo semanales, duración máxima del turno de trabajo, duración mínima del descanso entre turnos de trabajo, duración máxima de trabajo nocturno y frecuencia de francos. Asimismo, en este nivel se pueden considerar instancias educativas dirigidas a todo el personal de una compañía, con el objetivo de generar conciencia acerca de la importancia de un descanso de calidad.

El nivel 2 es la cantidad real de sueño obtenida. Si bien la provisión de una oportunidad adecuada para dormir es necesaria, no siempre es suficiente para garantizar que una persona haya descansado adecuadamente. Los controles de nivel 2 se enfocan en identificar las ocasiones en las que una oportunidad adecuada para dormir no se ha visto reflejada en suficiente sueño para garantizar que una persona esté en condiciones de trabajar.

El nivel 3 se relaciona con la detección de síntomas de la fatiga. A veces, una oportunidad adecuada para dormir y una cantidad adecuada de sueño real aún pueden

Figura 1. Capas que debe controlar un Sistema de Manejo del Riesgo de Fatiga efectivo



Fuente: Modificada de Dawson D., 2012.

asociarse con niveles de fatiga elevados. Esto podría deberse a factores como la presencia de trastornos del sueño, diferencias individuales en el nivel de descanso requerido o razones situacionales particulares. Para ello se utilizan escalas tradicionales de auto-reporte o tecnologías surgidas en los últimos años que permiten la detección de biomarcadores de fatiga (test de reacción informatizados, monitoreo de señales fisiológicas).

El nivel 4 se ocupa de la evaluación y el control del error relacionado con la fatiga. En el nivel operacional, es posible identificar indicadores de disminución del rendimiento asociados con la presencia de fatiga. Si se monitorean adecuadamente, los errores relacionados con la fatiga pueden proporcionar a la persona y a la organización una oportunidad de aprendizaje potencial y una perspectiva de cómo evitar que vuelvan a ocurrir futuros eventos.

El nivel 5 proporciona un mecanismo de control de análisis de incidentes para retroalimentar la reforma del sistema. Esta información se utiliza para mejorar la identificación del riesgo relacionado con la fatiga y para actualizar continuamente las herramientas del Nivel 1 al 4 para mitigar los riesgos relacionados con la fatiga. Un sistema de informes no punitivo es esencial para alentar el informe de eventos relacionados con la fatiga como parte del sistema de seguridad general (Dawson et al., 2012).

En resumen, los incidentes relacionados con la fatiga son precedidos por errores también relacionados con

este factor. A su vez, las conductas relacionadas a la fatiga anteceden a estos errores. Estas conductas o síntomas indican que la persona no tuvo un sueño adecuado (en cantidad o calidad) o que ha estado despierta durante un período de tiempo excesivo. Finalmente, un sueño inadecuado o un excesivo tiempo de vigilia pueden ser consecuencia de inadecuadas oportunidades de sueño.

En estos últimos años, se han desarrollado una gran cantidad de herramientas tecnológicas para la detección de fatiga, pero muchas no cumplen con los criterios necesarios para ser implementadas: haber sido validadas por estudios, tanto de laboratorio como de campo, llevados a cabo por grupos científicos independientes, y debe proveer de medidas específicas y lo suficientemente sensibles. Además, es importante determinar cuál es el momento ideal para que el dispositivo emita su alerta (Dawson et al., 2014).

Todo esto nos lleva a concluir que, desde la perspectiva de las organizaciones, los SMRF implican un enfoque no prescriptivo, que se basan en distintos factores que pueden afectar el rendimiento de quienes trabajan. Esto implica que no imponen una solución del tipo reguladora y que es única para todos, sino que se pueden adaptar a cada sector y contexto laboral. Por otro lado, desde la perspectiva del Estado y las políticas públicas, estas herramientas prometen marcar una diferencia tanto para la salud, bienestar y seguridad de quienes trabajan, como para la seguridad operacional de las organizaciones en el ámbito de trabajo y la salud pública en general.

Referencias bibliográficas

- Åkerstedt, T., Connor, J., Gray, A., & Kecklund, G. (2008). Predicting road crashes from a mathematical model of alertness regulation-The Sleep/Wake Predictor. *Accident Analysis and Prevention*, 40(4), 1480-1485. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.03.016>
- Anderson, C., & Dickinson, D. L. (2010). Bargaining and trust: the effects of 36-h total sleep deprivation on socially interactive decisions. *Journal of Sleep Research*, 19(1 Pt 1), 54-63. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2869.2009.00767.X>
- Blanco, M., Kriber, N., & Cardinali, D. P. (2004). A survey of sleeping difficulties in an urban Latin American population. *Revista de Neurologia*, 39(2), 115-119. <https://doi.org/10.33588/rn.3902.2003649>
- Cabon, P., Deharvengt, S., Grau, J. Y., Maille, N., Berechet, I., & Mollard, R. (2012). Research and guidelines for implementing Fatigue Risk Management Systems for the French regional airlines. *Accident Analysis and Prevention*, 45(SUPPL.), 41-44. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.09.024>
- Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., Thompson, L. A., & Lieberman, H. R. (2019). Fatigue and its management in the workplace. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* (Vol. 96, pp. 272-289). *Neurosci Biobehav Rev*. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.10.024>
- Chattu, V. K., Sakhamuri, S. M., Kumar, R., Spence, D. W., BaHammam, A. S., & Pandi-Perumal, S. R. (2018). Insufficient Sleep Syndrome: Is it time to classify it as a major noncommunicable disease? *Sleep Science* (Sao Paulo, Brazil), 11(2), 57-64. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20180013>
- Colten, H. R., & Altevogt, B. M. (2006). Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem. *Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem*, 1-404. <https://doi.org/10.17226/11617>
- Dawson, D., Chapman, J., & Thomas, M. J. W. (2012). Fatigue-proofing: A new approach to reducing fatigue-related risk using the principles of error management. *Sleep Medicine Reviews*, 16(2), 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2011.05.004>
- Dawson, D., Ian Noy, Y., Härmä, M., Kerstedt, T., & Belenky, G. (2011). Modelling fatigue and the use of fatigue models in work settings. *Accident Analysis and Prevention*, 43(2), 549-564. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.030>
- Dawson, D., & Reid, K. (1997). Fatigue, alcohol and performance impairment [5]. *Nature* (Vol. 388, Issue 6639, p. 235). *Nature*. <https://doi.org/10.1038/40775>
- Dawson, D., Searle, A. K., & Paterson, J. L. (2014). Look before you (s)leep: evaluating the use of fatigue detection technologies within a fatigue risk management system for the road transport industry. *Sleep Medicine Reviews*, 18(2), 141-152. <https://doi.org/10.1016/J.SMRV.2013.03.003>
- Dean, D. A., Fletcher, A., Hursh, S. R., & Klerman, E. B. (2007). Developing mathematical models of neurobehavioral performance for the "real world." *Journal of Biological Rhythms*, 22(3), 246-258. <https://doi.org/10.1177/0748730407301376>
- Diez, J. J., Plano, S. A., Caldart, C., Bellone, G., Simonelli, G., Brangold, M., Cardinali, D. P., Golombek, D., Pérez Chada, D., & Vigo, D. E. (2020). Sleep misalignment and circadian rhythm impairment in long-haul bus drivers under a two-up operations system. *Sleep Health*, 6(3), 374-386. <https://doi.org/10.1016/J.SLEH.2019.12.011>
- Evans, L. (n.d.). Transportation Safety. *Handbook of Transportation Science*, 67-112. https://doi.org/10.1007/0-306-48058-1_4
- Evans, W. J., & Lambert, C. P. (2007). Physiological basis of fatigue. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* (Vol. 86, Issue 1 SUPPL.). *Am J Phys Med Rehabil*. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31802ba53c>
- Fatigue Science. (2022). The ROI of Readi FMIS. *Fatigue Science Whitepaper*.
- Goel, N., Rao, H., Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2009). Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Seminars in Neurology* (Vol. 29, Issue 4, pp. 320-339). *Semin Neurol*. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1237117>
- Golombek, D. A., & Rosenstein, R. E. (2010). Physiology of circadian entrainment. *Physiological Reviews* (Vol. 90, Issue 3, pp. 1063-1102). *Physiol Rev*. <https://doi.org/10.1152/physrev.00009.2009>
- Gottlieb, D. J., Ellenbogen, J. M., Bianchi, M. T., & Czeisler, C. A. (2018). Sleep deficiency and motor vehicle crash risk in the general population: a prospective cohort study. *BMC Medicine*, 16(1), 44. <https://doi.org/10.1186/S12916-018-1025-7>
- Honn, K. A., van Dongen, H. P. A., & Dawson, D. (2019). Working time society consensus statements: Prescriptive rule sets and risk management-based approaches for the management of fatigue-related risk in working time arrangements. *Industrial Health*, 57(2), 264-280. <https://doi.org/10.2486/indhealth.SW-8>
- Hursh, S. R., Raslear, T., & Falzone, J. (2011). *Analysis of the Relationship between Operator Effectiveness Measures and Economic Impacts of Rail Accidents* (U.S. Federal Railroad Administration (ed.); Report No.). U.S. Department of Transportation.
- Hursh, S. R., Redmond, D. P., Johnson, M. L., Thorne, D. R., Belenky, G., Balkin, T. J., Storm, W. F., Miller, J. C., & Eddy, D. R. (2004). Fatigue Models for Applied Research in Warfighting. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 75(3), 1-10.
- Ingre, M., Van Leeuwen, W., Klemets, T., Ullvetter, C., Hough, S., Kecklund, G., Karlsson, D., & Åkerstedt, T. (2014). Validating and extending the three process model of alertness in airline operations. *PLoS ONE*, 9(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108679>
- International Civil Aviation Organization. (2020). Doc 9966, Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches. *International Civil Aviation Organization*, 2.
- James, S. M., Honn, K. A., Gaddameedhi, S., & Van Dongen, H. P. A. (2017). Shift Work: Disrupted Circadian Rhythms and Sleep-Implications for Health and Well-Being. *Current Sleep Medicine Reports*, 3(2), 104-112. <https://doi.org/10.1007/S40675-017-0071-6>
- Kalsi, J., Tervo, T., Bachour, A., & Partinen, M. (2018). Sleep versus non-sleep-related fatal road accidents. *Sleep Medicine*, 51, 148-152. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.04.017>
- Maisey, G., Cattani, M., Devine, A., Lo, J., & Dunican, I. C. (2021). The Sleep of Shift Workers in a Remote Mining Operation: Methodology for a Randomized Control Trial to Determine Evidence-Based Interventions. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/FNINS.2020.579668/FULL>
- Mollicone, D., Kan, K., Mott, C., Bartels, R., Bruneau, S., van Wollen, M., Sparrow, A. R., & Van Dongen, H. P. A. (2019). Predicting

performance and safety based on driver fatigue. *Accident; Analysis and Prevention*, 126(February), 142-145. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.004>

Moore-Ede, M., Heitmann, A., Guttkuhn, R., Trutschel, U., Aguirre, A., & Croke, D. (2004). Circadian Alertness Simulator for Fatigue Risk Assessment in Transportation: Application to Reduce Frequency and Severity of Truck Accidents. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 75(3), 107-118.

Morris, M. B., Wiedbusch, M. D., & Gunzelmann, G. (2018). Fatigue incident antecedents, consequences, and aviation operational risk management resources. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(8), 708-716. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5019.2018>

Mullington, J. M., Haack, M., Toth, M., Serrador, J. M., & Meier-Ewert, H. K. (2009). Cardiovascular, inflammatory, and metabolic consequences of sleep deprivation. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 51(4), 294-302. <https://doi.org/10.1016/J.PCAD.2008.10.003>

Otmani, S., Pebayle, T., Roge, J., & Muzet, A. (2005). Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers. *Physiology & Behavior*, 84(5), 715-724. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSBEH.2005.02.021>

Rajaratnam, S. M. W., Howard, M. E., & Grunstein, R. R. (2013). Sleep loss and circadian disruption in shift work: Health burden and management. *Medical Journal of Australia*, 199(8), S11-S15. <https://doi.org/10.5694/mja13.10561>

Redeker, N. S., Caruso, C. C., Hashmi, S. D., Mullington, J. M., Grandner, M., & Morgenthaler, T. I. (2019). Workplace Interventions to Promote Sleep Health and an Alert, Healthy Workforce. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 15(4), 649-657. <https://doi.org/10.5664/JCSM.7734>

Roenneberg, T., Allebrandt, K. V., Mellow, M., & Vetter, C. (2012). Social jetlag and obesity. *Current Biology*, 22(10), 939-943. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.038>

Rosekind, M. R., Gregory, K. B., Mallis, M. M., Brandt, S. L., Seal, B., & Lerner, D. (2010). The cost of poor sleep: workplace productivity loss and associated costs. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 52(1), 91-98. <https://doi.org/10.1097/JOM.0B013E3181C78C30>

JOM.0B013E3181C78C30

Sallinen, M., Pylkkönen, M., Puttonen, S., Sihvola, M., & Åkerstedt, T. (2020). Are long-haul truck drivers unusually alert? A comparison with long-haul airline pilots. *Accident Analysis and Prevention*, 137(July 2019), 105442. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105442>

Simonelli, G., Salvia, A., Cardinali, Daniel Pedro Pérez-Chada, D., & Vigo, D. E. (2013). Trastornos de Sueño: aspectos sociodemográficos y su relación con el estado de salud. *Desajustes en el desarrollo humano y social (2010-2011-2012)* (pp. 233-235). EDUCA.

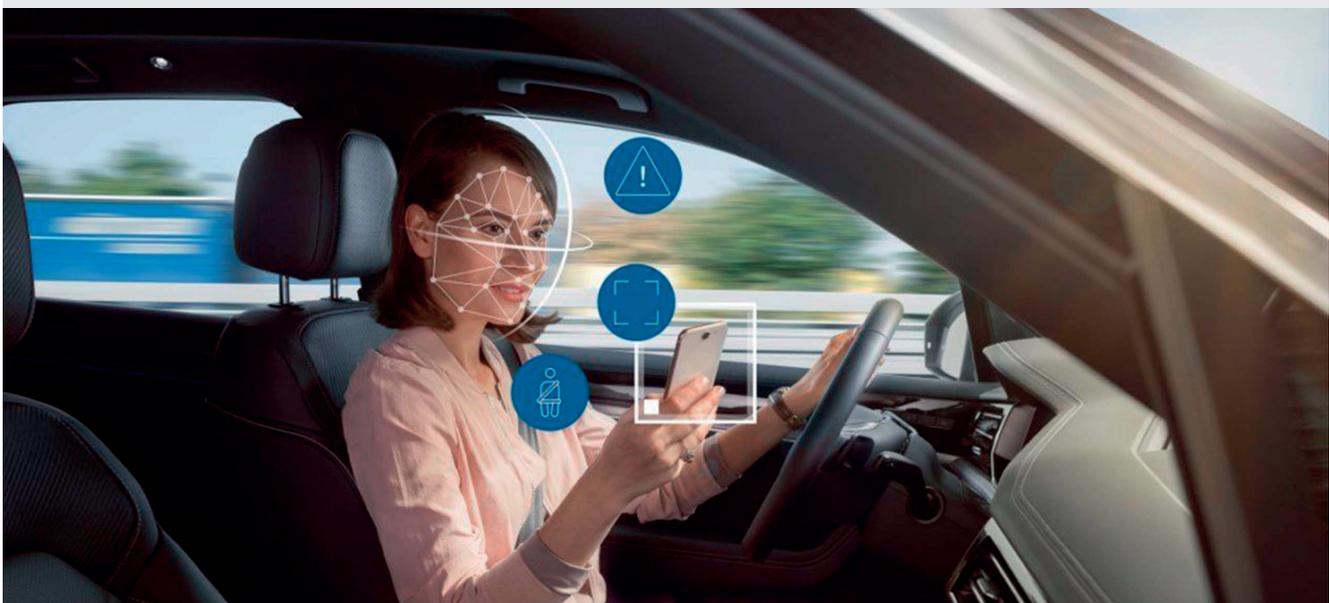
Vetter, Celine, Dashti, H. S., Lane, J. M., Anderson, S. G., Schernhammer, E. S., Rutter, M. K., Saxena, R., & Scheer, F. A. J. L. (2018). Night Shift Work, Genetic Risk, and Type 2 Diabetes in the UK Biobank. *Diabetes Care*, 41(4), 762-769. <https://doi.org/10.2337/DC17-1933>

Vetter, Céline, Juda, M., & Roenneberg, T. (2012). The influence of internal time, time awake, and sleep duration on cognitive performance in shiftworkers. *Chronobiology International*, 29(8), 1127-1138. <https://doi.org/10.3109/07420528.2012.707999>

Vogel, M., Braungardt, T., Meyer, W., & Schneider, W. (2012). The effects of shift work on physical and mental health. *Journal of Neural Transmission* (Vol. 119, Issue 10, pp. 1121-1132). J Neural Transm (Vienna). <https://doi.org/10.1007/s00702-012-0800-4>

Watson, N. F., Badr, M. S., Belenky, G., Bliwise, D. L., Buxton, O. M., Buysse, D., Dinges, D. F., Gangwisch, J., Grandner, M. A., Kushida, C., Malhotra, R. K., Martin, J. L., Patel, S. R., Quan, S. F., Tasali, E., Twery, M., Croft, J. B., Maher, E., Barrett, J. A., ... Heald, J. L. (2015). Joint Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society on the Recommended Amount of Sleep for a Healthy Adult: Methodology and Discussion. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 11(8), 931-952. <https://doi.org/10.5664/jcsm.4950>

Wittmann, M., Dinich, J., Mellow, M., & Roenneberg, T. (2006). Social jetlag: Misalignment of biological and social time. *Chronobiology International*, 23(1-2), 497-509. <https://doi.org/10.1080/07420520500545979>





MARÍTIMO



**Cap. fluvial
Sigfrido Alemañy**
Prefecto retirado, técnico
en Seguridad Marítima
especializado en
Investigación

**Cap. fluvial
Javier Allende**
Piloto de Ultramar de
Primera, licenciado en
Transporte Marítimo

Recibido: 05/04/23
Aceptado: 28/04/23

UN ASPECTO FRECUENTEMENTE VINCULADO CON LOS
ACCIDENTES MARÍTIMOS

El factor fatiga en el suceso del buque pesquero Floridablanca IV

La investigación de la JST dio como resultado que la embarcación colisionó por una incapacitación súbita del oficial de guardia, con un alto grado de probabilidad de que esta esté vinculada con la fatiga.

Recientemente, la JST publicó la investigación sobre la colisión del buque pesquero Floridablanca IV con el viaducto secundario del muelle Almirante Storni, en Puerto Madryn, provincia de Chubut, que ocurrió en la madrugada del 5 de julio de 2021. La fatiga fue uno de los factores analizados.

Cuando el pesquero colisionó contra el viaducto, navegaba a una velocidad de tránsito habitual de 8 nudos y llevaba los tangones desplegados, las luces de cubierta apagadas y no contaba con personal en las estaciones de proa y popa.

Las guardias de navegación habían estado a cargo del capitán y del primer oficial; el primero cubría una guardia diurna de 8 a 20 hs y el segundo, una nocturna de 20 a 8 hs. No hubo un vigía o marinero que cubriera la guardia de puente.

La organización del trabajo a bordo implicó que durante el día el personal realizaba la mayor parte de las faenas de pesca. Las jornadas previas a la entrada a puerto habían tenido días de temporal que dificultaron alcanzar un sueño reparador. Antes del suceso, el primer oficial llevaba más de siete horas solo en la guardia. Y, además, había ingerido una infusión para contrarrestar los síntomas de una congestión.

La investigación de este suceso abordó la fatiga desde una perspectiva multicausal e identificó que su génesis no se limitó a los factores operativos, sino que, además, influyó la presencia de ciertos factores médicos.

Los tripulantes poseen un certificado de reconocimiento médico emitido por la Prefectura Naval Argentina (PNA), que tiene como finalidad y alcance la exigencia de que se cumplan los requisitos psicofísicos mínimos establecidos en la reglamentación; trata de pesquisar situaciones médicas básicas que puedan conducir a una pérdida progresiva de capacidad psicofísica hasta un nivel crítico, una incapacidad crónica emergente o una incapacitación súbita.

El fenómeno de la fatiga en el transporte ha sido reconocido como un factor vinculado a accidentes e incidentes. Bajo ese término se etiquetan estados de diferente intensidad y es el resultado de la interacción persona-trabajo, considerando que el concepto "trabajo" engloba las tareas a realizar y las condiciones de desempeño.

La fatiga referida por las personas que tienen una carga de trabajo principalmente mental, suele acompañarse de unos requerimientos físicos de sedentarismo postural, además de las exigencias de tratamiento de informa-

Figura 1. Vista aérea. Muestra el muelle Almirante Storni. Se destaca la derrota aproximada seguida por el buque pesquero Floridablanca IV y la zona de colisión.

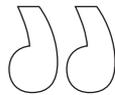


Fuente: Google Earth Pro.

ción y aplicación de funciones cognitivas en intensidad variable como actividades mentales de comprensión, razonamiento, solución de problemas; la movilización de recursos como la atención, la concentración y la memoria. Estos trabajos parecen ser cómodos y descansados, lo cual contrasta con las molestias y el cansancio que manifiestan quienes los desempeñan.

Numerosos documentos producidos por organismos nacionales e internacionales (Nogareda o NTP 179, 1986) coinciden en identificar a la fatiga como un fenómeno extremadamente complejo de analizar y más aun de medir, por tratarse de algo multicausal, debido a que son múltiples los factores que intervienen en su generación (lo que no quita que en su origen pueda hallarse la predominancia de uno en particular).

“La investigación abordó la fatiga desde una perspectiva multicausal e identificó que su génesis no se limitó a los factores operativos, sino que, además influyó la presencia de ciertos factores médicos.



El hecho de que se trate, en parte, de una experiencia subjetiva asociada a las vivencias y percepciones personales, dificulta aún más su conceptualización. Implica alteraciones en los niveles de conciencia y de percepción del individuo, que afectan procesos psicomotores cruciales para un desempeño seguro. Esto es, en cuanto a la velocidad de reacción, niveles de atención, percepción y en la toma de decisiones. Se puede originar producto de un número excesivo de horas de servicio, un déficit de horas de sueño o en su calidad; trabajo nocturno y tener horarios irregulares de trabajo-descanso.

También puede haber un factor, una situación médica o directamente una enfermedad que contribuya o desencadene el estado de fatiga. Desde el punto de vista clínico, la fatiga es la sensación de agotamiento o dificultad para realizar actividades físicas o intelectuales cotidianas. Se trata de un síntoma y, por tanto, una sensación subjetiva que aprecia el individuo y puede ser expresada o referida de muy diversas maneras. Al igual que sucede en la mayoría de los síntomas, la objetivación de la existencia de fatiga y su valoración cuantitativa es difícil, ya que se basa en un interrogatorio dirigido a sus principales características descriptivas y las situaciones que potencialmente la modifican. En la evaluación de cada paciente con fatiga es muy importante para el médico conocer y valorar el contexto particular en que se presenta este síntoma. Además

de esta sensación subjetiva, es relevante valorar la implicación o modificación que supone la fatiga para las tareas cotidianas del paciente, es decir, su repercusión funcional.

Los individuos que manifiestan un síndrome de fatiga crónica (SFC) presentan una alta prevalencia de trastornos del sueño (TS) primarios y a su vez los síntomas del SFC se solapan en gran medida con los de los TS. Normalmente, los individuos con SFC manifiestan una mala calidad de sueño referida como sensación de sueño no reparador.

A partir de la información fáctica recolectada y su análisis, la investigación concluyó que, con alto grado de probabilidad, el oficial de guardia en el puente de navegación habría sufrido una incapacitación súbita total, de origen médico u operacional —o una combinación de ambos—, particularmente por los siguientes factores:

- Afectación del ritmo circadiano debido al esquema de guardia de 12 x 12 en horarios íntegramente nocturnos para el primer oficial.
- Afectación del sueño reparador debido al temporal de los días previos al suceso.
- Situación médica de congestión, es decir, afección aguda que generalmente se presenta con sensación de nariz tapada, goteo nasal, respiración bucal, que puede afectar la calidad del sueño.
- Ingesta de infusión antigripal para paliar los síntomas de esa afección con principio activo clorhidrato de fenilefrina, que puede generar un estado de embotamiento, somnolencia o desvanecimiento.

El informe completo sobre la investigación de la colisión del Floridablanca IV, junto con las Recomendaciones de Seguridad Operacional que la JST emitió para evitar la recurrencia de sucesos similares, se pueden encontrar en: <https://so.jst.gob.ar/informe/?id=1891>

A su vez, la Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Marítimos Fluviales y Lacustres desarrolló una pieza audiovisual 3D sobre esta investigación, que se puede hallar en: <https://www.argentina.gob.ar/jst/maritimo/material-audiovisual-maritimo-fluvial-y-lacustre>



Informe



Animación 3D

DOSSIER

Fatiga como factor asociado a la ocurrencia de sucesos en el transporte: un estado de la cuestión

Fatigue as a factor associated with the occurrence of transport events: a state of the question

Laura Dobruskin

Lic. en Sociología (UBA), especialista en Planificación y Gestión de Políticas Sociales.

Clara Pierini

Antropóloga, Mg. en Políticas Sociales (UBA).

Palabras clave:

fatiga, sistema de transporte, accidentes, riesgo, factores precursoros de fatiga, síntomas de fatiga.

Keywords: *fatigue, transport system, accidents, risk, fatigue precursors, fatigue symptoms.*

Recibido: 05/04/23
Aceptado: 28/04/23

Resumen

La literatura que aborda el fenómeno de la fatiga lo identifica como un elemento de relevancia para el análisis de accidentes en el transporte y la seguridad de las operaciones, ya que sus efectos degradan el desempeño y morigeran la capacidad de desarrollar labores de manera eficaz y segura.

En la reglamentación que regula las actividades del transporte (tanto a nivel nacional como internacional), la fatiga es contemplada como un factor potencialmente relacionado con la ocurrencia de accidentes e incidentes, implícito en cada una de las prácticas laborales del sector. De acuerdo con investigaciones llevadas adelante por la National Transportation Safety Board (NTSB, 1995), entre 1991 y 1993 la fatiga operó como factor con incidencia en un porcentaje significativo de los casos de accidentes de transporte ocurridos en Estados Unidos (entre el 30 % y el 40 %). De forma similar, desde comienzos de 1990 hasta 2018 la Transportation Safety Board (TSB, 2018) identificó a la fatiga como un factor relacionado con la ocurrencia de sucesos en al menos 91 casos: 29 en el ferrocarril, 28 en el sector marítimo y 34 en el aeronáutico.

En este trabajo se presentan los principales aportes conceptuales relevados en diversos informes e investigaciones desarrollados por organismos e instituciones académicas especializadas en la temática, a fin de retomar sus principales consideraciones.

Abstract

The literature that addresses the phenomenon of fatigue identifies it as an element of relevance for the analysis of accidents in transportation and the safety of operations, since its effects degrade performance and reduce the ability to perform tasks efficiently and safely.

In the regulations governing transportation activities (both nationally and internationally), fatigue is considered as a factor potentially related to the occurrence of accidents and incidents, implicit in each of the sector's work practices. According to research carried out by the National Transportation Safety Board (NTSB, 1995), between 1991 and 1993 fatigue was a factor in a significant percentage of transportation accidents in the United States (between 30 % and 40 %). Similarly, from the early 1990s to 2018 the Transportation Safety Board of Canada (TSB, 2018) identified fatigue as a factor related to occurrence in at least 91 cases: 29 in rail, 28 in maritime, and 34 in aviation.

In this paper we present the main conceptual contributions of various reports and research developed by organizations and academic institutions specialized in the subject, in order to take up their main considerations.

Algunas definiciones

Existen diferentes definiciones de fatiga, elaboradas a lo largo de los años por instituciones de ámbitos diversos, pero generalmente vinculadas con el desempeño laboral. Documentos producidos por organismos nacionales e internacionales (la Organización Marítima Internacional [OMI]; la Organización de Aviación Civil Internacional [OACI] y la ya mencionada TSB, entre otros) coinciden en identificar a la fatiga como un fenómeno extremadamente complejo de analizar y, más aún, de medir, por tratarse de un evento multicausal (debido a que son múltiples los factores que intervienen en su generación) y de variabilidad individual y temporal.

En lo que respecta al mundo del transporte, algunas agencias internacionales que nuclean a organizaciones de los distintos modos desarrollaron sus propias definiciones y campo de acción en la materia, que abarca desde estudios incipientes en la temática hasta el desarrollo de sistemas de gestión de la fatiga, como es el caso de la OACI. Este último actor define a la fatiga del siguiente modo:

Un estado fisiológico que se caracteriza por una reducción de la capacidad de desempeño mental o físico debido a la falta de sueño o a períodos prolongados de vigilia, fase circadiana y/o carga de trabajo (actividad mental y/o física) y que puede menoscabar el estado de alerta de una persona y su capacidad para desempeñar funciones relacionadas con la seguridad operacional. (OACI, 2016: 34)

Esta definición considera que la fatiga entraña un desequilibrio entre las exigencias físicas o mentales asociadas a todas las actividades de vigilia (no solamente las profesionales) y la recuperación de los efectos de dichas exigencias (OACI, 2016).

La OMI, por su parte, define a la fatiga como un:

Estado de discapacidad física o mental resultado de factores tales como el sueño inadecuado, la vigilia prolongada, prescripciones relativas al trabajo/períodos de descanso que no están sincronizados con los ritmos circadianos y el esfuerzo emocional, físico o mental que puede disminuir el estado de alerta y la capacidad de operar (...) en condiciones de seguridad, o de llevar a cabo tareas relativas a la seguridad en forma eficaz. (OMI, 2019: 1)

Además, la OMI (2019) destaca el hecho de que la fatiga puede afectar a todas las personas, independientemente de sus aptitudes, conocimientos y formación.

El Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de España (1997) inscribe bajo el término de fatiga estados de diversa intensidad, que manifiestan la tensión producida por ciertas actividades. Asimismo, postula como características comunes a la fatiga el hecho de que esta afecta al organismo en su totalidad, involucrando tanto aspectos físicos como psíquicos, y que su efecto presenta "diferencias interpersonales e intrapersonales en cuanto a manifestaciones e intensidad de los síntomas". Señala también que "la sensación de fatiga es un mecanismo regulador del organismo", de gran valor adaptativo en cuanto a que es indicativo de la necesidad de descanso.

Desde la Obra Social Ferroviaria (OSFE, 2013), organización encargada de proveer servicios médicos asistenciales a trabajadores y jubilados de la actividad ferroviaria en Argentina, refieren a la fatiga como un fenómeno multicausal que afecta al organismo en lo físico y psíquico, con manifestaciones variadas subjetivas y psicósomáticas. Sus consecuencias se expresan como una sensación de debilidad y agotamiento, que disminuye la capacidad de respuesta y acción del trabajador y puede repercutir tanto en su salud y bienestar como en la capacidad y eficiencia productivas, lo cual conlleva costos sociales y económicos. La fatiga se expresa corporalmente como una sensación de debilidad y agotamiento (OSFE *et al.*, 2023).

El Ministerio de Transporte de Argentina sostiene que, si bien desde el sentido común se suele utilizar el término fatiga como sinónimo de cansancio, esta sensación suele ir acompañada de otros síntomas que la vuelven identificable, tales como "dolor generalizado, ansiedad, depresión, apatía, alteraciones del sueño, alteraciones de la memoria o de la concentración" (Dirección Nacional de Observatorio Vial, 2021: 2).

También en Argentina, la Superintendencia de Riesgos del Trabajo del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de la Nación (2016: 51) define a la fatiga como un "cuadro de cansancio físico y mental que se produce por no realizar los descansos necesarios para una recuperación óptima del estado psicofísico". Atribuye este estado

a los pocos descansos existentes entre las jornadas de trabajo, los horarios irregulares de actividad o jornadas laborales excesivas.

Finalmente, la Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores (DNISAU) de la Junta de Seguridad en el Transporte de Argentina (JST, 2023), en el marco de un estudio titulado *Organización y configuración de la jornada de trabajo en conductores profesionales*, señala que existe consenso acerca de que la fatiga consiste en:

Un estado psicofísico que afecta globalmente al organismo produciendo una disminución de la capacidad energética por la acción de cansancio. Se suele manifestar a través de una serie de síntomas y se asocia a la falta de energía y motivación (Williamson, 2011), produciendo sensación de agotamiento, somnolencia, pérdida de alerta (Mabbott & Hartley, 1999) y necesidad de abandonar la tarea (Brown, 1994; Dalziel & So-maes Job, 1997). (DNISAU, 2023: 11)

Es de destacar que las referencias citadas no dan con una definición unívoca y completamente acabada del término. Todas ellas se valen no solo de la experiencia o el estado de fatiga en sí mismo, sino que presentan sucintamente los factores precursores de la fatiga, así como sus potenciales efectos.

La bibliografía, en general, coincide en circunscribir a la fatiga como un estado físico y mental vinculado principalmente a cuatro factores precursores: 1) extensos períodos de vigilia; 2) falta de descanso previo a la actividad; 3) carga de trabajo (exceso de actividad, tensión y/o concentración); 4) falta de sincronización entre los tiempos de actividad y los ritmos circadianos. En referencia a la multicausalidad del fenómeno, cabe destacar que estos factores pueden no presentarse de forma aislada, sino concomitante, lo que dificulta mensurar su nivel de incidencia.

Entre las principales implicancias de la fatiga, las definiciones coinciden en destacar las alteraciones en los niveles de conciencia y de percepción de las personas, lo que puede afectar procesos racionales y psicomotrices críticos para la realización eficaz y segura de actividades complejas, tales como la velocidad de reacción, los niveles de atención y percepción, la toma de decisiones y la memoria, entre otros (Wylie, 1998).

Tipologías

Se señaló que la fatiga es un fenómeno extremadamente complejo de analizar y más aún de medir, debido a que son muchos los factores que intervienen en su definición. A razón de ello, la literatura sobre la temática ha disecionado el concepto en función de sus especificidades, creando clasificaciones sujetas a las particularidades del fenómeno. Estas tipologías se organizan, en líneas generales, en torno a los factores precursores de fatiga y a los efectos implicados.

Desde el Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de España (1986), por ejemplo, se han publicado buenas prácticas para el manejo de la fatiga, que la tipifican en función de las diferentes cargas de trabajo a las que puede someterse una persona. El documento plantea que las distintas actividades implicadas en el trabajo conllevan siempre diverso grado de exigencias. El nivel de movilización para ejecutar una tarea, los mecanismos físicos y mentales que se deben poner en juego, el ritmo de las acciones y las condiciones ambientales que lo circundan son factores con incidencia sobre la fatiga (Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, 1986).

El estudio observa que cada persona despliega una serie de acciones a nivel físico, mental, psicosocial y/u organizacional al momento de realizar una actividad. Todas ellas están presentes en una tarea, solo cambia la proporción (Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, 1986). Entonces, si el trabajo es predominantemente muscular, se conceptualizará como carga física. Si, por el contrario, implica un mayor esfuerzo intelectual o cognitivo, referirá a carga mental. Por último, cuando la carga de trabajo se relaciona con su contenido hablaremos de carga psíquica o de los aspectos psicosociales y/u organizacionales. Paralelamente, el estudio observa que "el desarrollo tecnológico conlleva, al mismo tiempo, una reducción paulatina de la actividad física en muchos puestos de trabajo y la creación de nuevos puestos en los que predomina la actividad mental (control de procesos automáticos, informatización)" (Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, 1986: 2). De esta forma, la disminución del esfuerzo muscular va asociada, en muchos casos, a un aumento de la carga y control de información.

En cuanto a lo organizacional, el estudio pone el énfasis en los sistemas sociotécnicos, incluyendo su organización, estructura, las reglas y procesos que los rigen. Los temas abordados incluyen, entre otros, la comunicación, la gestión del factor humano, el trabajo en equipo, los horarios laborales, nuevas formas de actividad tales como el trabajo virtual, la cultura organizacional y la gestión basada en la calidad (Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, 1986).

En línea con el análisis de "carga de trabajo", un estudio realizado por la Universidad Complutense de Madrid define dos clases de fatiga a partir de los factores que identifica como relevantes para su aparición: la física y la mental. La primera alude a la disminución de la capacidad física del individuo después de haber realizado un trabajo durante un tiempo determinado. Se la asocia a la existencia de una tensión muscular prolongada (dinámica o repetitiva), a una tensión excesiva del conjunto del organismo o bien a un esfuerzo excesivo del sistema psicomotor. Sus principales manifestaciones son la baja en el ritmo de actividad, el cansancio, la inseguridad en los movimientos y una disminución en el rendimiento. Las exigencias físicas de trabajo que sobrepasen las capacidades del individuo (sobrecarga de trabajo) pueden llevar a la situación de fatiga muscular. Si esta se mantiene durante un tiempo, puede afectar no solo a los músculos directamente implicados en el trabajo, sino también a aquellos otros que no han intervenido en las tareas e incluso al propio sistema nervioso:

De esta manera, pasaríamos de una situación de fatiga normal, con un deterioro pasajero de la capacidad de trabajo de determinadas partes del cuerpo, que es fácilmente reversible mediante la introducción de descansos, a una situación de fatiga crónica o patológica, difícilmente reversible y que supone graves repercusiones de carácter general para el cuerpo humano (UCM, 2020: 6).

En cuanto a la fatiga mental, el artículo señala que suele presentarse en actividades caracterizadas por el sedentarismo postural.

Se trata de actividades en apariencia cómodas, pero con carga física debido a que se mantienen posturas estáticas, con frecuencia incorrectas o forzadas y con escaso movimiento. Son tareas que exigen tratamiento de información y aplicación de funciones cognitivas en intensidad variable (actividades mentales de comprensión, razonamiento, solución de problemas, movilización de recursos como la atención, la concentración, la memoria, etc.). Las molestias y el cansancio que experimentan quienes las desempeñan ponen de manifiesto el desgaste que suponen. Asimismo, la fatiga mental puede desembocar en estrés, lo que lleva a ejercer tensión sobre el sistema musculoesquelético. Ambos, estrés y trastornos musculoesqueléticos, están siendo en Europa las principales causas de baja por enfermedad. La particularidad de este tipo de fatiga es que no necesariamente se soluciona mediante el sueño y el descanso físico normal.

El informe alude, a su vez, a otros tipos de fatiga menos relevantes, entre los que destaca la fatiga psicológica, asociada a labores que demandan mucha responsabilidad y rapidez en la toma de decisiones; y la fatiga emocional, caracterizada por fuertes exigencias emotivas y el agotamiento de los recursos socioafectivos.

La OMI (2019), en el documento *Directrices sobre la fatiga*, retoma la tipología que distingue entre fatiga física y mental en términos similares a los planteados por la Universidad Complutense de Madrid. Observa que los factores (personales, ambientales, del vehículo, etc.) que contribuyen a la aparición de una y otra clase de estado no necesariamente son divergentes (el exceso de horas de trabajo o dormir mal, por ejemplo, pueden potenciar la aparición de ambos tipos de fatiga). Del mismo modo, sus efectos y manifestaciones no son necesariamente diferenciables (tanto la fatiga física como la fatiga mental pueden afectar la toma de decisiones, el tiempo de reacción, la percepción, la coordinación, entre otros). El informe resalta, además, el hecho —no necesariamente evidente— de que ambos tipos de fatiga pueden ser experimentadas por una misma persona de manera simultánea.

Otro grupo de estudios centrado en analizar el bienestar del personal de operaciones de transporte adopta una tipología caracterizada por la temporalidad de los síntomas de la fatiga. Se distingue así entre la fatiga aguda y la crónica. La primera es producida por largos periodos de servicio o por una sucesión de tareas muy exigentes en un corto lapso, y tiene una duración acotada que suele aliviarse con descanso; la segunda es generada por los efectos acumulativos de la fatiga a largo plazo, puede durar más de seis meses, es de progresión variable dependiendo de la persona y su entorno, y suele ir acompañada de enfermedades físicas o mentales (OACI, 2008; Rodríguez Ruíz, 2019).

Para finalizar, el estudio de la mencionada universidad elabora una clasificación a partir de la que distingue un tipo de fatiga específico y de relevancia para la seguridad operacional en el transporte: la fatiga laboral. Esta se origina en la relación persona-trabajo. Es decir, que se produce a partir de experiencias y situaciones propias del ámbito laboral que condicionan el origen, así como las formas de percepción de la fatiga. En este marco, las estrategias de prevención deberían contemplar al menos dos vías de intervención: las técnicas y estrategias, centradas en la persona, y las focalizadas, centradas en las condiciones de trabajo, las prácticas organizacionales e incluso en la interacción entre ambas variables.

Dado el abordaje del presente documento, la dimensión de fatiga laboral resulta más adecuada a la hora de pensar los factores asociados a la ocurrencia de sucesos en el ámbito del transporte.

Potenciales manifestaciones de la fatiga

Si bien la fatiga puede afectar a todas las personas, sus consecuencias son particularmente peligrosas en ciertos ámbitos de actividad, en los que la reducción de capacidades físicas y cognitivas puede poner en riesgo la salud y la vida propia y de terceros, como es el caso del sector transporte (OMI, 2019).

Distintos organismos internacionales vinculados al transporte y académicos expertos en la temática estudiaron las principales manifestaciones de la fatiga sobre las personas y sus actividades. En general, los estudios coinciden en señalar a la somnolencia como uno de sus efectos más notables, lo que a menudo lleva a desconocer o minimizar otras manifestaciones de fatiga a las que no se les brinda una adecuada y temprana atención (OMI; OACI; Eurocontrol).

Entre las manifestaciones, síntomas o signos de fatiga (según cómo los denomine la literatura consultada), los estudios coinciden en destacar las siguientes, con diferente nivel de prevalencia según los casos particulares (Eurocontrol, 2005):

- Sensación de somnolencia y probabilidad de períodos de microsueños.
- Alteración de sensaciones y percepciones:
 - Se altera la visión (borrosa), aumenta el número y duración de parpadeos, los ojos se cierran parcialmente, se producen ilusiones ópticas.
 - Se altera la audición (la sensibilidad auditiva puede disminuir, se pueden experimentar reacciones bruscas y exageradas).
 - Se alteran las sensaciones corporales (pesadez, migrañas, dolores de nuca y espalda, hormigueos y calambres).
- Afectación de los movimientos (se vuelven más lentos, menos precisos y eficaces), movimientos indicadores de fatiga (estiramientos, bostezos, acomodados, conductas lúdicas como cantar, silbar o movimientos rítmicos y repetitivos).
- Afectación del comportamiento (desgano al volante, asunción de mayores riesgos, estados de ansiedad, irritabilidad e incomodidad, sensación de aburrimiento).
- Alteración del procesamiento (disminuye la cantidad y calidad de la información que se recibe del ambiente, se altera el razonamiento, se altera el tiempo de reacción y comprensión, lentificación del desempeño, estado de alerta reducido).
- Afectación de la memoria a corto plazo.
- Disminución de la eficacia comunicativa.
- Afectación de la toma de decisiones.
- Pérdida general de conciencia situacional.
- Problemas de salud (gastrointestinales, cardiovasculares, psicológicos, reproductivos, oncológicos).

Todos estos efectos impactan en la toma de decisiones, la capacidad de respuesta y el desenvolvimiento eficaz y seguro de la labor o actividad en desarrollo, constituyéndose como uno de los principales precursores de las conductas de riesgo vial (por ejemplo, el exceso de velocidad) (DNISAU, 2022). La fatiga aumenta la probabilidad de que los conductores se queden dormidos y de que, en caso de producirse un siniestro vial, este sea de mayor gravedad (Singh, 2011). Un estudio centrado en el transporte de pasajeros de larga distancia mostró que la fatiga incrementa la probabilidad de lesiones severas en un accidente, incluso por encima de otros factores de riesgo como el exceso de velocidad y el alcohol (Chu, 2014).

Factores precursores

Se ha dicho que la fatiga es un fenómeno extremadamente complejo de analizar debido a que son múltiples los factores que intervienen en su aparición y sostenimiento. Ahora bien: ¿qué se entiende por factores precursores o factores de riesgo? En líneas generales, la bibliografía coincide en definirlos como aquellos elementos, ambientes, prácticas, acciones y/o condiciones —de origen y características diversas— que tienen potencial para producir fatiga en las personas que conviven con ellos (Chamby Jamera, 2006).

La literatura propone, mayoritariamente, la construcción de distintas dimensiones y agrupamientos al momento de identificar los factores precursores de fatiga. De esta forma, se presentan clasificaciones que diferencian entre factores personales y ambientales o de contexto; las que añaden factores organizacionales y de medio de trabajo (cabina o vehículo); y las que los agrupan en factores intrínsecos y extrínsecos. A continuación, se revisarán algunas de ellas y se presentará la opción que se considera más adecuada para trabajar la temática en el marco de la seguridad operacional en el transporte.

En primer lugar, el informe elaborado por Eurocontrol (2005) presenta un conjunto de elementos a los que denomina "factores o fuentes de fatiga", centralmente ligados a atributos de carácter personal, entre los que destacan los siguientes:

- Falta de sueño o descanso inadecuado.
- Estrés emocional.
- Falta de ejercicio.
- Dieta desbalanceada.
- Consumo excesivo de sustancias como alcohol y café.
- Consumo de tabaco.
- Consumo de medicamentos para dormir.

Asimismo, el estudio identifica una serie de factores que favorecerían, específicamente, la aparición del sueño durante la jornada de actividad. A diferencia de los recién listados, estos parecen ir asociados al entorno y al tipo de labor desarrollada en el marco organizacional:

- Temperatura templada.
- Limitada estimulación e interacción social (monotonía, por ejemplo).
- Incomodidad en el desempeño de la función (mala postura o posición).
- Baja iluminación.
- Actividad física mínima.
- Bajos niveles de ruido.
- Presencia de factores que alteren el estado psicofísico (prisa, por ejemplo).

La Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior de España (2014) clasifica los factores contribuyentes de fatiga en tres categorías. La primera de ellas, denominada externa, alude a vías y/o entornos que exigen incrementar la atención y concentración necesarias para circular (ya sea por embotellamiento, desconocimiento de la vía, retenciones, dificultades en la ruta como baches o caminos inseguros, condiciones climatológicas adversas). La segunda, asociada a condiciones del vehículo, pone el foco en aquellos elementos que vuelven incómodo el cumplimiento de la tarea, alteran el estado de la persona y/o exigen mayores niveles de concentración (mala ventilación, calor excesivo, iluminación deficiente, mal estado del vehículo —como mala suspensión o ruido excesivo del motor—, y diseño poco ergonómico). La tercera y última categoría se identifica con atributos de carácter personal y remite a elementos, actitudes, prácticas o condiciones propias de las personas que conlleven incrementar la atención y el esfuerzo (largas jornadas de actividad, horarios irregulares de trabajo, descanso inadecuado, exceso de consumo de alcohol, alimentos o tabaco, enfermedades, cambios en los hábitos normales de actividad, posturas inadecuadas, entre otros).

Por su parte, el estudio de la Universidad Complutense de Madrid (2020: 8) distingue los factores contribuyentes a la fatiga física de aquellos potencialmente desencadenantes de fatiga mental. Esta última es atribuida a la permanencia de situaciones que exigen funciones cognitivas de alta intensidad (como actividades mentales de comprensión, razonamiento o solución de problemas) y a la permanente movilización de recursos cognitivos (como la atención, la concentración o la memoria), que derivan en saturación mental por sobreestimulación.

En cuanto a la fatiga física, el trabajo engloba los factores contribuyentes en tres categorías (Universidad Complutense de Madrid, 2020):

- Factores dependientes de una incorrecta organización del trabajo.
- Factores dependientes del mismo individuo (defectos visuales, lesiones esqueléticas preexistentes).
- Condiciones ergonómicas y ambiente de trabajo no satisfactorios.

Por último, en su informe *Directrices sobre la fatiga* (2019), la OMI pone el foco en los factores que pueden contribuir a la fatiga y sus riesgos. Identifica inicialmente los elementos de incidencia principal, para luego clasificar con mayor rigurosidad un número más amplio de factores en cuatro categorías. Entre los principales, que plasma de forma transversal, el informe resalta los siguientes:

- Falta de sueño.
- Mala calidad de sueño y de descanso.
- Práctica de trabajo/sueño a horas inadecuadas con respecto al ritmo circadiano.
- Vigilia durante largos periodos.
- Estrés.
- Carga de trabajo excesiva (esfuerzo físico o mental prolongado).

Posteriormente, plasma las siguientes categorías de factores generales coadyuvantes de la fatiga:

- Factores específicos de la gente de mar.
- Factores específicos de la gestión (en tierra y a bordo).
- Factores específicos del buque.
- Factores ambientales.

Los factores específicos de las personas (gente de mar) se vinculan con atributos tales como el "estilo de vida", el comportamiento, las costumbres personales y las características individuales. Como se ha observado, "la fatiga varía de una persona a otra, y sus efectos dependen a menudo de la actividad realizada" (OMI, 2019: 6). Entre estos factores, el informe distingue:

- Sueño y descanso (cantidad, calidad y continuidad del sueño; trastornos/interrupciones del sueño; periodos de recuperación/descanso).
- Reloj interno/ritmos circadianos.
- Factores psicológicos y emocionales (temor; monotonía y aburrimiento; soledad).
- Salud y bienestar (dieta/nutrición/hidratación; ejercicio y forma física; enfermedad y comienzo de enfermedades).
- Estrés (aptitudes; conocimientos y formación pertinentes al trabajo; problemas personales; relaciones interpersonales en el trabajo o en el hogar).
- Medicamentos y consumo de drogas (alcohol; medicamentos; suplementos; cafeína y otros estimulantes).
- Edad.
- Turnos y horarios de trabajo.
- Carga de trabajo (mental/físico).
- Desfase horario.

En segundo lugar, los factores específicos de la gestión se relacionan con el "modo en que los buques son gestionados y explotados. Estos factores pueden constituir causa de estrés y de aumento de la carga de trabajo, provocando, en última instancia, fatiga" (OMI, 2019: 7). Incluyen los siguientes:

- Factores relacionados con la organización:
 - Políticas en materia de dotación, niveles y retención del personal.
 - Papel de la tripulación itinerante y del personal de tierra.
 - Prescripciones relativas a la labor administrativa, notificaciones e inspecciones.
 - Economía.
 - Turnos y horarios de servicio, horas extraordinarias, descansos.
 - Procedimientos, cultura y estilo de gestión de la compañía.
 - Apoyo basado en tierra.
 - Normas y reglamentos.
 - Otros recursos.

[25 - 35]

- Mantenimiento y reparación del buque.
- Calendario de ejercicios y formación de la tripulación.
- Factores relacionados con el viaje y la planificación:
 - Frecuencia y duración de las escalas.
 - Periodo de tiempo entre las escalas.
 - Ruta.
 - Condiciones meteorológicas y estado de la mar durante la travesía.
 - Densidad de tráfico durante la travesía.
 - Naturaleza de las tareas/carga de trabajo en puerto y en el mar.
 - Disponibilidad de permiso de tierra.

En tercer lugar, hay factores específicos del medio de transporte (buque en este caso) que pueden afectar y contribuir a la fatiga. Algunas características del diseño del vehículo afectan a la carga de trabajo (por ejemplo, la automatización, el proyecto y la fiabilidad del equipo), mientras que otras repercuten en la capacidad de dormir de la tripulación o en su nivel de estrés físico (por ejemplo, el ruido, las vibraciones, los espacios de alojamiento, etc.). A continuación, se reseñan algunos de estos factores:

- Proyecto del buque.
- Grado y complejidad de la automatización.
- Grado de duplicación.
- Proyecto y fiabilidad del equipo.
- Inspección y mantenimiento.
- Estado del buque.
- Comodidad física en los espacios de trabajo.
- Emplazamiento de los espacios de alojamiento.
- Movimiento del buque.
- Comodidad física en los espacios de alojamiento.

Por último, los factores ambientales (estos aluden a las zonas en las cuales la gente de mar vive y trabaja) pueden contribuir a la aparición de la fatiga y repercutir tanto en la cantidad como en la calidad del sueño (OMI, 2019). Entre los factores ambientales que deben tenerse en cuenta en esta dimensión se incluyen los siguientes:

- Ruido.
- Vibración.
- Luz.
- Movimiento del buque.
- Temperatura y humedad.
- Ventilación.

En coincidencia con los factores principales identificados por la OMI (2019), la OACI (2016) definió cuatro precursores centrales de la fatiga con base en principios científicos: 1) extensos períodos de vigilia (que no permiten dormir lo suficiente de forma periódica, evitando que el cerebro y el cuerpo se recuperen); 2) la disminución de la duración o calidad del sueño (lo cual merma la capacidad de trabajo y aumenta la somnolencia); 3) el desequilibrio entre los ritmos diarios de actividad y el reloj circadiano corporal (que incide en los períodos y la calidad del sueño y produce altibajo en el desempeño); y 4) la excesiva o reducida carga de trabajo (que puede generar somnolencia fisiológica). Asimismo, la OACI clasifica una serie de factores contextuales que pueden incidir en los niveles de fatiga y la capacidad de los proveedores de servicios para dar respuesta a esta problemática:

Tabla 1: Factores contextuales con incidencia en la fatiga

Factor	
Marco jurídico	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para preservar la integridad del sistema de notificación de seguridad operacional y la confidencialidad de la persona que realiza la notificación. • Consecuencias jurídicas de la notificación de diversos tipos de peligros asociados a la fatiga.
Presiones comerciales	<ul style="list-style-type: none"> • Decisiones opcionales basadas en imperativos empresariales en detrimento de los márgenes de seguridad operacional. • Fusiones orgánicas sobre la base de diversos acuerdos laborales y aptitudes en lo concerniente a las responsabilidades en materia de gestión de la fatiga. • Quiebras y suspensión de pagos.
Acuerdos sobre el personal	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para brindar oportunidades de recuperación que permitan evitar la acumulación de fatiga. • Dotación de personal suficiente para hacer frente a bajas por enfermedad o de otro tipo. • Estabilidad profesional. • Modificación de los acuerdos laborales (por ejemplo, adjudicación de contratistas y determinación de las obligaciones y limitaciones contractuales). • Dotación de personal suficiente para satisfacer necesidades operacionales específicas.
Características demográficas del personal	<ul style="list-style-type: none"> • Edad. • Sexo. • Nivel educativo. • Antecedentes culturales. • Normas sanitarias.
Aceptación de responsabilidades compartidas sobre gestión de la fatiga	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de horarios. • Formulación de políticas sobre gestión de la fatiga. • Capacidad para detectar peligros y evaluar el riesgo en relación con la fatiga. • Capacidad para que un miembro del personal de operaciones pueda ser relevado del desempeño de sus funciones relacionadas con la seguridad operacional si se considera que constituye un riesgo para las mismas.
Estructura de la gestión de la fatiga	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de la fatiga en consonancia con los procesos normalizados de la organización.
Localización geográfica	<ul style="list-style-type: none"> • Topografía. • Aislamiento geográfico. • Condiciones meteorológicas. • Tiempo dedicado a viajar al puesto de trabajo.
Grado de aislamiento de los profesionales de la aviación durante un periodo de servicio	<ul style="list-style-type: none"> • Presiones (comerciales o personales) para llevar a cabo la "misión". • Distancia geográfica del equipo de apoyo, habida cuenta de que el apoyo y la supervisión inmediatos no siempre son posibles.
Condiciones laborales	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de las instalaciones de descanso y políticas sobre su utilización. • Normas sobre alojamiento en las escalas. • Grado de automatización. • Nivel de autoridad y responsabilidad. • Disponibilidad de personal de apoyo. • Factores medioambientales (ruido, temperatura e iluminación). • Disponibilidad de alimento y agua.

Factor	
Operaciones irregulares	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de la necesidad de realizar ampliaciones discrecionales de los límites prescritos. • Frecuencia del incumplimiento de horarios y asignación de servicios no programados.
Carga de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad de tránsito aeroportuario. • Intensidad de las tareas.
Interacción con otros profesionales de la aviación	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de terminología sobre reglamentación. • Necesidad de comunicación en varios idiomas.
Grados de experiencia	<ul style="list-style-type: none"> • Las necesidades operacionales similares pueden conllevar una carga de trabajo más elevada para los profesionales de la aviación sin experiencia que para aquellos que cuenten con la experiencia necesaria. • Los profesionales de la aviación con experiencia podrían tener que prestar apoyo al personal sin experiencia, y supervisarlos, lo que constituiría una carga de trabajo adicional.
Incidencia del modo de vida	<ul style="list-style-type: none"> • Oportunidades sociales. • Diferencias culturales.

Fuente: Manual para la supervisión de los enfoques de gestión de la fatiga (OACI, 2016).

Los factores precursores identificados por la literatura y las diversas clasificaciones disponibles presentan muchos puntos de contacto, aunque se asientan en criterios metodológicos diversos. La incidencia de algunos de ellos adquirirá mayor relevancia según el modo y el tipo de actividad específica implicada.

Las clasificaciones de los factores precursores consideradas por la OMI y la OACI podrían obrar como un modelo o guía que sirva para todos los modos de transporte. No obstante, para ello debe tenerse en cuenta la complejidad y variedad de las actividades que se llevan adelante en cada modo, así como también los distintos aspectos organizacionales. En este sentido, en las principales tipologías y clasificaciones revisadas se observa la preponderancia de cuatro factores: 1) tiempo de vigilia; 2) descanso previo a la actividad; 3) carga de trabajo; y 4) ritmo circadiano.

Conclusiones

En este trabajo se sistematizaron las principales dimensiones de análisis presentes en la literatura que aborda el fenómeno de la fatiga como problemática inherente al sistema de transporte. Asimismo, se compararon las distintas definiciones y las principales variables asociadas a este factor, sus efectos y factores precursores.

La transversalidad de la problemática en el mundo laboral convierte a la fatiga en un tema de interés para distintas disciplinas e instituciones, que abarcan desde las ciencias médicas hasta las sociales, desde las gerencias empresariales hasta organismos de gobierno. En el ámbito del transporte, este tema adquiere especial relevancia, ya que puede repercutir sobre una de las labores más exigentes en términos de atención, reflejos, cálculo de distancia, empatía y educación en el espacio público, como lo es la conducción de medios de transporte (Ministerio de Transporte de la Nación, 2012).

Todas las personas sentirán fatiga en algún momento de la vida. El problema surge cuando la situación que la provoca es persistente en el tiempo o de una gran intensidad, lo cual interfiere con la seguridad y pone en riesgo la integridad y la vida de las personas. En este sentido, la fatiga presente en instancias de conducción de cualquier tipo de vehículo constituye un factor que es necesario abordar desde la perspectiva de la seguridad operacional (Dirección Nacional de Observatorio Vial, 2021). El desarrollo de políticas públicas, legislación y estrategias organizacionales articuladas que morigeren y prevengan su incidencia resulta clave para abordar el fenómeno en toda su complejidad.

Referencias bibliográficas:

- Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (1986). *La carga mental de trabajo: definición y evaluación*. Nota técnica de prevención 179, C. N. C. T, Barcelona.
- Centro Nacional de Condiciones de Trabajo (1997). *Carga mental de trabajo: fatiga*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Barcelona. Disponible en el siguiente enlace: https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_445.pdf
- Chamby Jamera, Víctor (2006). *Investigación de la fatiga en la conducción de camiones cisterna*. Tesis. Santa Cruz, Bolivia.
- DAS/HUM Eurocontrol (2005). *Gestión de la fatiga y el sueño: estrategias personales para reducir los efectos de la fatiga en el control del tránsito aéreo*. Disponible en el siguiente enlace: https://www.srvsop.aero/site/wp-content/uploads/2019/12/AP_C_Gesti%C3%B3n-de-la-Fatiga-y-el-Sue%C3%B1oEurocontroltrad.pdf
- Dirección General de Aviación Civil de Ecuador (2008). *Factores humanos en el servicio de información aeronáutica*. Disponible en el siguiente enlace: <https://www.icao.int/SAM/Documents/GREPECAS/2009/AIMSG12/ManualFactoresHumanos.pdf>
- Dirección General de Tráfico de España (2014). Otros factores de riesgo: la fatiga. Madrid. Disponible en el siguiente enlace: https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/educacion-vial/adultos/no-formal/fatiga.pdf
- Dirección Nacional de Observatorio Vial (2021). *Fatiga y estrés en la conducción de vehículos*. Dossier N.º 5. Ministerio de Transporte.
- Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores (2023). *Organización y configuración de la jornada de trabajo en conductores profesionales de transporte automotor de larga distancia*. Revisión de la literatura. JST.
- National Transportation Safety Board (1995). *Annual Report to Congress*. Disponible en el siguiente enlace: <https://www.ntsb.gov/about/Documents/SPC9801.PDF>
- Obra Social Ferroviaria, Fundación Argentina del Sueño, Anlís Malbrán e Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (2023). Prevalencia de fatiga, apnea obstructiva durante el sueño y calidad del sueño, en trabajadores ferroviarios.
- Organización de Aviación Civil Internacional (2016). *Manual para la supervisión de los enfoques de gestión de la fatiga*. Segunda Edición. OACI. Disponible en: https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS%20Tools/9966_cons_es.pdf
- Organización Marítima Internacional (2019). Circular 1598 del Comité de Seguridad Marítima. Directrices sobre la fatiga.
- Rodríguez Ruíz, Javier (2019). *Fatiga en los Centros de Trabajo*. Madrid. Disponible en el siguiente enlace: <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/238996/retrieve>
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo (2016). *Fatiga en conductores de transporte automotor de larga distancia*. Ficha técnica N.º 2. Buenos Aires. Disponible en el siguiente enlace: https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/09/Fatiga_ficha_02.pdf
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo (2016). *Manual de buenas prácticas. Transporte de carga*. Buenos Aires. Disponible en el siguiente enlace: <https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/05/MBP--Transporte-de-Cargas.pdf>
- Transportation Safety Board of Canada (TSB) (2018). *Fatigue management in rail, marine and air transportation*.
- Universidad Complutense de Madrid (2008). *Fatiga laboral: conceptos y prevención*. Delegación del Rector para Salud, Bienestar Social y Medioambiente. Disponible en el siguiente enlace: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2013-02-18-1-FATIGA%20LABORAL.%20CONCEPTOS%20Y%20PREVENCIÓN.pdf>



FERROVIARIO



Lisa Staes

Geógrafa por la Universidad Estatal de Florida. Directora Asociada del Centro de Investigación del Transporte Urbano (CUTR) y de la Universidad del Sur de Florida.

Rubén Peña

Ingeniero mecánico, graduado de la Universidad Estatal de Colorado. Director de Desarrollo Empresarial de Transporte Terrestre Gubernamental de ENSCO Inc.

Jodi Godfrey

Investigadora Asociada Senior del Centro de Investigación del Transporte Urbano (CUTR) de la Universidad del Sur de Florida.

Recibido: 17/02/23

Aceptado: 28/03/23

SEGURIDAD OPERACIONAL Y FACTORES HUMANOS

Fatiga en el ferrocarril

La industria ferroviaria de Estados Unidos viene abordando la problemática de la fatiga a través de diversos mecanismos, como la programación de rutas y de personal, las modificaciones en las horas de servicio, las pruebas para detectar trastornos del sueño y las capacitaciones a empleados ferroviarios.

En diversas investigaciones de accidentes realizadas por la National Transportation Safety Board (NTSB), la fatiga, la aptitud médica para el servicio y otros factores relacionados han sido identificados como contribuyentes o causales de eventos fatales en el transporte y constituyen las bases de recomendaciones al Departamento de Transporte de los Estados Unidos (U.S. Department of Transportation - USDOT) desde 1989. A su vez, los temas relacionados con la fatiga continúan apareciendo en la Lista de Prioridades de Mejoras en la Seguridad del Transporte de la NTSB, que se publica cada año.

Los eventos catastróficos pueden evitarse, entre otras cosas, si un operador de ferrocarril, técnico de mantenimiento, despachador u otro empleado ferroviario puede responder de manera oportuna a las tareas críticas de seguridad que se presentan durante las operaciones diarias. Un empleado ferroviario fatigado podría ser incapaz de realizar de forma efectiva las tareas críticas, poniendo en peligro su propia seguridad, la de los trabajadores de mantenimiento de vías y otros empleados ferroviarios, pasajeros y público en general.

Para enmarcar y discutir eficazmente la problemática, es necesario entender cómo se define y se presenta. La fatiga es una condición psicofisiológica subóptima causada por diversos factores, entre ellos el esfuerzo. El grado y carácter dimensional de la condición dependen de la forma, dinámica y contexto de dicho esfuerzo. Este se describe por el valor y el significado del rendimiento para el individuo, el historial de descanso y sueño, los efectos circadianos, los factores psicosociales que abarcan la vida laboral y doméstica, los rasgos individuales, la dieta, la salud, el estado físico y otros estados individuales, y las características ambientales. La condición de fatiga puede provocar cambios en las estrategias o en el uso de los recursos, de modo que se mantienen o se reducen los niveles originales de procesamiento mental o de actividad física (Phillips, 2015).

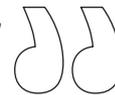
La fatiga se puede categorizar en dos tipos, según se relacione con el sueño o con la tarea. Ambas son capaces de disminuir el rendimiento y aumentar el riesgo (May y Balwin, 2009). El primer tipo de fatiga encuentra sus orígenes en los factores de la homeostasis del sueño o en los factores del ritmo circadiano, ambos reguladores del cuerpo humano.

La homeostasis del sueño se define como un período prolongado de vigilia seguido directamente por un período prolongado de sueño (Porkka-Heiskanen, Zitting y Wigren, 2013). Refiere a la necesidad del cuerpo humano de dormir, que aumenta de manera lineal justo después de despertar. En otras palabras, cuanto más tiempo se esté despierto, más cansado se sentirá uno a medida que avanza el día, hasta que finalmente sucumbe al sueño.

La homeostasis del sueño es un ciclo diario e independiente del momento en que uno suele despertar o dormir. Los factores circadianos, por su parte, son oscilaciones diarias en los ritmos biológicos humanos, y se ha descubierto que afectan la eficiencia humana en la realización de tareas. Los ritmos circadianos se encuentran en la mayoría de las funciones corporales, como la temperatura, la actividad del sistema nervioso y los ciclos de sueño, y refieren a un ciclo diario único. Estos varían entre las personas, pero típicamente producen oscilaciones en el rendimiento cada 24 horas, a diferencia de los ciclos homeostáticos que representan un deterioro gradual del rendimiento durante el tiempo de vigilia. Curiosamente, los ritmos circadianos cambian a medida que envejecemos (Singh y Suni, 2023).

El otro tipo de fatiga que se debe tomar en cuenta es la relacionada con la tarea, conocida como fatiga activa. Esta puede interferir en la capacidad de operar una locomotora, incluso en ausencia de factores vinculados al sueño. La fatiga activa es causada por un aumento en la carga de trabajo; la fatiga pasiva, en cambio, se debe al esfuerzo generado por la falta de carga o condiciones de baja demanda (May y Balwin, 2009).

***“Un empleado ferroviario fatigado podría ser incapaz de realizar de manera efectiva las tareas críticas, poniendo en peligro su propia seguridad, la de los trabajadores, pasajeros y público en general.*”**



La fatiga también se conoce como una sensación de agotamiento y, cuando se vincula con la tarea, se la denomina desgaste laboral (*job burnout*). Esto refiere a una cronificación del estrés que da lugar a una sensación de agotamiento generalizado, principalmente derivado de la exhaustión, la despersonalización¹ y la ineficiencia. Una estrategia comúnmente conocida para reducir el agotamiento es el desarrollo del compromiso, caracterizado por la energía, la participación y la eficacia. Con base en este razonamiento teórico, se ha definido al compromiso como un proceso persistente y positivo, un estado de realización afectivo-motivacional en los empleados que se caracteriza por el vigor, la dedicación y la absorción. Vigor refiere a altos niveles de energía y resiliencia, la voluntad de invertir en el esfuerzo colectivo y la perseverancia ante las dificultades. La dedicación se vincula con la implicación en el trabajo, acompañada de sentimientos de entusiasmo, orgullo e inspiración. Finalmente, la absorción refiere a un estado placentero, de inmersión total en el

1. Refiere a una respuesta negativa, insensible o excesivamente distante a diversos aspectos del trabajo.



trabajo, que se caracteriza por el paso rápido del tiempo (Maslach, Schaufeli y Leiter, 2001).

El desgaste laboral es un problema serio, que requiere un abordaje complejo, ya que conduce a una reducción de la productividad y de la satisfacción laboral, y a un aumento del absentismo y de la rotación de empleados (Cunradi, Greiner, Ragland y Fisher, 2005).

Identificar las causas y los factores asociados con la fatiga y establecer estrategias de mitigación específicas resulta fundamental para garantizar la operación segura de los sistemas ferroviarios. Para combatir los problemas relacionados con la fatiga, la industria de EE. UU. viene implementado distintas estrategias y tecnologías, algunas de las cuales se describen a continuación:

1. Programación de tripulaciones: las compañías ferroviarias han implementado horarios de trabajo más predecibles para reducir los períodos de trabajo irregulares y prolongados. Esto incluye cumplir con límites en las horas consecutivas de trabajo y asegurar períodos suficientes de descanso.
2. Programas de gestión de la fatiga: muchas empresas ferroviarias han desarrollado programas integrales de gestión de la fatiga, los cuales incluyen planes de educación y concientización para ayudar a los empleados a reconocer los signos de fatiga y activar los protocolos correspondientes.
3. Soluciones tecnológicas: se han introducido tecnologías avanzadas como el Positive Train Control (PCT) para mejorar la seguridad. Este sistema permite controlar automáticamente la velocidad de un tren y detenerlo si el operador no responde a las señales de seguridad.
4. Gestión de recursos de tripulación: a menudo se proporciona capacitación en Crew Resource Management (CRM) al personal ferroviario, orientada

a mejorar la comunicación, el trabajo en equipo y la toma de decisiones.

5. Ergonomía en el lugar de trabajo: las compañías ferroviarias han invertido en diseñar espacios más ergonómicos para los operadores de tren y los equipos de mantenimiento, con el objetivo de reducir la fatiga física.

También se han desarrollado diversas soluciones tecnológicas y herramientas para respaldar las estrategias descritas anteriormente, como el Model Human Fatigue and Circadian Variation, The Sleep, Activity, Fatigue and Task Effectiveness (SAFTE) y Fatigue Avoidance Scheduling Tool (FAST), patrocinados por el USDOT y el Departamento de Defensa de Estados Unidos². En 2006, la Federal Railroad Administration (FRA) completó una prueba del modelo y encontró que las predicciones sobre la disminución de la efectividad del operador estaban relacionadas con un mayor riesgo de accidentes debido a factores humanos³.

“Identificar las causas y los factores asociados con la fatiga y establecer estrategias de mitigación específicas resulta fundamental para garantizar la operación segura de los sistemas ferroviarios.



En 2022 entró en vigencia una norma de la FRA⁴, la cual exige que ciertos ferrocarriles desarrollen e implementen un Fatigue Risk Management Program (FRMP) como un componente de los programas más amplios de reducción de riesgos de seguridad ferroviaria⁵. De acuerdo a la norma, los ferrocarriles cubiertos deben preparar un plan FRMP por escrito y presentarlo a la FRA para su revisión y aprobación. Este plan debe abordar varios factores que pueden influir en la fatiga, incluidas las prácticas de programación y las horas consecutivas fuera de servicio de los empleados. Las compañías ferroviarias deben realizar, por su parte, evaluaciones internas anuales del plan y de sus componentes.

2. La aplicación del FAST y del modelo SAFTE permiten estimar el riesgo de fatiga, ver detalles de cada horario, calcular factores contribuyentes e identificar condiciones latentes para que se puedan implementar mitigaciones.

3. La FRA también utiliza el programa y la herramienta analítica Fatigue Audit Inter Dyne (FAID) durante las investigaciones de accidentes para respaldar la realización de un análisis científico sólido, especialmente cuando se sospecha que un factor humano, como la fatiga, es causal o contribuyente en el evento.

4. Esta norma forma parte de los esfuerzos de la FRA por mejorar continuamente la seguridad ferroviaria y satisfacer el mandato legal de la Sección 103 de la Ley de Mejora de la Seguridad Ferroviaria de 2008 (RSIA). <https://acortar.link/G1z77>

5. <https://acortar.link/nXjdjo>

Esta norma es parte de varios esfuerzos continuos orientados a mitigar los impactos adversos de la fatiga en la industria ferroviaria norteamericana, reconociéndola como una preocupación y desafío de larga data.

La FRA también llevó a cabo recientemente una encuesta entre conductores de locomotoras y jefes de tren para obtener una comprensión más clara de los factores que contribuyen a la fatiga y los impactos en la seguridad.

Los resultados de la encuesta, publicados en el Informe de Investigación de junio de 2023⁶, revelaron que el personal de conducción experimenta frecuentemente fatiga. Además, la investigación expuso que aquellos que informan estar altamente fatigados tienen cuatro veces más probabilidades de haberse pasado una parada y tres veces más probabilidades de haber sufrido un incidente en comparación con aquellos que no informan sentir fatiga (Dunn y Soccolich, 2023).

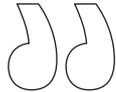
Agencia reguladora	Nombre	Regulación	Fecha	Tiempo máx. de trabajo (por 24 horas)	Máx. de horas consecutivas	Tiempo mín. de descanso entre turnos si se trabajaron 12 hs consecutivas	Tiempo mín. de descanso entre turnos	Máx. de días de trabajo consecutivos
Administración Federal de Ferrocarriles (FRA)	Horas de servicio de empleados ferroviarios	49 C.F.R. §228	2009	12 hs (16 hs excepcional)	12 hs (16 hs excepcional)	10 hs	8 hs	6 días
FRA	Limitaciones en las horas de servicio de empleados de trenes involucrados en transporte de pasajeros de trenes de cercanías o interurbanos	49 C.F.R. §228.405	2011	12 hs		10 hs	8 hs	14 días
FRA	Limitaciones de horas de servicio: empleados de trenes, señaleros, empleados de servicios de despacho ⁷	49 U.S.C. 211 §21103 §21104 §21105	2011	12 hs	16 hs con excepciones de emergencia	10 hs	8 hs	6 días (§21103 solo)
Administración Federal de Seguridad de Autotransporte (FMCSA)	Horas de servicio para vehículos automotores de transporte de pasajeros ⁸	49 C.F.R. §395.5	2019	15 hs		10 hs	8 hs	
Guardia Costera de los Estados Unidos (USCG)	Horas de servicio para la marina (buque oceánico o de cabotaje de no más de 100 toneladas brutas) ⁹	46 C.F.R. §15.710	2014	9 hs en puerto/ 12 hs en mar	Emergencias excepcionales indefinidas		6 de las últimas 12 hs	
Administración Federal de Aviación (FAA)	Limitaciones de tiempo de vuelo y requisitos de descanso (tripulaciones de uno o dos pilotos) ¹⁰	14 C.F.R. §91.1059	2020	14 hs	8 hs (un piloto) / 10 hs (tripulación de dos pilotos)		10 hs	

Fuente: *Elaboración propia en base a la información proveniente de las agencias reguladoras de transporte de EE. UU.*

6. <https://acortar.link/tdG20y>
 7. <https://acortar.link/u4v4eT>
 8. <https://acortar.link/c5QLp0>
 9. <https://acortar.link/nLSEcA>
 10. <https://acortar.link/0BIOTq>

Los investigadores sugirieron en su informe que los factores asociados con la programación —como una mayor variación en los horarios de inicio y el cambio frecuente entre el trabajo diurno y nocturno— aumentan la probabilidad de que los conductores y jefes de tren se sientan altamente fatigados.

“Los factores asociados aumentan la probabilidad de que los trabajadores se sientan altamente fatigados.”



En relación a lo anterior, existen programas en EE. UU. que rigen la programación y las horas de servicio de los empleados de los diferentes modos de transporte, como se puede observar en el cuadro dispuesto en la página anterior. La columna de la izquierda detalla la agencia reguladora, seguida del nombre del reglamento y la fecha en la que fue promulgado. La columna central de la tabla describe la cantidad máxima de horas que un empleado puede trabajar en un período de 24 horas, seguida de la cantidad máxima de horas consecutivas permitidas.

La FRA normalmente limita las operaciones a 12 horas, con algunas excepciones específicas que permiten hasta 16 horas. Comparativamente, la FAA (modo aeronáutico) es más estricta en términos de horas consecutivas, ya que limita las horas de servicios de los pilotos individuales a 8 horas consecutivas y 14 horas en total, en un período de 24 horas. La USCG (modo marítimo) establece el tiempo máximo de trabajo en puerto más estricto: 9 horas por período de 24 horas, aunque en situaciones de emergencia, su máximo de horas consecutivas no está definido. La FMCSA (modo automotor) es la más indulgente, con un máximo de 15 horas de trabajo en un período de 24 horas.

Al reconocer que los efectos de la fatiga y la falta de sueño pueden agravarse con el tiempo, también existen limitaciones en cuanto al número máximo de días consecutivos que el empleado puede trabajar. La FRA es la única agencia reguladora de EE. UU. que limita el número de días laborales consecutivos a 6 para los empleados de trenes ferroviarios y a 14 días para los empleados de trenes de pasajeros interurbanos o de cercanías.

Dentro de los esfuerzos para mitigar los riesgos asociados a la fatiga en las operaciones ferroviarias, la FRA también patrocina la “Guía Ferroviaria para un Sueño Saludable”, un recurso online desarrollado por el Centro Nacional de Sistemas de Transporte Volpe¹¹, que sirve para informar a la industria ferroviaria sobre la importancia de la salud del sueño. En el sitio web los empleados pue-

den acceder a una herramienta anónima de detección de trastornos del sueño para conocer si presentan síntomas asociados. A su vez, el sitio tiene a disposición diversas entrevistas y vídeos de empleados ferroviarios, de familiares y de expertos en medicina del sueño.

En conclusión, hay mucho por aprender y por hacer en relación a la problemática de la fatiga. El conocimiento de los efectos de su condición, las formas en que la industria ferroviaria puede reconocer sus síntomas, los métodos para determinar causalidades, entre otras cuestiones, resultan fundamentales para mejorar la seguridad en el transporte. Proporcionar horarios de trabajo más predecibles, implementar programas como el FRMP para entrenar y capacitar a los empleados en el reconocimiento de la fatiga e invertir en espacios ergonómicos y en soluciones tecnológicas, como el PTC, ayuda a reducir la aparición de la fatiga y a disminuir los riesgos asociados.

La FRA y otras administraciones modales de EE. UU. vienen desarrollando investigaciones y tecnologías orientadas a un abordaje eficaz de la problemática. Aunque aún no se ha desarrollado la solución perfecta, la industria ciertamente puede beneficiarse de cada uno de los métodos y enfoques discutidos en este artículo.

Referencias bibliográficas

Cunradi, C., Greiner, B., Ragland, D. y Fisher, J. (2005). Alcohol, stress related factors, and short term absenteeism among urban transit operators. *Journal of Urban Health*, Vol. 82(1), pp. 43-57. DOI: 10.1093/jurban/jti007

Dunn, N. y Soccolich, S. (2023). *The Impact of Commute Times on the Fatigue and Safety of Locomotive Engineers and Conductors*. Virginia Tech Transportation Institute, U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration. <https://rosap.nhtbts.gov/view/dot/67645>

Maslach, C., Schaufeli, W. y Leiter, M. (2001). Job Burnout. *Annual Review of Psychology*, Vol. 52, pp. 397-422. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.397>

May, J. y Baldwin, C. (2009). Driver fatigue: The Importance of Identifying Causal Factors of Fatigue when Considering Detection and Countermeasure Technologies. *Transportation Research Part F*, Vol. 12, pp. 218-224.

May, J.F. y Baldwin, C.L. (2009) Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 12 (3), pp. 218-224. DOI: 10.1016/j.trf.2008.11.005

Phillips, R. O. (2015). A review of definitions of fatigue—And a step towards a whole definition. *Transport. Res. F: Traffic Psychol. Behaviour*, Vol. 29, pp. 48-56. DOI: 10.1016/j.trf.2015.01.003.

Porkka-Heiskanen T., Zitting K.M., Wiggins, H.K. (2013). Sleep, its regulation and possible mechanisms of sleep disturbances. *Acta Physiol (Oxf)*, 208(4), pp. 311-28. DOI: 10.1111/apha.12134.

Singh, A. y Suni, E. (2023). Circadian Rhythm. What it is, what shapes it, and why it's fundamental to getting quality sleep. <https://www.sleepfoundation.org/circadian-rhythm>

11. <https://www.volpe.dot.gov/>

DOSSIER

Limitaciones humanas y riesgo en pilotos de líneas aéreas: sueño y fatiga

Human limitations and risk in airline pilots: sleep and fatigue

Marcelo Muro Médico examinador personal aeronáutico, especialista en Cirugía General, Emergencias, Medicina del Trabajo, exprimer oficial Airbus 340 y Boeing 737/38 en Aerolíneas Argentinas, facilitador Factores Humanos CRM-TEM OACI-ANAC.
marcelormuro@gmail.com

Alejandro López Camelo Excomandante Airbus 340, Boeing 735/37 en Aerolíneas Argentinas, RVP IFALPA, investigador de accidentes aéreos, facilitador de Factores Humanos CRM, TEM Instructor de SMS de OACI.
eventos.apla@gmail.com

Palabras clave: Sueño-fatiga-limitación humana-jet lag-seguridad

Keywords: *Sleep-fatigue-human limitation-jet lag-safety.*

Recibido: 16/04/23
Aceptado: 28/04/23

Resumen

Se analiza en el presente trabajo distintos aspectos fisiológicos y patológicos del sueño y de la fatiga, y su relación con alteraciones parciales o permanentes del desempeño en los pilotos de línea aérea. Se describen los tipos y ciclos de sueño, revisando los últimos estudios científicos en la materia. Asimismo, se analizan los vuelos transmeridianos, la problemática de la adaptación al cambio horario y la influencia en el ritmo circadiano. Se introduce la relación sueño-fatiga como una diada fundamental a la hora de reglamentar las operaciones aéreas.

Se presenta el Fatigue Risk Management System (FRMS) como un método para evaluar la fatiga en tripulaciones y el desarrollo de softwares que pretenden tabular con mayor o menor dificultad el riesgo de una determinada operación. Este método, desarrollado por la OACI, la IFALPA y la IATA, se utiliza como guía principal de la reglamentación para todas las operaciones aeronáuticas.

Finalmente, se establecen distintos tipos de recomendaciones a los efectos de salvaguardar la seguridad de las operaciones.

Abstract

Different aspects of the physiopathology of sleep and fatigue are analyzed in this paper and the relationships with different tasks that determine a continuous variation of their normal and usual mechanisms as it happens in airliners international crews. Recent scientific studies about the cycles of sleep are mentioned including the problem of jet lag in transmeridian flights. The dyad composed by sleep and fatigue must be taken as a main concern at the moment of evaluate the regulations in air operations.

Fatigue Risk Management System (FRMS) is developed to asses and evaluate the fatigue level in crews and has determined the development of softwares to calculate the maximun level of risk to perform and authorize the operation. This method, developed by ICAO, IFALPA and IATA, is being used as the main guide of the regulations for all the aeronautical operations.

Finally, some recomendations are sugested in order to keep high enough the safety of the operations.

Introducción

La actividad de la aviación aerocomercial ha crecido de manera permanente en los últimos cuarenta años con algunas interrupciones puntuales. Este hecho y las condiciones inherentes a la globalización han determinado una competencia comercial cada vez mayor para, en algunos casos, mantener la ganancia y en otros, sostener las empresas en pie.

La pandemia profundizó aún más esta situación ya que el cese de operaciones normales en gran parte del mundo generó un sentido de subsistencia a cualquier costo con una cierta tolerancia mayor para prácticas límite desde el punto de vista de la cultura de la seguridad. Dentro de este marco se han generado múltiples fusiones de líneas, y conversiones y desapariciones de otras.

Dentro de esta creciente puja económico financiera, se han comenzado a producir ideologías que buscan modificar las condiciones de trabajo de las tripulaciones técnicas, sin tomar en cuenta adecuadamente las limitaciones fisiológicas, como la fatiga y la desadaptación del sueño que pueden afectar no solamente de forma importante el desempeño de manera inmediata, con el consiguiente aumento del riesgo operativo, sino también de manera crónica generando condiciones que favorecen la irrupción de enfermedades de distinto tipo.

El motivo de este trabajo es, tomando como base información científica actualizada sobre fatiga y sueño, generar recomendaciones concretas a fin de proteger la operación aeronáutica —en particular de las líneas aéreas— del embate que sufren para hacerlas presuntamente más eficientes y eficaces, deteriorando la seguridad de las mismas y alterando el elemento más rico, complejo y vulnerable del sistema: los operadores.

Metodología

Comenzaremos por abordar la definición de fatiga como un proceso y no como un estado únicamente, para posteriormente analizar su descripción clínico-etiológica y los últimos estudios científicos que relacionan la fatiga, el sueño, el *jet lag* y su impacto en las operaciones.

Posteriormente realizaremos una descripción y análisis crítico de las herramientas con que se trata de estimar el nivel de fatiga, e incluso de predecirlo mediante modelos matemáticos, ya que no es costumbre medirlo de manera objetiva y validada científicamente.

Según la Organización de Aviación Civil Internacional [2], en su anexo 1, la fatiga es una reducción fisiológica de la capacidad de desempeño físico y/o síquico que puede reducir la conciencia situacional y la habilidad de la tripulación de operar de manera segura la aeronave y las actividades relacionadas.

En nuestra opinión, la fatiga representa un desbalance entre el esfuerzo y el descanso, y el descanso no es solo dormir, ya que es fundamental el desarrollo psicosocial del individuo para preservar sus condiciones de equilibrio cognitivo para un mejor desempeño operativo. Este incluye las distracciones, la práctica de deportes, estar junto a sus familias y amigos, estudiar o tocar un instrumento, en fin, cualquier actividad de socialización que lo aparta de aquel criterio de que la vida es volar y dormir.

Es muy importante establecer desde el inicio mismo de este ensayo que la fatiga es un estado al cual se llega luego de un proceso que se desarrolla en el tiempo. Sería muy inadecuado que al decir fatiga pensemos solo en aquel que está sufriendo el síndrome de "sujeto quemado" o burn-out.

Si bien obviamente eso es una consecuencia crónica y persistente de la fatiga, sin duda ese cuadro se fue dando a lo largo de múltiples episodios del desbalance mencionado, que origina primero episodios de cansancio extremo, luego fatiga aguda sin adecuada recuperación y cuando no hay una aproximación adecuada, entonces desemboca en la fatiga crónica. Todas tienen distintas opciones terapéuticas y miradas sobre la relación de los desempeños degradados y el riesgo operacional.

Etapas del proceso que deriva en la fatiga

Cansancio: desgaste psicofísico de una jornada que se recupera en un período corto de descanso adecuado. Su intensidad depende de las horas que llevo despierto y la demanda de la tarea.

Fatiga aguda: proceso de desgaste que se prolonga en el tiempo y cuya recuperación requiere descansos más largos. (Más de 3 días sucesivos de descanso normal interrumpido, deuda de sueño).

Fatiga acumulativa o crónica: cuadro clínico de distinta gravedad con impacto importante en la cognición y la motivación de quien lo sufre, con deterioro de las herramientas de afrontamiento, y que requiere —aparte del descanso— distintos tipos de tratamientos de apoyo.

Estrés: proceso psicofísico de respuesta a los cambios que utiliza mediadores químicos que se usan en el funcionamiento cognitivo habitual. El sujeto estresado, sobre todo de manera sostenida, sin poder afrontarlo, con sensación de inescapable, aumenta el esfuerzo de las tareas, cualquiera sea su contexto, por consumir los mediadores químicos para intentar sostener los procesos cognitivos enfocados en disociar lo que le preocupa. El estrés no es similar a la fatiga, pero por el mecanismo descrito claramente la empeora.

Los modernos estudios del sueño normal y patológico, así como sus alteraciones con los cambios del ritmo circadiano y el jet lag, han aportado la base de datos para entender la fatiga. Pero estas determinaciones sufren naturalmente la variabilidad individual y temporal del ser humano. Las limitaciones al desempeño descritas en los modelos de gestión de riesgo de las organizaciones en general y en aquellas actividades de alta confiabilidad, antes llamadas de alto riesgo, como el transporte, la industria de las energías, la minería y la atención de la salud, son básicamente cuatro: la mencionada fatiga en todas sus formas, la gestión del estrés, la irrupción de un evento sorpresivo de magnitud y cualquier alteración o enfermedad que pueda disminuir la aptitud psicofísica del operador.

También se han diseñado distintas metodologías para tratar de cuantificar la fatiga y volcar los datos a tablas y modelos matemáticos predictivos, con distintos resultados y opciones de aplicación, que analizaremos más adelante.

La actividad aerocomercial se desarrolla generando múltiples causas posibles de fatiga.

- Alteraciones del sueño, en cantidad y calidad.
- Jornadas de trabajo prolongadas y contextos operativos variables.
- Desempeño en áreas donde se ve alterado el ritmo circadiano y el cambio de estación, con grandes amplitudes térmicas que dificultan la adaptación.
- Excesiva carga de trabajo síquico o físico.
- Acumulación de uno o de varios de los factores.
- Insuficiente recuperación tras los diversos esfuerzos, síquicos y físicos.

La sintomatología de la fatiga oscila desde la sensación de malestar general, o de incomodidad —que siente el ser humano al finalizar una jornada cansadora—, a la alteración de la capacidad de percibir y comprender adecuadamente lo que ocurre y, consecuentemente, a la degradación de la toma de decisiones o de la necesaria evaluación de sus consecuencias, y su potencial corrección.

Esta condición puede contribuir a decisiones que resultan no comprensibles o irreconocibles y da lugar a las tristemente comunes expresiones de "¿cómo hicieron esto?!", "¿qué estaban haciendo?!". Las siguientes son las manifestaciones clínicas de fatiga operacional:

- Sensación de malestar general.
- Hipodinamia y somnolencia.
- Irritabilidad emocional. Apatía y desinterés.
- Disminución de la capacidad dinámica de concentración.
- Alexitimia.

[41 - 55]

- Pérdida o aumento del apetito.
- Alteración en las percepciones sensoriales.
- Degradación en la toma de decisiones. Decisiones irreconocibles.

El incremento en el tiempo de reacción genera respuestas inadecuadas en tareas secuenciales que requieren sincronización e incluyen pausas. [3]

También se ha verificado la necesidad de incrementar la magnitud de los estímulos sensoriales para activar una respuesta. La afectación progresiva en la calidad de la atención promueve la focalización como recurso inmediato ante la disminución de esta y puede resultar, en algunas etapas del vuelo, sumamente peligrosa, ya que en las mismas se requiere aplicar una atención distributiva rotativa e intermitente para controlar varios parámetros fundamentales para la operación segura.

¿Cómo dormimos?

Para responder a esta pregunta, nos referiremos a continuación a los estudios del sueño normal en los seres humanos.[6]

En la antigüedad, antes de la era de los estudios específicos del dormir, se definía una buena calidad del sueño, al que entonces se llamaba reparador, cuando el paciente podía recordar claramente los escenarios de sus sueños, aun las pesadillas. Esto tiene consistencia con la presencia de varios ciclos de sueño profundo o REM que veremos a continuación, pero nos adelantamos a decir que son los períodos en los cuales el cerebro, que se halla permanentemente activo, se repara y resetea con mayor eficiencia.

Actualmente, la polisomnografía se constituye en la herramienta fundamental de estudio y de pronóstico. La misma implica tres estudios distintos: la electroencefalografía (EEG), que registra las ondas eléctricas cerebrales, el electrooculograma (EOG), que nos permite registrar los movimientos de los ojos, fundamentales para el sueño y utilizado para determinar los ciclos, y el electromiograma (EMG), que analiza los movimientos de los músculos que se estudien.

Con el advenimiento y modernización de estos métodos, se concluyó que el sueño es un mecanismo complejo y delicado, influenciado por múltiples factores y capaz de originar distintos tipos de alteraciones cuando su calidad no permite cumplir con la función fisiológica. Se compondría de dos etapas diferentes pero integradas, que se clasifican según estén presentes en los registros de los movimientos en los ojos; a saber: el sueño con movimientos rápidos de los ojos, cuya sigla en inglés es REM (Rapid Eyes Movement) o sin ellos, NO REM. [4, 5]

A continuación, detallamos las características más importantes del sueño NO REM. Un período de sueño normal comienza con esta etapa, que se caracteriza por ser superficial, de fácil reversión, e insuficiente por sí sola para producir la reparación cerebral, que complementa un descanso adecuado.

- Comienza a disminuir la frecuencia de las ondas cerebrales, cardíaca y respiratoria.
- No hay constancia de actividad onírica significativa (los estudiados no recuerdan haber soñado).
- Se inicia como superficial, de fácil reversión.
- El cerebro funciona al 80 %, se encuentra menos activo en un cuerpo activo: son frecuentes los movimientos de las piernas y los brazos que, de acuerdo a la frecuencia, pueden llegar a constituir patologías del sueño, como el síndrome de piernas inquietas.
- La respuesta cognitiva de buena calidad, inmediata al despertar, es aún posible.

Esta etapa inicial dura entre 20 y 35 minutos. Una vez que los movimientos oculares se hacen más frecuentes, el sueño se profundiza, y si queremos despertar al sujeto, aun cuando lo logremos en forma rápida, tardará entre 10 y 20 minutos para volver a estar completamente conectado con la realidad. Esto se denomina inercia del sueño y es una de las amenazas en la seguridad de las operaciones.

Las características de la etapa en la que el sueño se muestra con movimientos oculares rápidos, gran actividad eléctrica cerebral y recuerdo de sueños, es cuando la actividad cerebral es similar a la de estar despierto. Esta etapa en cantidad suficiente de ciclos por noche es determinante del descanso eficaz.

- Los ojos se mueven de un lado al otro de la órbita: este fenómeno es más evidente en niños y adolescentes.
- Se suelen recordar los sueños al despertar, pero el no hacerlo no puede usarse como indicador negativo de la calidad del dormir.
- Se producen movimientos musculares involuntarios y la frecuencia cardíaca y la respiración son irregulares.
- El cerebro está activo y, sin embargo, su estímulo se bloquea en su base y el cuerpo no lo copia. Aparecen sueños donde queremos movernos y estamos paralizados.

Cuantas más horas la persona ha permanecido despierta, su cerebro requerirá más fases de sueño REM. Esta relación puede usarse como valor predictivo en fatiga y representa el proceso homeostático del sueño.

Resultados y discusión

Como mencionamos anteriormente, una clara definición de fatiga es un desbalance entre el esfuerzo y el descanso, y siendo la calidad del dormir fundamental para el mismo, discutiremos a continuación distintos factores que lo afectan y que se relacionan con la actividad de las tripulaciones aeronáuticas.

También hemos visto cómo la polisomnografía ha permitido sumergirnos en la fisiología del sueño y por su intermedio, en la temática de la fatiga. El sueño es una sucesión de ciclos NO REM/REM (90 minutos) que se interrumpen por breves despertares en intermitencias. Es variable, pero siempre comienza con sueño superficial y reversible y, al profundizarse, aparecen los movimientos oculares y su fase específica. Se trata entonces de la sucesión de ciclos REM/NO REM y terminamos despertando de sueño REM cuando lo hacemos espontáneamente; no así cuando usamos un despertador. El ritmo circadiano habitual genera más cambios en el sueño REM.

Si contáramos con datos más precisos, deberíamos reformular aquella pregunta de los exámenes sicotécnicos sobre cuántas horas se duerme habitualmente, para saber cuántos ciclos se necesitan para reintegrar capacidades operativas del individuo.

Cuanto más se interrumpe el ciclo No REM/REM, mayor es el deterioro y la necesidad posterior de recuperación. Esto ocurre frecuentemente en las tareas con turnos de trabajo que interrumpen el sueño normal. Algunas legislaciones lo consideran entre las 23 y las 6 de la mañana, por coincidir con la definición de la noche como disparador del mecanismo del dormir. Más adelante, consideraremos qué ocurre cuando se produce el cruce rápido de más de tres meridianos, que es cuando comienzan a hacerse más relevantes los efectos de la alteración del ritmo circadiano habitual.

El sueño a bordo es más liviano e interrumpe ciclos más frecuentemente que en tierra. Las siguientes son las distintas razones por las cuales el dormir a bordo de una aeronave —aun cuando se cuente con dormitorio separado con literas—, suele ser muy distinto al habitual.

- Ruidos varios, prestación de los servicios a pasajeros, desde galley, cinturones *on*, *off*.
- No tener sueño a la hora del turno.
- Incomodidad ergonómica manifiesta, largo, ancho, almohadas, regulación de temperatura.
- Turbulencias.
- Pensamientos varios, desconocimiento de la tripulación.
- Levantarse para ir al baño.
- Problemas personales que impedirían el sueño normal en cualquier sitio.

Sin lugar a duda, la capacidad de adaptación a dormir en estas condiciones tiene características variables y subjetivas, y debe considerarse un promedio de estas experiencias. Consideramos que estos períodos de descanso a bordo no pueden asimilarse a períodos de descanso normal.

Ritmo circadiano

Veamos cómo influye en nuestro dormir el denominado ritmo circadiano. El conjunto de mecanismos vehiculizado por las hormonas y otros mediadores químicos es regulado por una parte del cerebro denominada hipotálamo. Las investigaciones determinan que el ciclo fisiológico del ser humano es cercano a 25 horas.

Este ciclo se ve influenciado por temperatura central del organismo y por la iluminación que el cerebro percibe a través de sus receptores visuales. Existen dos momentos de temperatura mínima corporal en el día: 3-5 am y 3-4 pm (siesta), que coinciden con los períodos de máxima somnolencia. La sucesión del día y la noche (iluminación) mantiene el ritmo circadiano.

De acuerdo con ciertas características genéticas, el ser humano se comportaría espontáneamente con mayor disponibilidad sicofísica dentro de uno de los siguientes dos modos: matinales, denominados alondras, o vespertinos/nocturnos, llamados lechuzas. Esto significa en qué momento nos sentimos más plenos para la actividad que realicemos y la tendencia al descanso se vería beneficiada si lo hiciésemos en el horario opuesto.

Este delicado proceso fisiológico, tan afectado en la actualidad por el ritmo de vida y el estrés cotidiano incrementado en las áreas y costumbres urbanas, se altera cuando realizamos actividades con turno variable, turnos opuestos de adaptación rápida, como por ejemplo los vuelos que transcurren durante toda o gran parte de una noche, y se programa otro vuelo diurno sin contar con los intervalos necesarios, aun cuando se realicen dentro del mismo huso horario.

Hemos mencionado más arriba la importancia que la exposición a la luz solar tiene en el sueño. Al atravesar rápidamente los husos horarios, la diferente posición relativa del sol en cada lugar genera un desfase de los ritmos endógenos y produce una reestructuración de los sistemas oscilantes mencionados.

Esta es la situación de los vuelos transmeridianos, que deben ser considerados en base a la diferencia angular entre origen y destino, ya que de ella depende esencialmente la hora de la salida y de la puesta del sol. La determinación de que cada huso horario se encuentra separado del otro por 15 grados de longitud es solo una referencia administrativa para establecer las horas de los países.

Se considera que a partir de los 45 grados de diferencia angular, equivalente a tres husos horarios, comienzan a sentirse los signos y síntomas de ese desacople fisiológico llamado del jet lag.

El *jet lag* es esencialmente fisiológico y representa el conjunto de mecanismos con que el organismo pretende adaptarse al nuevo horario.

A continuación, listamos el conjunto de signos y síntomas del síndrome *jet lag*. [7]

- Alteraciones del sueño (60-80 %).
- Incremento de la fatiga por disminución en la calidad del descanso.
- Cambios gastrointestinales. Hambre ingesta y ritmo evacuatorio.
- Alteraciones endócrinas.
- Alteraciones sicointelectuales.
- Sensación general de incomodidad.

Volar rápido a través de husos horarios modifica el ritmo circadiano principalmente por el cambio de exposición a la luz solar. Cuanto mayor es la diferencia angular, más tiempo requiere la adaptación. Cuando nos transportamos hacia el este, es peor y más lenta, porque el día se acorta y se corre la hora registrada por el cerebro como habitual para dormir hacia la mitad de la madrugada. La peor situación operativa se da cuando existe una deuda de sueño

previa sumada al *jet lag*. No se busca que los pilotos tengan una adaptación completa al lugar de destino, como si fuera un pasajero, pero sí que se logre la denominada adaptación mínima de seguridad operativa, que consiste en tener las capacidades de conciencia situacional, reacción y toma de decisión en un nivel suficiente para resolver los problemas habituales y potenciales de un vuelo estándar -como manejo de emergencias o condiciones anormales infrecuentes, pero que requieren un esfuerzo físico y cognitivo mayor que lo usual-. [8]

Tomando en cuenta que la afirmación sobre la clara influencia que la fatiga y el sueño alterado han tenido en la cadena de eventos que llevó a siniestros catastróficos —no solo en el transporte aéreo—, es básicamente empírica y de sentido común, los autores Signal, Gader, Perelli, entre otros, trabajaron en modelos de identificación predictiva del riesgo para vincular la calidad del sueño a la fatiga. Autoreportes de riesgos de fatiga y encuestas de investigación de fatiga en tripulaciones, como el Índice de Sam Perelli, son algunos de los métodos utilizados con el objeto final de determinar los límites de una operación segura desde el punto de vista específico de la adaptación mínima de seguridad operativa mencionada. También comenzaron a relevarse los análisis del plan de vuelo programado versus tiempo volado real y las condiciones de estos. [9].

Todos estos estudios no evalúan de manera técnica la cognición *in situ*, por lo cual sus resultados se integran a una franja de grises que hace más relevante y dificultoso el tironeo entre aquellos negacionistas que buscan más producción y los tripulantes que aún muy cansados sufren la presión de distintas maneras para no cambiar nada.

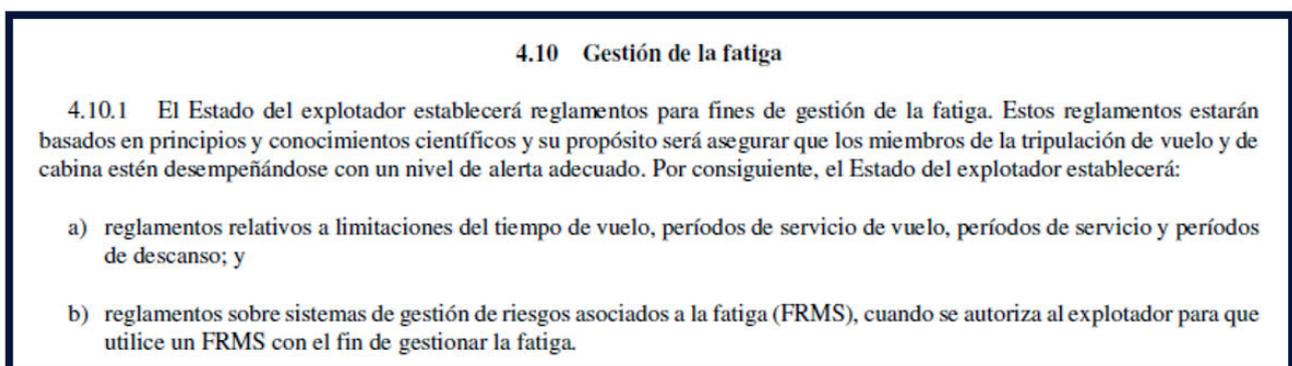
La fatiga comenzó a tratar de estimarse también en los formularios de reporte de fatiga OACI, en el Documento 9858, en el Manual del Curso Safety Management System (SMS), que diferencia entre desempeño aceptable e inaceptable, dando sustento al tiempo mínimo de adaptación operativa.

La investigación retrospectiva comenzó a hacerse en tripulaciones: datos demográficos, calidad del sueño en casa y afuera, experimentación de fatiga y sus causas. Se comenzó a trabajar con el monitoreo de la fatiga en vuelo con dos grupos de métodos (subjettivos: Karolinska y Sam Perelli, y objetivos: actigrafía, polisomnografía y monitoreo del ritmo circadiano).

Finalmente, en julio del año 2011, la OACI incluyó en su documento 9966 el programa Fatigue Risk Management System (FRMS), como recomendación para los Estados contratantes. Este enfoque está basado en la *performance* del individuo y busca recopilar información e identificar peligros, analizar y evaluar riesgos y determinar acciones de mitigación y evaluación. Posteriormente, el programa también buscó determinar y proponer algunas herramientas objetivas que permitieran calcular el riesgo de una operación, tomando en cuenta la fatiga y la conveniencia y factibilidad de su realización. La International Air Transport Association (IATA) y la International Federation Airliners Pilots Association (IFALPA) han apoyado esta gestión y controlan su aplicación.

En la Figura 1, podemos ver las normas del Anexo 6 de la OACI, Parte I, Enmienda 35, del 15 de diciembre de 2011, que establece lo siguiente en su punto 4.10 Gestión de fatiga:

Figura 1. Gestión de fatiga



En la Figura 2 podemos observar los requisitos que la OACI determina para la gestión de fatiga en sus normas del Anexo 6, Parte I, y su correlación con las regulaciones para Latinoamérica.

Figura 2 Requisitos del sistema de gestión de fatiga

APÉNDICE 8. REQUISITOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A LA FATIGA

Nota 1.— El Manual de sistemas de gestión de riesgos asociados a la fatiga para los encargados de la reglamentación (Doc 9966) contiene orientación acerca del desarrollo, implantación, aprobación y vigilancia de los FRMS.

Los sistemas de gestión de riesgos asociados a la fatiga (FRMS) establecidos de conformidad con el párrafo 4.10.6 del Capítulo 4, incluirán, como mínimo, lo siguiente:

1. POLÍTICA Y DOCUMENTACIÓN SOBRE EL FRMS

1.1 Criterios FRMS

También según la OACI- LAR 121, Cap. N / LAR 135, Cap. F. Obligaciones del explotador: Cumplimiento de requisitos, el explotador tendrá como mínimo que:

- incorporar principios y conocimientos científicos en el FRMS;
- identificar constantemente los peligros y los riesgos resultantes;
- asegurar la pronta aplicación de medidas correctivas;
- facilitar el control permanente y la evaluación periódica de la mitigación de los riesgos;
- facilitar el mejoramiento continuo de la actuación global del FRMS.

En todas ellas se constata la incorporación de la fatiga y el FRMS como dispositivo de estudio y modificación de todas las situaciones que resultasen necesario corregir. También podemos detallar los momentos en que el tripulante debe realizar el chequeo:

- Prevuelo.
- Tope del ascenso.
- Antes y después del 1º y 2º descanso.
- Antes de iniciar el descenso de aproximación.
- Antes de abandonar el aeropuerto.

Observemos también, a modo de ejemplo, el rango que se le asigna a la sección de autoencuesta en los momentos indicados anteriormente (Figura 3).

Figura 3. Puntaje de la lista de chequeo de Sam Perelli

Ranking	Nivel de riesgo	Descripción
1	Bajo	Totalmente alerta
2		Muy animado y receptivo
3		Bien
4	Moderado	Poco cansado
5		Moderadamente cansado
6	Alto	Extremadamente cansado
7	Extremo	Completamente exhausto

Utilizando estas listas se determina un puntaje total del tramo del vuelo que lo califica como más o menos riesgoso al tomar en cuenta condiciones de sueño, fatiga y descanso. En algunos casos se desaconseja totalmente, sin que se tomen medidas correctivas.

Sin embargo, hemos observado con preocupación que algunos vuelos se realizan al límite de la tolerancia, con el agravante de que los programas mencionados no toman en cuenta situaciones especiales de cada vuelo, como por ejemplo la experiencia y conformación de los tripulantes, la turbulencia en vuelo, el plan de vuelo realizado anteriormente y distintos factores como el estado del avión o la meteorología en vuelo que, al no ser considerados como factores en el rango, sacan conclusiones a veces incompletas, que lejos están en algunos casos de la realidad.

Si por algunos de los factores mencionados el descanso a bordo se viera tan degradado que pudiese ser considerado inexistente o insuficiente, podríamos encontrarnos a una tripulación que, al momento del aterrizaje, con la carga de esfuerzo que ello significa, y muchas veces en medio de la noche, no se encuentre en la mejor condición para resolver las distintas situaciones que pudiesen ocurrir.

Atento a todas las evidencias descriptas más arriba podemos afirmar que después de una noche de sueño perdido, el objetivo es restaurar los ciclos necesarios, por lo cual se requieren dos noches consecutivas sin interrupción. La primera noche habrá más ciclos de sueño NO REM que lo usual y no habrá lugar ni espacio para el sueño REM. En la segunda noche habrá más sueño REM. La tercera noche el balance estará normalizado. No es igual a dos días *off*. Son dos noches completas *off* después de tres husos horarios de diferencia.

Se han propuesto distintos métodos para combatir los efectos de los desfases horarios. A continuación, se describen algunos procedimientos:

- Si la escala es corta —inferior a un día—, permanecer al ritmo acorde al horario del país de partida.
- Si la escala es mayor a un día, adoptar inmediatamente el ritmo de país de llegada para acelerar la sincronización.
- En la escala, mantener un ciclo regular de alternancia vigilia-sueño y horarios de comidas (favorecer la sincronización).

La restricción de sueño de dos horas menos por día genera una deuda de sueño acumulativa. A partir del cuarto día, el sujeto comienza a ser peligroso. Esto se investigó a fines de la década pasada en Canadá, en donde se observó que tras el cambio horario estival la cantidad de accidentes de carretera aumentaron en un porcentaje significativo. Este registro motivó reducir ese cambio a una hora. Ya mencionamos que la cognición se degrada con menos sueño de la mano de la afectación de la atención. En situaciones de fatiga persistente, el cerebro se desconecta por instantes (no más de dos minutos). Es el cabeceo característico que se puede observar en quien se queda dormido en el puesto de trabajo. Este verdadero reinicio del cerebro sería el causante de muchos de los siniestros durante la madrugada o en las primeras horas de la mañana, en los que los conductores profesionales de camiones y ómnibus pierden el control del vehículo y, en algunas oportunidades, se generan verdaderas catástrofes.

Otro elemento importante es que, dado que la toma de decisión y la comunicación se ven más afectadas por la fatiga que otras acciones, y depende el período del ciclo en el que un sujeto es despertado, el mismo puede tardar varios minutos en recuperar los niveles cognitivos necesarios para una resolución adecuada, por encontrarse en la mencionada inercia del sueño.

Por otra parte, ningún programa de gerenciamiento de la fatiga contempla las consecuencias crónicas de la misma. Aquellos que duermen menos tienen más probabilidad de enfermar de diabetes, obesidad y enfermedades cardiovasculares.

Independientemente de los turnos de sueño en las literas o en asientos reservados a tal efecto, se proponen las siestas en la cabina de comando con las siguientes condiciones de aplicación: [10.11.12.13]

- Solo de a uno por vez, con el cinturón colocado, y controles libres de interferencia mecánica.
- Tanto el control automático de la potencia y el piloto automático (*autothrust* y *autopilot*) deben estar funcionando.

- Las debe administrar el capitán para disminuir la fatiga en los peores momentos del vuelo.
- Debe estar claro quién duerme y los límites del período, y el piloto al mando puede suspenderlo a su criterio de acuerdo a sus necesidades.
- El capitán debe aclarar en qué condiciones interrumpir su sueño.
- Estas siestas en el puesto de pilotaje no deben superar los treinta minutos, para evitar la inercia de sueño y la dificultad para despertarse.
- Pueden ser controladas por otro personal de vuelo en lo que dura la siesta de uno de ellos.

Modelos biomatemáticos de predicción de fatiga [14]

Consideraciones iniciales

Históricamente, la industria de la aviación ha regulado el riesgo de fatiga mediante la prescripción de tiempos máximos de servicio y tiempos mínimos de descanso en el marco de los esquemas de limitación del tiempo de vuelo y de servicio (FTL).

En los últimos años, se ha buscado pasar de estas prácticas tradicionales a la adopción de sistemas y técnicas de gestión de la tripulación conforme con el rendimiento. La legislación basada en el desempeño especifica lo que se debe lograr, pero no cómo.

Los medios de cumplimiento se dejan en gran medida a la discreción del operador, con la orientación y auditoría de un regulador maduro y proactivo, y se enmarcan en los sistemas de gestión de la seguridad de los Estados.

Los modelos biomatemáticos son herramientas para predecir los niveles de fatiga, basados en una comprensión científica de algunos factores que contribuyen a la misma (Australian Civil Aviation Safety Authority, 2015). Son conjuntos de ecuaciones que predicen cuantitativamente valores de riesgo de fatiga en función a factores como el historial de sueño, la hora del día de la tarea y, en menor medida, la carga de trabajo. Por ello, las predicciones de fatiga nunca deben constituir el único medio para tomar las decisiones operativas sobre su gestión y las tripulaciones de vuelo y los tomadores de decisiones operativas deben ser entrenados para interpretar adecuadamente los resultados de estas herramientas.

Los resultados de tales modelos pueden dar la ilusión de ser precisos y cuantitativos a pesar del hecho de que predicen una medida cualitativa como es la fatiga subjetiva. Las puntuaciones derivadas de los modelos biomatemáticos no pueden proporcionar una "luz verde" para cambios rotundos en la gestión de la seguridad operacional. La información mínima típicamente requerida para la predicción de la fatiga incluye el horario de trabajo y descanso y/o datos de sueño. La información del sueño se puede obtener a partir de datos subjetivos (por ejemplo, con el registro personal de sueño) o datos objetivos, desde un dispositivo de muñeca o incorporado a un reloj pulsera.

Modelos de fatiga y análisis

A continuación, listamos los modelos de fatiga.

- Boeing Alertness Model (BAM)
- Circadian Alertness Simulator (CAS)
- Fatigue Assessment Tool by Interdynamics (FAID)
- Fatigue Risk Index (FRI)
- System for Aircrew Fatigue Evaluation (SAFE)
- Sleep, Activity and Task Effectiveness Model Associated Fatigue Avoidance Scheduling Tool (SAFTE FAST)
- Sleep Wake Predictor (SWP)

En la aviación civil los modelos de riesgo de fatiga serían más completos y precisos si además de la información obtenida de sistemas de recopilación de datos de vuelo en tiempo real (FOQA) y de las tasas de incidentes y accidentes de la tripulación, se desarrollaran investigaciones *in situ* con estudios neurocognitivos del desempeño y la calidad en las condiciones de duración, desfase de zonas horarias y situaciones operativas de las tripulaciones.

En la práctica, la dificultad de medir el desempeño de las tareas operativas, las tasas relativamente bajas de accidentes de aviación y el costo de la recopilación y el análisis de datos presentan barreras para el enfoque de validación de modelos.

La base científica para el desarrollo de la mayoría de los modelos proviene de experimentos de laboratorio, en los que el perfil de fatiga para sujetos sanos bajo restricción de sueño impuesta y prevista o cambios de zona horaria simulados se mide utilizando pruebas neuroconductuales objetivas (por ejemplo, tiempo de reacción, rendimiento psicomotor y/o cuestionarios de autoinforme y escalas de somnolencia).

Las relaciones directas entre las medidas de ensayo y los riesgos para tareas operativas específicas no se han establecido ampliamente. Sin embargo, las mediciones objetivas, como las disminuciones en el rendimiento de las pruebas, se consideran buenos indicadores de factores que aumentarán la probabilidad relativa de riesgos de error para una amplia gama de tareas.

Esencialmente, los modelos biomatemáticos de fatiga hacen la suposición tácita de que los cambios en los niveles de fatiga serán paralelos a cambios similares en el riesgo, pero la evidencia muestra, sin embargo, que la mayoría de los accidentes parecen ocurrir mientras el trabajador está despierto y están vinculados con respuestas lentas o inapropiadas en lugar de una falta total de respuesta.

Obviamente, no se trataría solamente de estar alerta, sino en condiciones neurocognitivas suficientes, y el PVT (Psychomotor Vigilance Task) no parece ser suficientemente sensible para tal definición. No es comparable accionar un botón ante un estímulo sonoro o vibratorio a comprender y decidir sobre procedimientos y situaciones esperables o inesperadas.

Los modelos pueden utilizarse eficazmente para comparar los efectos relativos de dos o más horarios de trabajo, pero no pueden responder definitivamente, por sí solos, a la pregunta de si un horario de trabajo en particular es aceptable o seguro.

Una razón obvia para esta falla es que el nivel de fatiga o riesgo que se considera aceptable dependerá claramente de los peligros asociados con la operación. Lo que puede ser un nivel aceptable de riesgo de fatiga en relación con un operador de fumigación de cultivos agrícolas podría ser totalmente inaceptable en el contexto de la operación de un gran avión de pasajeros en una línea aérea.

Hay dos líneas de evidencia que sugieren que los modelos biomatemáticos pueden subestimar enormemente el riesgo, simplemente porque consideran solo los efectos agudos de los horarios de trabajo y no los crónicos, o lo hacen por períodos determinados de tiempo.

Cho et al. (2000) identificaron déficits de rendimiento cognitivo y niveles más altos de cortisol en la tripulación de cabina de la aerolínea con más de tres años de experiencia de vuelo, en comparación con un grupo emparejado de tripulación de tierra que trabaja para la misma compañía.

En un estudio posterior, Cho (2001) comparó dos grupos de tripulantes de cabina de aerolíneas con diferentes períodos de recuperación de *jet lag* (arritmia circadiana) y encontró que los intervalos de recuperación cortos (≤ 5 días) se asociaron con una variedad de síntomas que incluyen un menor rendimiento cognitivo, niveles más altos de cortisol salival (relacionados con el estrés psicológico) y un volumen más pequeño del lóbulo temporal derecho.

Los hallazgos indicaron un efecto acumulativo de la exposición crónica a la alteración circadiana en la función cognitiva y en las estructuras cerebrales subyacentes.

Del mismo modo, Rouch et al. (2005) informaron un estudio transversal de una gran muestra de trabajadores industriales masculinos en la que encontraron déficits cognitivos entre los que habían estado expuestos al trabajo por turnos rotativos, en comparación con aquellos sin exposición. También informaron una disminución en el rendimiento de la memoria relacionada con la duración de la exposición al trabajo por turnos rotativos. Estos efectos fueron independientes de la edad autoinformada y la calidad del sueño, lo que sugiere que la exposición crónica a la desincronización circadiana influye en las deficiencias cognitivas observadas.

Limitación de los modelos: variabilidad individual

Una limitación importante de los modelos biomatemáticos de fatiga es que generalmente se han basado en calificaciones de fatiga promedio y otras medidas obtenidas de un número limitado de individuos. En muchos casos, estos individuos han sido estudiantes universitarios o personal militar y no está claro si sus resultados pueden

generalizarse válidamente. Los individuos difieren entre sí en una gama enormemente amplia de factores, muchos de los cuales pueden afectar sus niveles de fatiga y rendimiento de seguridad.

En su defensa, algunos de los modelos proporcionan intervalos de confianza asociados con cada valor predicho, lo que permitiría una estimación del rango probable entre individuos. A esta variabilidad individual se suma la variabilidad temporal en el mismo sujeto.

También hay una amplia gama de problemas de salud individuales que producen, entre otros, trastornos del sueño. Se identificaron cinco tipos de trastornos del sueño que podrían generar fatiga y afectan a la seguridad, a saber: insomnio, narcolepsia, síndrome de apnea obstructiva del sueño, trastorno del movimiento periódico de las extremidades y síndrome de piernas inquietas.

Otras alteraciones psicofísicas, como la rinitis, los dolores articulares y las migrañas, pueden comprometer el sueño y/o elevar la sensación de fatiga durante el día.

Finalmente, está claro que hay una amplia gama de otros factores relacionados con el individuo que pueden influir en la calidad y duración de su sueño. Ser despertado por niños pequeños, tener un largo viaje hacia y desde el trabajo, un segundo trabajo o pasatiempo extenuante o que consuma mucho tiempo, o sufrir estrés en la vida debido a problemas como el duelo, la mudanza, la enfermedad de un familiar o el divorcio.

Ejemplos de Investigaciones de siniestros vinculados con la fatiga operacional

Mucho antes del desarrollo de los primeros modelos biomatemáticos, un intento temprano de calcular el riesgo de fatiga fue aplicado por expertos de la NASA que ayudaron en la investigación del accidente de agosto de 1993 del vuelo 808 controlado en el terreno (CFIT) de la AIA en la bahía de Guantánamo, Cuba (National Transportation Safety Board, 1994; Rosekind et al., 1994).

La investigación de la National Transportation Safety Board (NTSB) determinó que las causas probables de este accidente CFIT incluían "el deterioro del juicio, la toma de decisiones y las habilidades de vuelo del capitán y de la tripulación de vuelo debido a los efectos de la fatiga" (NTSB, 1994: v).

La grabadora de voz de la cabina reveló que la tripulación de vuelo había decidido aterrizar en la pista 10 sin razones fundamentadas, y planeaba dar la vuelta y aterrizar en la pista 28 si fallaba. Durante la aproximación a la pista 10, el controlador de tránsito aéreo le recordó a la tripulación que debía permanecer dentro del espacio aéreo americano, señalado por una luz estroboscópica montada en la valla fronteriza cubana. Desconocido para el controlador, esta luz estroboscópica no funcionaba el día del accidente.

El capitán y la tripulación se obsesionó con tratar de localizar la luz estroboscópica, lo que lo llevó a comenzar el giro demasiado tarde y no pudo mantener su velocidad aerodinámica durante el giro pronunciado, a pesar de las advertencias de los otros miembros de la tripulación.



Después de haber iniciado servicio a la medianoche, el capitán había estado despierto de manera ininterrumpida 23,5 horas, el primer oficial durante 19 horas y el ingeniero de vuelo durante 21 horas en el momento del accidente.

Una mirada retrospectiva a los patrones de sueño de los miembros de la tripulación en las 72 horas anteriores al accidente reveló que los tres habían acumulado una gran deuda de sueño por trabajar en turnos largos.

En los tres días previos al accidente, el capitán había dormido un total de 15 horas, el primer oficial durante 18 horas y el ingeniero de vuelo 21,5 horas.

La mayoría de los turnos de la tripulación se hacían de noche, lo que les obligaba a intentar dormir durante el día, e interrumpía así su ritmo circadiano. Esto agravó los efectos del cansancio en la tripulación, y se observó que el capitán en particular padeció varios síntomas: el deterioro del juicio con su decisión de aterrizar en la pista 10, la fijación cognitiva inducida al tratar de localizar la luz estroboscópica que no estaba en funciones, la mala comunicación con su tripulación sobre su velocidad aerodinámica y su lento tiempo de reacción para recuperarse de la entrada en pérdida.

Otros factores citados que contribuyeron al accidente de la bahía de Guantánamo fueron el incumplimiento de las regulaciones de vuelo y tiempo de servicio aplicadas a 14 CFR, Parte 121, Transportista Aéreo Suplementario, Operaciones Internacionales, las circunstancias que resultaron en la extensión de las horas de vuelo/servicio y la fatiga de la tripulación de vuelo.

Para evaluar la contribución de la fatiga a este accidente, se calculó la deuda acumulada de sueño para los tres miembros de la tripulación, utilizando una proporción simple de vigilia/sueño, que se comparó con una línea de base habitual.

Desde entonces, se han calculado los niveles probables de riesgo de fatiga para los miembros de la tripulación involucrados en numerosos incidentes y accidentes de aviación, y en los últimos años, tanto los operadores como las agencias de investigación han empleado modelos biomatemáticos para ayudar con estos cálculos.

Otro caso más reciente es el vuelo Air Canada 759

La NTSB determina que la causa probable de este incidente fue la identificación errónea por parte de la tripulación de vuelo de la pista de rodaje C como la pista de aterrizaje prevista, que resultó de la falta de conocimiento de los miembros de la tripulación sobre el cierre de la pista paralela debido a su revisión ineficaz de la información de NOTAM antes del vuelo y durante la sesión informativa de aproximación.

Contribuyeron al incidente la incapacidad de la tripulación de vuelo para ajustar la frecuencia ILS para la guía lateral de respaldo, el sesgo de expectativa, la fatiga debido a la interrupción circadiana, la duración de la vigilia continua, y las fallas en el CRM.

Los miembros de la tripulación de vuelo informaron que comenzaron a sentirse cansados justo después de navegar a través de un área de tormentas eléctricas, que los datos de radar indicaron que era alrededor de las 21:45 (00:45 hora de verano del este [EDT]). El incidente ocurrió alrededor de las 23:56, que eran las 02:56 EDT de acuerdo con la hora normal del reloj biológico de la tripulación de vuelo; por lo tanto, parte del vuelo incidente ocurrió durante un momento en que la tripulación de vuelo normalmente habría estado dormida (según las entrevistas posteriores al incidente) y en un momento que se aproxima al inicio del período circadiano bajo humano descrito en la información de fatiga de Air Canada (en este caso, de 03:00 a 05:00 EDT). Además, en el momento del incidente, el capitán había estado despierto durante más de 19 horas, y el primer oficial había estado despierto durante más de 12 horas. Por lo tanto, el capitán y el primer oficial estaban fatigados durante el vuelo del incidente.

Varios modelos biomatemáticos se han propuesto para apoyar la investigación de incidentes/accidentes al evaluar la contribución potencial de la fatiga relacionada con el horario a los eventos de seguridad (por ejemplo, FAID: Fatigue Assessment Tool by Interdynamics) o analizar el nivel de fatiga de una persona en un momento específico basado en el análisis de su sueño anterior (por ejemplo, SAFE: System for Aircrew Fatigue Evaluation).

Sin embargo, es importante señalar que la aplicación de esos modelos para la identificación y el análisis *post hoc* para ayudar a determinar el papel de la fatiga como factor que contribuye a los incidentes y accidentes de aviación

debe llevarse a cabo con gran cautela dada la variabilidad individual y la carencia de las mediciones *in situ* e *in vivo* del desempeño.

El pensamiento sistémico contemporáneo sobre la investigación y el análisis de la seguridad reconoce que las interacciones complejas entre numerosos factores contribuyen a la mayoría de los sucesos de seguridad.

Si bien puede ser posible identificar el potencial de la existencia de fatiga de la tripulación y la disminución de rendimiento relacionadas utilizando tales modelos después de un evento, es problemático establecer un vínculo definitivo basado en la evidencia entre la fatiga y el evento específico.

Aislar la fatiga de los numerosos otros factores que pueden haber contribuido a un evento, y luego probar su contribución, puede no ser posible.

La validación de esta aplicación potencial de modelos biomatemáticos también es particularmente difícil en el dominio de la aviación, donde las tasas de accidentes son generalmente bajas, y puede ser difícil, lento y costoso medir el desempeño *in situ* del personal operativo. Esta situación genera las siguientes discordancias, que se describen a continuación:

- No contemplan la tarea ni sus variables como generadoras de fatiga.
- No contemplan la variación individual humana.
- Generan la ilusión de la precisión de datos no validados con la experiencia operativa.
- Utilizan test cognitivos de alerta inmediata que resultan insuficientes para contemplar los procesos de tomar decisiones dinámicas en una actividad compleja como la aviación u otras industrias complejas hoy llamadas de alta confiabilidad.
- Aplican modelos de medición y análisis cuantitativos al desempeño sometido a múltiples fenómenos cualitativos como es el ser humano en la mayoría de sus aspectos.
- No relacionan el pico mínimo del ritmo circadiano que parece anteceder a la peor situación de la fatiga.
- No contemplan los componentes crónicos de la fatiga y su impacto en la salud.
- No contemplan el contexto.
- La actigrafía registra falta de movimiento, no calidad del sueño REM-NO REM.
- Se arman con procesos de laboratorio y consultas de respuesta subjetiva a poblaciones no necesariamente similares a los destinatarios.
- No miden la fatiga, solo se refieren al sueño y no contemplan la calidad de la alerta.
- No reciben información de evaluaciones de desempeño en tiempo real y su vinculación con las tareas.

CONCLUSIONES

La fatiga operacional constituye la primera y más importante causa de incapacitación velada no evidente en vuelos. Degrada la capacidad para responder e incrementa el error, la omisión inadvertida. Un individuo fatigado va a tener problemas. Los estudios más modernos sobre sueño y fatiga aportan un abundante material científico para sacar del abstracto un tema tan concreto, y muchas veces considerado como una excusa o como de segundo nivel en la ocurrencia de siniestros no deseados. Vemos que la creencia de que la adrenalina que se desprende en el organismo frente a una emergencia efectivamente va a despertar al operador aun cuando esté muy cansado o fatigado es cierto solo en forma parcial: estar con los ojos abiertos o simplemente despierto no significa tomar las decisiones correctas.

Se han descrito las distintas metodologías de investigación y también su inclusión progresiva en las regulaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional, y de las autoridades aeronáuticas de los países contratantes, describiendo las particularidades evolutivas que van teniendo.

Finalmente, la puja competitiva entre las corporaciones y fusiones de las líneas aéreas determinan un riesgo mayor al riesgo natural de las operaciones aeronáuticas, que en esta etapa de la aviación reside fundamentalmente en los factores humanos de las tripulaciones a las que tienden a presionar con el único objeto de bajar costos, muchas veces sin medir las consecuencias.

Tildadas como poco probables siempre pueden ser catastróficas. Esta puja entre la eficiencia y la seguridad hace que hoy se realicen operaciones en condiciones límite desde estos puntos de vista, y alertamos sobre la necesidad de preservar y proteger de estas presiones de la industria sobre las limitaciones humanas que, como se denominan, son condiciones fisiológicas finitas que sufren agotamiento y modifican las conductas sin tener que ver con los valores monetarios que se puedan ahorrar.

Al comienzo de este artículo decíamos que las referencias de este trabajo estaban dirigidas a la actividad de las líneas aéreas principalmente. Queremos expresar nuestra profunda preocupación por lo que ocurre en la aviación general, ya que, si bien no contamos con tantos registros disponibles de calidad como en las líneas, todo lo expuesto resulta aplicable y los mismos operadores se refieren a sus contextos operacionales como salvajes. Sería muy importante implementar sistemas de gestión de riesgo de los estados maduros que permitan evitar condiciones poco seguras con consecuencias potenciales no solo en la operación misma, sino en los individuos involucrados.

Referencias Bibliográficas

- Australian Civil Aviation Safety Authority. (2014). *Biomathematical Fatigue Models Guidance*. Document Summary.
- Belenky, G., Wesensten, N. J., Thorne, D. R., Thomas, M. L., Sing, H. C., Redmond, D. P., Russo, M. B., & Balkin, T. J. (2003). Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study. *Journal of Sleep Research*, 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2003.00337.x>
- Gander, P. H., Rosekind, M. R., & Gregory, K. B. (1998). *Flight crew fatigue VI: a synthesis*. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 69(9 Suppl), B49-60.
- Gander, P., Hartley, L., Powell, D., Cabon, P., Hitchcock, E., Mills, A., & Popkin, S. (2011). Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level. *Accident Analysis and Prevention*, 43(2), 573-590. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.007>
- Gander, Philippa H. (2003). *Sleep in the 24-hour society*. Open Ming Publishing.
- International Civil Aviation Organization (2011). *Fatigue Risk Management Systems: Manual for Regulators* (Doc. 9966).
- Muhm, J. M., Signal, T. L., Rock, P. B., Jones, S. P., O'Keefe, K. M., Weaver, M. R., Zhu, S., Gander, P. H., & Belenky, G. (2009). Sleep at simulated 2438 m: Effects on oxygenation, sleep quality, and postsleep performance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 80(8), 691-697. <https://doi.org/10.3357/ASEM.2327.2009>
- Redline, S., Kirchner, H. L., Quan, S. F., Gottlieb, D. J., Kapur, V., & Newman, A. (2004). The effects of age, sex, ethnicity, and sleep-disordered breathing on sleep architecture. *Archives of Internal Medicine*, 164(4), 406-418. <https://doi.org/10.1001/archinte.164.4.406>
- Rosekind, M., Graeber, R., Dinges, D., Connell, L., Michael, Spinweber, C., & Gillen, K. (1994). *Crew factors in flight operations 9: Effects of planned cockpit rest on crew performance and alertness in long-haul operations*. NASA Ames research Center.
- Rupp, T. L., Wesensten, N. J., Bliese, P. D., & Balkin, T. J. (2009). Banking sleep: realization of benefits during subsequent sleep restriction and recovery. *Sleep*, 32(3), 311-321. <https://doi.org/10.1093/sleep/32.3.311>
- Signal, T. L. (2004). *Sleep in flight during long rest opportunities*. PH Van den Berg M, 34.
- Signal, T. Leigh, Gale, J., & Gander, P. H. (2005). Sleep measurement in flight crew: comparing actigraphic and subjective estimates to polysomnography. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(11), 1058-1063.

Fatiga en el transporte marítimo

Fatigue in maritime transport

**Andrea Galieriková,
Andrej Dávid**

Departamento de Transporte por Agua, Universidad de Žilina, Eslovaquia

galierikova@fpedas.uniza.sk;
andrej.david@fpedas.uniza.sk;

Artículo publicado en ASEJ - Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law / ISSN: 2543-9103
ISSN: 2543-411X (online)
Volume 24, No 1 (2020), 4 pp.
DOI: 10.5604/01.3001.0014.1349

Palabras clave: fatiga, marítimo, accidente, incidente, humano.

Keywords: *fatigue, maritime, accident, incident, human, fatigue.*

Recibido: 03/04/23
Aceptado: 28/04/23

Resumen

El sistema marítimo funciona sin interrupción, con trabajadores que operan, duermen, comen y viven las 24 horas del día, los siete días de la semana, en un ambiente ruidoso, dinámico y estresante. Los turnos irregulares y extendidos son habituales para los trabajadores a bordo. La fatiga es el resultado final de estos turnos prolongados, representada en síntomas como somnolencia, irritabilidad, reducción de la alerta, falta de concentración y memoria, depresión y dolores de cabeza. La falta de sueño o descanso puede afectar las habilidades cognitivas, ralentizar los tiempos de reacción y dificultar la concentración. Es una tarea desafiante probar que la fatiga es una causa de accidente marítimo. Por lo tanto, se debe utilizar un método de investigación acorde a los términos del transporte marítimo. Este artículo proporciona recomendaciones para el proceso de investigación y evaluación de los factores causales, como el factor humano, y especialmente la fatiga. Asimismo, se ofrecen medidas preventivas acerca de cómo evitar la fatiga a bordo de las embarcaciones.

Abstract

The maritime system operates without interruption, with workers operating, sleeping, eating and living 24 hours a day, seven days a week in a noisy, dynamic and stressful environment. Irregular and extended shifts are commonplace for workers on board. Fatigue is the end result of these extended shifts; represented in symptoms such as drowsiness, irritability, reduced alertness, lack of concentration and memory, depression and headaches. Lack of sleep or rest can affect cognitive skills, slow reaction times and make it difficult to concentrate. Proving fatigue as a cause of the maritime accident can be a challenging task. Therefore, a method of fatigue investigation must be used that is appropriate to the terms of maritime transport. This article provides recommendations for the process of investigating and assessing causal factors, such as human factors, and especially fatigue. It also provides preventive measures on how to avoid fatigue on board ships.

I. INTRODUCCIÓN

La industria naviera representa uno de los elementos más importantes de la economía global. Según la International Chamber of Shipping: Shipping and World Trade (ICSSWT) (2020), más del 90 % del comercio mundial se realiza por mar o ríos navegables. La industria marítima es un negocio que opera las 24 horas del día, no es inusual que los trabajadores estén disponibles las 24 horas del día o trabajen turnos que duran 12 horas o más. Las horas de trabajo y los límites de descanso prescriptivos, establecidos por la Organización Marítima Internacional (OMI) y por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), son los principales requisitos de gestión del riesgo de fatiga, estableciendo estándares mínimos de cumplimiento en la industria naviera internacional. Las regulaciones actuales permiten un máximo de 14 horas de trabajo en un período de 24 horas, con un máximo de 72 horas de trabajo en un período de 7 días. La OMI también establece períodos de descanso mínimos que no deben ser inferiores a 10 horas

en cualquier período de 24 horas y 77 horas en cualquier período de 7 días. El incumplimiento de los períodos de trabajo y descanso suele conducir a la fatiga como factor causal de un número alarmante de accidentes marítimos (Dávid *et al.*, 2016). Debido a que el personal debe realizar muchas tareas difíciles a bordo de los buques durante largos períodos de trabajo, la fatiga laboral es una condición constante y peligrosa en la industria marítima.

II. FATIGA

La fatiga puede ser definida de diversas maneras. Generalmente, se describe como un estado de cansancio o somnolencia que resulta de un trabajo mental o físico prolongado, un período extendido de ansiedad, la exposición a entornos hostiles o la falta de sueño. Los efectos de la fatiga son particularmente peligrosos en la industria naviera. La naturaleza técnica y especializada de esta industria requiere alerta constante y una concentración intensa por parte de sus trabajadores. La fatiga también es peligrosa porque afecta a todos, independientemente de sus habilidades, conocimientos y formación (Interreg, 2018).

Es importante reconocer que el personal de la embarcación está "atrapado" en su ambiente laboral. El personal de la embarcación pasa largos períodos viviendo y trabajando lejos de su hogar, en una embarcación en movimiento sujeta a factores ambientales impredecibles. Además, a bordo no existe una clara separación entre el trabajo y el tiempo de recreación. Otro elemento limitante es la tripulación, compuesta por personas de diversas nacionalidades, que se espera convivan y trabajen juntas durante largos períodos de tiempo. Galieriková (2019) sostiene, en su investigación sobre accidentes marítimos, que el error humano representa entre el 75 % y el 96 % de los sucesos del sector naviero, siendo la fatiga una de las causas más comunes. El análisis de los accidentes marítimos también muestra que un número alarmante de fallos humanos fueron el resultado de errores de juicio de los trabajadores marítimos que sufrían de fatiga extrema. Según McCallum (1996), la fatiga por sí sola fue la causa de hasta el 16 % de los accidentes. La fatiga, como un elemento del comportamiento humano, provoca el 33 % de las lesiones en el mar (Sanquest 1996). [ver TABLA 1].

TABLA 1. Accidentes marítimos (2015–2019) y factores causales

	2015	2016	2017
Factores humanos	30 (94 %)	31 (78 %)	19 (86 %)
Otros factores	8 (25 %)	10 (25 %)	7 (32 %)
Factores causales	38	41	26
Número de accidentes	36,0	35,9	35,8

Fuente: Galieriková, 2019.

III. INVESTIGACIÓN DE LA FATIGA

Las investigaciones de accidentes marítimos se basan en una revisión de la cantidad de informes de accidentes marítimos de la National Transportation Safety Board (NTSB) y datos estadísticos de European Maritime Safety Agency (EMSA). Mediante un análisis detallado, se evaluó si un accidente marítimo se debió a la fatiga y, en caso afirmativo, qué miembro de la tripulación había cometido un error y cómo. También se utilizó la investigación sobre la causalidad de la fatiga (Strauch, 2015). Esta investigación cita esencialmente cuatro causas no médicas de la fatiga:

- Falta de sueño en las horas inmediatamente anteriores al evento, que conduce a la fatiga aguda.
- Pérdida de sueño en los días o noches anteriores al accidente, que puede llevar a la fatiga crónica.
- Tiempo prolongado despierto (efectos de la vigilia prolongada) antes de la tarea.
- Cambios en las zonas horarias o el trabajo por turnos que llevan a la interrupción del sueño.

La investigación de la fatiga de los trabajadores a bordo incluye información sobre la condición médica y el uso de medicamentos de los trabajadores. La base de la información también permite determinar si el trabajador estaba fatigado, según la historia documentada de la calidad y cantidad de su sueño. Luego, asumiendo que el accidente se debió a un error humano, es necesario determinar si un capitán fatigado cometió el error debido a la fatiga.

Las fallas de comprensión o interpretación, por ejemplo, también pueden atribuirse a la falta de experiencia o a la capacitación inadecuada. En otras palabras, algunas fallas o errores pueden explicarse por causas distintas a la

fatiga, pero para determinar que la fatiga condujo a un error, es insuficiente establecer que el trabajador (capitán) estaba fatigado por sí solo si una alternativa a la fatiga también puede causar la falla. Sin embargo, si no hay una explicación alternativa, como la falta de experiencia o la capacitación inadecuada, entonces estos factores pueden ser excluidos como explicaciones potenciales, aplicando la fatiga para explicar la falla.

Un ejemplo

El proceso de identificación de la fatiga como causa de un accidente puede aplicarse a la investigación de la colisión del petrolero "Eagle Otome", que chocó en un canal angosto, primero con un buque atracado y luego con otro que se acercaba desde la dirección opuesta. El accidente ocurrió principalmente porque el práctico que llevaba la navegación del buque tanque, demoró en ordenar el cambio de rumbo de la embarcación requerido para navegar una curva próxima en el canal. El práctico reconoció demasiado tarde la necesidad del giro, por lo que compensó el retraso ordenando un cambio de un mayor ángulo de la pala al que se usa típicamente (porque el barco estaba más adentro de la curva de lo debido para iniciar el giro). Entonces, el práctico llamó por radio a la tripulación de otro barco para coordinar el cruce en el canal. Durante el giro, el barco se acercó demasiado a la orilla del veril y se desgobornó mientras comenzaba a zisagear como resultado de las fuerzas hidrodinámicas derivadas de la proximidad con el veril (EMSA, 2018). Luego, ocurrió la colisión.

FIGURA 1. Colisión del barco Eagle Otome



Fuente: resolvemarine.com

El error del práctico al reconocer tardíamente la necesidad de girar y ordenar la maniobra es consistente con un rendimiento cognitivo degradado. Debido a las comunicaciones por radio, el práctico no pudo supervisar el progreso de la embarcación y la necesidad de realizar el giro cuando era apropiado. La dificultad para cambiar la atención entre las tareas (de la comunicación por radio a la navegación de la embarcación) también es coherente con un rendimiento cognitivo degradado debido a la fatiga (EMSA, 2018). El práctico tomó la acción correcta (el giro), pero esta acción se realizó demasiado tarde, por lo que no se pudo llevar a cabo de manera segura.

Los investigadores consideraron todas las posibles explicaciones del error del práctico, como su nivel de habilidad, entre otras, que fue refutada. El práctico tenía una considerable experiencia en su posición, había completado dos años de entrenamiento y había trabajado como práctico durante cuatro años antes del accidente. Además, su historial de rendimiento había sido bueno: no había estado involucrado en incidentes anteriores y no tenía antecedentes de incumplimientos como marino. Por lo tanto, los investigadores identificaron dos fuentes diferentes de fatiga con efectos negativos en el rendimiento cognitivo del práctico: había sido diagnosticado con apnea del sueño (aunque no lo respetaba siempre) y que dos días antes del accidente había trabajado durante 27 horas seguidas, desde las 7:00 de la mañana hasta las 10:00 del día siguiente. Luego, había dormido desde las 10:15 del día anterior al accidente hasta las 17:00 de esa tarde, y nuevamente desde las 21:00 hasta que lo despertaron a las 2:30 para comenzar a trabajar. Aunque había dormido el día y la noche antes del accidente, los investigadores demostraron que los patrones de sueño interrumpido habían resultado en un descanso diurno de mala calidad, por lo que su sueño había sido insuficiente para compensar su pérdida aguda de sueño la noche anterior. Además, su sueño nocturno no habría podido compensar la pérdida de sueño debido a que lo despertaron a las 2:30, que es también la fase del sueño profundo, por lo que la interrupción del sueño puede ser particularmente insidiosa

(Strauch, 2015). Por lo tanto, dada la información proporcionada sobre el práctico y su horario de sueño/despertar en los días previos al accidente, la naturaleza de sus errores y la calidad y cantidad de su experiencia previa, los investigadores tenían suficiente información para determinar que la fatiga del práctico había afectado la ocurrencia del fallo. Este método de evaluación de la fatiga proporciona medios sistemáticos y objetivos para determinar el papel de la fatiga en los accidentes marítimos (EMSA, 2018).

Por lo tanto, según este estudio y el método de investigación de accidentes marítimos en los que la fatiga es un factor causal principal, se pueden plantear tres preguntas críticas para futuras investigaciones de accidentes marítimos:

- ¿Estaba el práctico fatigado?

De ser así:

- ¿Fue el error consistente con el estado de fatiga?

De ser así:

- ¿Existen otras causas del accidente aparte de la fatiga del práctico?

Es suficiente que las dos primeras respuestas sean positivas durante la investigación de accidentes marítimos y los factores causales, puesto que representan evidencia absoluta de que el marino estaba fatigado en el momento del accidente.

En general, si la principal causa de un accidente marítimo es la fatiga de la tripulación o del práctico, es necesario definir los factores que la originan y aplicar medidas a bordo preventivas para reducirla al mínimo.

IV. FACTORES DE FATIGA

Las causas más comunes de fatiga a bordo son la mala calidad del descanso, la falta de sueño, el estrés o la carga de trabajo excesiva. También existen muchos otros factores específicos que varían según las circunstancias, incluyendo factores de la tripulación, de gestión y del entorno y el barco.

A. Factores específicos de la tripulación

Los factores específicos de la tripulación están relacionados con hábitos personales, estilo de vida, comportamiento y atributos individuales. Sin embargo, la fatiga varía de una persona a otra y sus efectos a menudo dependen de la actividad particular que se esté realizando. Los factores específicos de la tripulación incluyen:

1. Descanso y sueño:
 - Mala calidad, cantidad y duración del sueño
 - Trastornos o perturbaciones del sueño
 - Descansos durante el trabajo
2. Reloj biológico/ritmos circadianos:
 - Miedo
 - Monotonía y aburrimiento
 - Carga laboral (mental/física)
 - *Jet lag*
3. Salud:
 - Dieta
 - Enfermedad
4. Sustancias ingeridas:
 - Alcohol
 - Medicamentos (con y sin receta)
 - Cafeína
5. Otros:
 - Problemas personales
 - Relaciones interpersonales

B. Factores específicos de la gestión

Estos factores se refieren a cómo se gestionan y operan las embarcaciones, y pueden aumentar potencialmente la carga de trabajo y causar estrés, lo que finalmente conduce a la fatiga. Estos incluyen:

- Roles del personal en alta mar
- Requisitos de documentación
- Aspectos económicos
- Horarios, turnos, horas extras, descansos
- Cultura de la empresa y estilo de gestión
- Normas y regulaciones
- Recursos
- Mantenimiento de la embarcación
- Formación y selección de la tripulación (Jurkovič, Kalina, 2016)

C. Factores específicos del barco

Estos factores incluyen características de diseño de la embarcación que pueden afectar o causar fatiga. Algunas características de diseño de la embarcación afectan la carga de trabajo (por ejemplo, automatización, confiabilidad del equipo); otras afectan la capacidad de la tripulación para dormir; y otras afectan el nivel de estrés físico en la tripulación (por ejemplo, ruido, vibración, espacios de alojamiento, etc.).

Estos factores incluyen:

- Diseño de la embarcación
- Nivel de automatización
- Confiabilidad del equipo
- Inspección y mantenimiento
- Edad de la embarcación
- Comodidad en los espacios de trabajo y alojamiento (Sulgan, Sosedova, 2016)

D. Factores ambientales específicos

La exposición a niveles excesivos de factores ambientales, como la temperatura, la humedad y el ruido excesivo, puede causar o afectar a la fatiga. La exposición a largo plazo puede incluso dañar la salud de una persona. Estos factores también pueden contribuir a la interrupción del sueño.

El movimiento de la embarcación también se considera un factor ambiental, y afecta la capacidad de una persona para mantener el equilibrio físico. Existe una relación directa entre el movimiento de una embarcación y la capacidad de una persona para trabajar. Esto se debe a la energía adicional gastada para mantener el equilibrio mientras se mueve, especialmente durante condiciones de mar agitado. El movimiento excesivo de la embarcación también puede causar náuseas y mareos (Interreg, 2018).

Los factores ambientales también se pueden dividir en factores externos a la embarcación, como las condiciones climáticas y el tráfico marítimo.

V. PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA FATIGA

Para prevenir la fatiga pueden tomarse varias medidas. Sin embargo, muchas de las acciones tendientes a reducir la fatiga, penosamente están más allá del control de una sola persona (por ejemplo, la programación de viajes, el diseño de la embarcación y la programación laboral).

Los pasos propuestos a continuación son importantes para la prevención de la fatiga a bordo de una embarcación:

- Asegurar el cumplimiento de la legislación aplicable (horas máximas de trabajo y/o horas mínimas de descanso).
- Desarrollar y mantener buenos hábitos de sueño (como una rutina antes de dormir).
 - Comer comidas regulares y equilibradas (que incluyan frutas y verduras, así como carne y almidones).
 - Hacer ejercicio regularmente.
 - Beber cantidades suficientes de agua.
 - Utilizar personal descansado para reemplazar a aquellos que trabajan largas horas a bordo.
 - Asegurar un entorno de comunicación abierto (por ejemplo, explicando a los miembros de la tripulación

que es necesario informar a los supervisores cuando la fatiga afecta su rendimiento sin recriminaciones por tales informes).

- Programar ejercicios teniendo en cuenta la minimización de la interrupción de los períodos de descanso/sueño.
- Programar tareas potencialmente peligrosas para las horas diurnas.
- Variar las tareas para romper la monotonía del trabajo que requiere un alto nivel de demanda física o mental, con tareas de baja demanda.
- Hacer hincapié en la relación entre los períodos de trabajo y descanso.
- Establecer prácticas a bordo para tratar los incidentes de fatiga y aprender de los acontecimientos pasados.

VI. CONCLUSIONES

La industria marítima es una actividad que opera las 24 horas del día, los 7 días de la semana, siendo los turnos extendidos una práctica común para los trabajadores marítimos. No es inusual que el personal a bordo y otros trabajadores en alta mar trabajen durante 24 horas al día o tengan turnos que duren 12 horas o más. Estas largas jornadas representan una falta de descanso y sueño que tanto la mente como el cuerpo requieren. El resultado es la fatiga del trabajador, lo cual puede afectar las habilidades cognitivas de una persona, ralentizar sus tiempos de reacción, dificultar la concentración y afectar negativamente las habilidades de toma de decisiones, lo que aumenta la probabilidad de que se produzca un accidente.

El proceso de investigación de la fatiga, en términos de accidentes marítimos, consiste en analizar la historia de las horas que el trabajador (capitán, tripulación, personal en tierra, etc.) pasó realizando tareas específicas en las 24 horas previas al accidente. Luego, se investiga el horario de sueño/despertar de los trabajadores en las semanas previas al accidente, así como las condiciones médicas y el uso de medicamentos de los trabajadores que cometieron errores a bordo de la embarcación. Si el error es coherente con la fatiga, los investigadores deben descartar otras posibles explicaciones alternativas para determinar si el trabajador estaba fatigado. Así, las investigaciones complejas sobre la fatiga como factor causal de accidentes marítimos pueden mejorar la seguridad en la industria naviera y garantizar un rendimiento más eficiente a bordo de las embarcaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dávid, A., Piala, P. y Stupalo, V. (2016). Cargo containerisation and its impact on the development of maritime transport. En: 3ª Conferencia Internacional sobre Ingeniería del Tráfico y el Transporte (ICTTE). Belgrado, Serbia, 2016; pp. 306-311.

European Maritime Safety Agency (EMSA). (2018). *Analysis on Marine Casualties and Incidents Involving Fishing Vessels*. pp. 42.

Galeriková, A. (2019) The human factor and maritime safety. XIII Conferencia Científica Internacional sobre Transporte Sostenible, Moderno y Seguro (TRANSCOM 2019), High Tatras, Novy Smokovec – Grand Hotel Bellevue, República de Eslovenia, May 29-31, 2019.

International Chamber of Shipping: Shipping and World Trade. (2020). *Shipping and world trade*. Disponible en: <http://www.ics-shipping.org/shippingfacts/shipping-and-world-trade>

Interreg: Human Resource Management and Social Responsibility on Board – Managerial Level. (2018). Module I – Principles and Good Practices in Shipboard Human Resource Management. Compendium.

Jurkovič, M., Kalina, T. (2016). Water transport – the challenge for the automotive industry in Slovakia. En Communications: scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Vol. 18, no. 2. pp. 26-29.

McCallum, M. C. et al. (1996). Procedures for Investigating and Reporting Human Factors and Fatigue Contributions to Marine Casualties. Reporte No. CG-D-09-97. Seattle: Battelle Seattle Research Center.

National Transportation Safety Board (NTSB). (2020). Investigations. Marine accident reports. Disponible en: <https://www.nts.gov/investigations/accidentreports/pages/marine.aspx>

Sanquest, T. F. et al. (1996). Fatigue and Alertness in Merchant Marine Personnel: A Field Study of Work and Sleep Patterns. Reporte No. CG-D-06-97. Seattle: Battelle Seattle Research Center.

Sulgan, M., Sosedova, J. (2016). Rationalization of internal transport operation in the intermodal transport terminal. Communications: scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Vol. 18, no. 2.

Strauch, B. (2015). Investigating fatigue in marine accident investigations. 6ª Conferencia Internacional sobre Factores Humanos Aplicados y Ergonomía (AHFE 2015) y conferencias de afiliados. National Transportation Safety Board, 490 L'Enfant Pl, SW, Washington, DC.



MULTIMODAL

Florencia Obaid
Médica por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC),
especialista en Medicina Legal.

Recibido: 03/05/23
Aceptado: 18/05/23



PRINCIPIOS CIENTÍFICOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN

La fatiga: un desafío para los investigadores en seguridad operacional

Potencial factor relacionado con incidentes y que debe ser analizado en la investigación de sucesos de seguridad en el transporte con el fin de generar recomendaciones orientadas a gestionar sus riesgos.

El presente artículo realiza un compendio de los distintos factores precursores del estado de fatiga partiendo de una revisión de trabajos científicos acerca de la temática. Asimismo, determina posibles manifestaciones clínicas resultantes de la fatiga y destaca la importancia de aplicar conocimientos científicos a la hora de gestionar los riesgos asociados a la misma. Se confirma, así, que la fatiga debería ser contemplada en la investigación de sucesos de seguridad operacional y accidentes en el transporte como uno de los factores potenciales relacionados a la ocurrencia de incidentes y accidentes. Y ello implica un desafío para los investigadores por tratarse de una cuestión compleja de analizar y ponderar, con un imprescindible enfoque integral y multidisciplinario de la investigación.

La finalidad es generar recomendaciones orientadas a la gestión de riesgos asociados a la fatiga y a la prevención de futuros sucesos. Nadie es inmune a la fatiga ya que se trata de un mecanismo regulador del organismo indicativo de la necesidad de descanso, y las consecuencias de ese estado constituirían un potencial peligro para la seguridad de las operaciones.

Factores precursores del estado de fatiga y medidas de mitigación del riesgo:

Es fundamental aplicar conocimientos científicos para gestionar los riesgos asociados a la fatiga. Las operaciones 24/7 han evolucionado de forma exponencial, sin embargo, la fisiología humana sigue siendo la misma.

El estado de fatiga sería el resultado de un desbalance entre las exigencias físicas, mentales y/o psicoemocionales asociadas a todas las actividades de vigilia y la capacidad de recuperación de los efectos de tales exigencias.

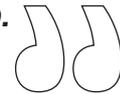
La definición de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) define a la fatiga como un estado fisiológico que se caracteriza por una reducción de la capacidad de desempeño mental y/o físico debido a la falta de sueño o a períodos prolongados de vigilia, fase circadiana, y/o carga de trabajo (actividad mental y/o física) que puede menoscabar el estado de alerta de una persona y su capacidad para desempeñar sus funciones relacionadas con la seguridad operacional (OACI. doc. 9966. 2016).

Dentro de los factores precursores de fatiga que pueden identificarse en operadores de primera línea, se encuentran las alteraciones del sueño en calidad y/o cantidad, las jornadas de trabajo prolongadas, el desempeñarse en funciones donde se vea alterado el ritmo circadiano habitual (turnos rotativos, turnos muy tempranos o nocturnos, viajes transmeridianos), sobrecarga de tareas con una insuficiente recuperación tras esfuerzos físicos, mentales y/o psicoemocionales,

algunas condiciones médicas favorecedoras, condiciones medioambientales (monotonía, entorno operativo desfavorable por diversos motivos, condiciones climatológicas adversas entre otras), consumos de sustancias o medicamentos, cuestiones organizacionales y del entorno laboral, y una combinación de estos factores.

Dentro de las manifestaciones más destacadas del estado de fatiga se pueden mencionar: sensación de malestar general, somnolencia, cefalea, mareos, labilidad emocional (irritabilidad, apatía y desinterés, alexitimia, anhedonia, ataques de pánico, entre otras), disminución de la capacidad de concentración, alteración de la sensoripercepción, degradación de la atención, de la conciencia situacional, la toma de decisiones y de la comunicación y también un incremento en el número de errores no esperables.

“Nadie es inmune a la fatiga ya que se trata de un mecanismo regulador del organismo indicativo de la necesidad de descanso.



Todo esto constituiría un verdadero peligro potencial para operaciones de transporte debido a las capacidades físicas, los recursos cognitivos y al alto grado de alerta que se requieren para una actividad segura.

Dormir es vital para la supervivencia humana. La mayoría de los adultos sanos necesitan de siete a nueve horas por día de un sueño de buena calidad. Los requisitos de duración suficiente del sueño varían a lo largo de la vida y de persona a persona.

El sueño es un estado fisiológico reversible, sin control consciente del cerebro, en el que el procesamiento de la información sensorial del entorno se reduce al mínimo. Es un proceso complejo que recupera las capacidades de los sistemas esenciales mermadas por las actividades de la vigilia y prepara al organismo para el período de vigilia siguiente. Es fundamental para restaurar funciones cerebrales y cognitivas como la memoria, los procesos de aprendizaje, la percepción de estímulos sensoriales, la atención, la concentración y la capacidad de resolución de problemas. Se relaciona con la liberación de diferentes hormonas y mediadores químicos, siendo ello clave para estabilizar el ánimo, reparar células y tejidos del cuerpo y fortalecer el sistema inmune.

Los efectos de la restricción de sueño se acumulan, con disminución del desempeño y aumento progresivo de la somnolencia objetiva. Después de una noche de sueño perdido se requerirían dos noches consecutivas sin in-



terrupción para restaurar los ciclos normales de sueño. La pérdida de sueño no es recuperable hora por hora.

La necesidad de sueño aumentará hasta que la persona se duerma sin control. El microsueño (conocido también como desconexión cerebral inesperada o *brain off*) es el cese brusco e inesperado de las funciones neurocognitivas que se produce en situaciones de fatiga y de somnolencia fisiológica extrema. Consiste en un breve período de tiempo (segundos) durante el cual el cerebro se desvincula de su entorno (deja de procesar información visual y sonora) y pasa de una forma incontrolada a una fase de sueño ligero.

Los primeros días de una severa restricción de sueño (por ejemplo, durmiendo solo cinco horas), la persona es consciente de que se está poniendo cada vez más somnolienta; pero luego de varios días, ya no nota ninguna diferencia en ella misma, aun cuando el estado de alerta y el desempeño sigan decayendo.

La restricción prolongada de sueño puede repercutir en el cerebro y seguir afectando al nivel de atención y desempeño durante varios días o semanas. Los estudios de laboratorio no pudieron aún determinar con exactitud el tiempo necesario para la recuperación de esos efectos. De varios estudios realizados surge evidencia de que el sueño inadecuado se vincula a aterosclerosis, hipertensión, obesidad, diabetes tipo 2, depresión, Alzheimer y otros tipos de demencia.

La denominada arquitectura del sueño (basándose en un método objetivo de estudio llamado polisomnografía) define cómo se estructura el sueño y lo divide en 2 fases, una con movimientos oculares rápidos (fase REM) y la otra sin movimientos rápidos de los ojos (fase NO REM), la cual ocupa $\frac{3}{4}$ partes del sueño y a su vez se subdivide en diferentes etapas.

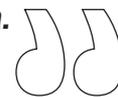
Las etapas 1 y 2 de la fase NO REM corresponden al sueño más ligero, y las etapas 3 y 4 corresponden a un

sueño más profundo, también conocido como "sueño de ondas lentas". Esto es debido a que las ondas cerebrales se ralentizan y aumentan su amplitud (ritmo delta en el electroencefalograma), reflejando que la actividad de amplios grupos neuronales se sincroniza. Ocurre una mayor relajación muscular, sin movimientos oculares y se vuelve difícil despertar a la persona. En el "sueño de ondas lentas" (sueño profundo) el cuerpo repara sus tejidos, fortalece el sistema inmunológico, libera hormonas y restaura su energía. Además, participa en la función de memoria declarativa (conceptos, hechos, recuerdos).

Un período de sueño típico comienza en la etapa 1 de sueño NO REM, pasando por las otras etapas hasta alcanzar la fase REM, conformando así un ciclo NO REM/REM. Este ciclo completo dura aproximadamente noventa minutos y se repite de cuatro a seis veces a lo largo de una noche típica.

La mayor parte de nuestro sueño profundo ocurre durante la primera parte de la noche, con etapas 3 y 4 de sueño NO REM más prolongadas. Los períodos REM son más largos durante la última parte del sueño en una noche típica.

"Es fundamental aplicar conocimientos científicos para gestionar los riesgos asociados a la fatiga."



La fase REM se parece a la actividad cerebral de vigilia: los ojos se mueven detrás de los párpados cerrados con movimientos rápidos, el ritmo cardíaco y la respiración se tornan irregulares y hay un estado de parálisis transitoria del cuerpo conocido como "bloqueo REM", que determina que al soñar los movimientos del mundo de ensueño no se representen en la realidad. Al despertar a una persona de un sueño REM es habitual que la misma recuerde sueños vívidos. El sueño REM participa en la consolidación de la memoria (procedimental y emocional), en el aprendizaje y en el equilibrio del estado de ánimo. Después del último ciclo REM, la persona se despierta descansada y alerta.

La fragmentación del ciclo NO REM/REM por un despertar precoz, o como consecuencia de despertares breves que lleven al cerebro a una etapa de sueño más ligero aun sin llegar a despertarse, disminuyen la capacidad reparadora del sueño. Ambos tipos de sueño son necesarios.

El ser humano tiene dos mecanismos de control del sueño descriptos hasta el momento: el ritmo circadiano (determinado por un marcapasos natural o reloj bio-

lógico) y un mecanismo llamado presión homeostática del sueño que mantiene en equilibrio al ambiente interno del organismo.

El proceso homeostático del sueño se basa en la necesidad del organismo de alcanzar un sueño profundo; entonces la presión para alcanzar el sueño de ondas lentas (actividad delta) se acumula durante la vigilia y se descarga durante el sueño. En esta misma línea se ha comprobado en estudios científicos un acúmulo de sustancias químicas a nivel cerebral durante la vigilia, como por ejemplo la adenosina, el cual induce al sueño y se degrada al dormir. Cuanto más prolongado sea el tiempo de vigilia, más sueño de ondas lentas se tendrá en el próximo período de sueño.

El reloj corporal circadiano es un marcapasos neuronal (ubicado en el hipotálamo), que controla los ciclos de los procesos fisiológicos y del comportamiento (ciclos diarios de sueño y vigilia, de temperatura corporal, de digestión, ciclos hormonales y de desempeño, entre otros). Condiciona nuestra preferencia de sueño nocturno (ciclo vigilia/sueño) y es una adaptación biológica al período de rotación de 24 horas de nuestro planeta (ciclo día/noche). El reloj es ajustado diariamente por señales externas, principalmente la luz, y por otras señales tales como pautas sociales, el ejercicio, los patrones de comida y la temperatura ambiente. Naturalmente, al reloj corporal "le gustaría" un ciclo más largo cercano a 25 horas, por lo que depende de esas señales externas para adaptarse al ciclo día/noche. La luz es la influencia más poderosa que mantiene al organismo en un ciclo de 24 horas.

El reloj circadiano repercute en todos los aspectos del organismo humano, lo que produce altibajos cíclicos en el desempeño. Ejerce una gran influencia en el sueño y da lugar a períodos de tiempo propensos al sueño y a períodos en los que se dificulta. Hay dos puntos bajos en los que el deseo de dormir es alto: uno de ellos se denomina ventana de baja circadiana, y el otro, ventana de siesta de la tarde. La primera coincide aproximadamente con el mínimo diario de la temperatura corporal de base y corresponde a la hora del día en la que la somnolencia es mayor y el nivel de desempeño es menor (03:00 a 05:00 hora local, en la mayoría de las personas). Es un horario de alto riesgo para cometer errores relacionados con fatiga. Y la ventana de siesta de la tarde (15:00 a 17:00 hora local) también es un horario donde el nivel de desempeño desciende y hay una mayor propensión a la somnolencia.

Así también pueden identificarse dos horarios donde dormir se vuelve dificultoso: las zonas horarias denominadas de mantenimiento de vigilia; la primera de ellas, al final de la mañana y la segunda, dos a tres horas antes de acostarse, acorde al horario habitual del cronotipo de la persona.

Hay variaciones individuales a lo anteriormente dicho. Personas de perfil matutino (o "alondras") son aquellas cuyos ritmos circadianos y horarios de sueño preferidos tienen lugar antes que los de la mayoría de las personas, entonces se sienten más despiertas, alertas y capaces de hacer mejor su trabajo en la mañana. Por el contrario, están las personas de perfil vespertino (o "búhos") cuyos ritmos circadianos y horarios de sueño preferidos tienen lugar más tarde que los de la mayoría de las personas. Estas experimentan dificultades para levantarse o para sentirse alertas en la mañana y son más productivas durante la tarde o la noche. La genética juega un papel importante en los estilos individuales de vigilia, aunque también hay muchos otros factores que influyen en esta variabilidad, tales como la edad, el estilo de vida, los factores socioculturales o los patrones de los turnos diarios laborales.

Puede considerarse que los efectos que producen conjuntamente la presión homeostática del sueño y el reloj circadiano corporal definen las "ventanas" propensas al sueño y las "ventanas" en las que se dificulta el sueño. Esto es clave a la hora de pensar riesgos asociados a la fatiga.

El reloj biológico es de regulación lenta, por lo que demora en adaptarse a los cambios. Cuanto más lejos se desplace el sueño de su punto óptimo, más difícil es lograr que el sueño sea óptimo. Esto aplica a cualquier patrón de trabajo que requiera que un operador deba permanecer despierto cuando normalmente debería estar durmiendo, lo cual es un punto importante para tener en cuenta al diseñar cronogramas de trabajo y trabajos por turnos.

Aquellas operaciones que involucran horarios de trabajo irregulares, turnos variables o nocturnos, inicios tempranos o viajes transmeridianos, fuerzan a los operadores a desviarse del horario de sueño normal, alterando sus ritmos biológicos y generando un desfase entre los ritmos endógenos y las condiciones externas.

El trabajo por turnos tiene otras consecuencias además de provocar períodos de sueño más reducidos y de peor calidad. Si se mantiene constante durante varios días, genera señales temporales que provocan un reajuste del reloj circadiano corporal, pero que no están en consonancia con la información luminosa que recibe el reloj circadiano. A raíz de ello, varios ritmos corporales dejan de sincronizarse entre sí y dan lugar a una desincronización circadiana.

En los casos de viajes transmeridianos, cuanto mayor sea la diferencia angular entre origen y destino, más tiempo requerirá la adaptación. A partir de los 45 grados de diferencia angular, equivalente a tres husos horarios, comienzan a sentirse los síntomas del denominado *jet lag* (desfase horario). Es algo fisiológico, ya

que el atravesar husos horarios modifica el ritmo circadiano principalmente por el cambio de exposición a la luz solar. Así, el organismo pone en funcionamiento un conjunto de mecanismos para lograr adaptarse al nuevo horario. Las manifestaciones clínicas de esta situación pueden ser alteraciones del sueño, fatiga, cambios gastrointestinales (de hambre y ritmo evacuatorio), sensación de incomodidad, cambios de humor, entre otros. Las diferentes personas se adaptan a distintos ritmos, y la capacidad de adaptación suele disminuir con la edad. Esta es más rápida después de un viaje hacia el oeste (dirección de retardo) o con tiempos de servicio progresivamente más tarde en el caso de turnos rotativos, debido a que el día determinado por el marcapasos o reloj circadiano tiene más de 24 horas, como se mencionó anteriormente (más cercano a 25 horas).

En el caso de los viajes transmeridianos, la adaptación es más rápida cuando se está expuesto a señales provenientes del horario local (la luz al aire libre, la práctica de deporte y la alimentación con arreglo al horario local). Si la escala es corta (inferior a un día), se sugiere permanecer al ritmo del sitio de partida; en cambio si la escala es mayor a un día, sería aconsejable adoptar inmediatamente el ritmo del país de llegada para acelerar la sincronización. Comenzar un viaje con un déficit de sueño aumenta la gravedad de los síntomas del *jet lag*.



Respecto de la carga de trabajo (mental o física o psicoemocional) como factor precursor de fatiga, no hay una definición operativa clara en las diversas fuentes consultadas y es aún tema de debate. Se trata de un concepto complejo. La carga de trabajo será diferente dependiendo del contexto operacional, y no hay un método común para evaluarla. Algunos aspectos asociados a carga de trabajo son: tipo y cantidad de la tarea a realizar (duración, dificultad o complejidad), limitaciones de tiempo (horarios dados por exigencias de la tarea, por factores externos, por la misma persona),

capacidad de desempeño (experiencia, capacitación, esfuerzo, historial de sueño y fase circadiana, entre otros). Tanto las elevadas cargas de trabajo como las bajas cargas de trabajo (por desmotivación, monotonía o aburrimiento) podrían preceder al estado de fatiga.

En la literatura se describen diferentes métodos que tienen como finalidad evaluar el sueño o el ritmo circadiano y otros que intentan medir somnolencia o fatiga. De estas diferentes técnicas para el análisis objetivo del sueño, la polisomnografía es una de ellas y la de mayor fiabilidad (*gold standard*). Esta técnica consiste en el registro estandarizado y simultáneo de múltiples parámetros fisiológicos durante el sueño. Mide la actividad eléctrica del cerebro (electroencefalograma), los movimientos oculares (electrooculograma) y el tono muscular (electromiograma), y es la técnica que permitió descifrar la arquitectura del sueño.

***“Aquellas operaciones que involucran horarios de trabajo irregulares, turnos variables o nocturnos, inicios tempranos o viajes transmeridianos fuerzan a los operadores a desviarse del horario de sueño normal, alterando sus ritmos biológicos.*”**



La actigrafía es otro método de estudio utilizado con el fin de evaluar patrones de sueño y resulta, en la práctica, más aplicable que la polisomnografía. A través del uso de actirrelojes (dispositivos que, en su mayoría, se asemejan a un reloj pulsera, contienen un acelerómetro y son capaces de registrar movimiento) se estima mediante un soporte lógico cuál es el grado de actividad de los movimientos corporales en un período de tiempo determinado. El registro puede seguirse durante varios días para inferir duración y fragmentación del sueño, así como también la regularidad y el ritmo cronobiológico, pero tiene sus limitaciones. Una de ellas es que no distingue sueño de vigilia estática, es decir, no puede discriminar si la persona está dormida o si permanece quieta, pero despierta, lo que hace que sea un método falible a la hora de medir calidad de sueño. A fin de que la actigrafía sea fiable, el dispositivo con su algoritmo informático debe haber sido validado en base a la polisomnografía.

El ritmo circadiano también se ha evaluado midiendo temperatura corporal, por ejemplo. Se han propuesto otros varios métodos objetivos con la intención de medir somnolencia, pero que tienen sus limitaciones. Se pueden mencionar a la prueba de latencias múltiples del sueño, el test psicomotor de vigilancia (PVT) y la medición del parpadeo. Existen también métodos

subjetivos cuyo fin es intentar medir somnolencia o fatiga y se presentan como cuestionarios o escalas, entre ellas la escala de fatiga de Samn Perelli, la escala de somnolencia de Karolinska o el cuestionario de fatiga de Yoshitake, por ejemplo. Encontramos además métodos de análisis basados en modelos biomatemáticos.

“El reloj biológico es de regulación lenta, por lo que demora en adaptarse a los cambios. Cuanto más lejos se desplace el sueño de su punto óptimo, más difícil es lograr que el sueño sea óptimo.”



Todos estos estudios tienen sus limitaciones y solo develan una parte del problema debido a que es muy difícil evaluar la fatiga *in situ*, con lo cual, la aproximación será mayor cuantos más métodos puedan utilizarse y combinarse.

Según un estudio publicado en la revista *Nature* (Dawson y Reid, 1997), la falta de sueño produciría los mismos efectos sobre la capacidad de conducir un vehículo que el consumo de alcohol. En estudios psicométricos se ha demostrado que mantenerse despierto durante 17 horas perturba la capacidad de conducir un vehículo de forma similar al efecto producido por una concentración de alcohol en la sangre de 0.5 g/L.

Un concepto importante para tener en cuenta en seguridad operacional es el de inercia del sueño. La inercia del sueño se define como el estado de desorientación transitoria, somnolencia y degradación del desempeño que puede producirse tras despertar, por un período aproximado de hasta treinta minutos. La inercia de sueño es más prolongada e intensa si no se ha dormido el tiempo suficiente, tras despertarse del sueño profundo o al horario de mayor propensión al sueño acorde al ritmo circadiano de la persona (en la ventana de baja circadiana).

Una cuestión clave en seguridad operacional es idear y poner en práctica medidas efectivas de mitigación de riesgos de fatiga y, para poder hacerlo, es necesario tener en cuenta los principios científicos descriptos.

Algunas medidas de mitigación efectivas consistirían en limitar los tiempos de servicio o jornadas laborales o programar cronogramas de trabajo teniendo presente la necesidad de las personas de dormir lo suficiente, acorde a los requerimientos de duración de sueño y la necesidad de un sueño de calidad (no fragmentado, sin interrupciones) para lograr un efecto restaurador sobre

el organismo. Tiempos de descanso físico y mental, amén de la necesidad de dormir, también son importantes para evitar el desequilibrio entre las exigencias de todas las actividades de vigilia y la capacidad de recuperación de dichas exigencias. No es factible que la persona pueda forzarse a dormir en cualquier momento, y es una cuestión que ha de tenerse presente al momento de diagramar cronogramas de trabajo. Hay que considerar la importancia de pausas en aquellas tareas que demanden atención constante. Una siesta controlada en período de servicio, como medida de mitigación de riesgos, debería contemplar la posibilidad de la inercia del sueño, la cual podría reducirse considerando un tiempo máximo establecido de siesta y un protocolo de retorno al servicio activo que permita un lapso suficiente como para superar ese fenómeno. Y si un período de servicio comienza a horas avanzadas del día (turno noche, por ejemplo), tomarse una siesta antes de comenzar el turno contribuirá a reducir el período de vigilia y a mantener el desempeño y la atención durante el trabajo. El lugar de descanso entre servicios y en las pausas operativas es un factor relevante para tener en cuenta.

Las recomendaciones de higiene del sueño que se exponen a continuación tienen la finalidad de facilitar un sueño reparador.

- Evitar consumir sustancias excitantes como alcohol, café o tabaco, sobre todo en las últimas horas del día (al menos cuatro horas antes de acostarse).
- No ingerir bebidas alcohólicas con la intención de que sea una ayuda para dormir.
- Realizar ejercicio a diario, pero evitando hacerlo a últimas horas del día porque podría tener un efecto activador.
- Evitar siestas largas y ya avanzada la tarde.
- Tener en cuenta que hay medicamentos que pueden dificultar el sueño (como por ejemplo algunos descongestivos de venta libre).
- Realizar cenas ligeras y esperar para acostarse entre una a dos horas después de ingerir alimentos.
- Procurar mantener horarios y rutinas regulares. Si una vez en la cama no se consigue conciliar el sueño en treinta minutos, levantarse y cambiar de lugar para conseguir relajarse, hasta sentir somnolencia y recién acostarse nuevamente.
- Aplicar técnicas de relajación.
- Evitar la exposición a la luz brillante al anochecer.

Que el dormitorio sea para dormir, evitando otras actividades como el uso de pantallas, por ejemplo.

- Generar un ambiente silencioso y confortable para el descanso, que sea oscuro, tranquilo (puede ser de utilidad permitir un ruido blanco como el del ventilador funcionando), con temperatura controlada (preferentemente fresca) y con una superficie cómoda para recostarse.
- Además de pensar medidas de mitigación de riesgo orientadas a las personas que operan en las diferentes actividades vinculadas al sistema de transporte (operadores de primera línea) deberá pensarse en medidas dirigidas al entorno laboral, a nivel organizacional, como por ejemplo, sistemas de notificación y reporte de fatiga, presencia de personal suficiente, condiciones laborales adecuadas, reglamentos, entrenamiento y capacitaciones en sistemas de gestión de riesgos. Asimismo, se deberá apuntar a estamentos más altos con el fin de lograr verdaderos cambios en la prevención de futuros sucesos.

Como conclusión, se puede afirmar que es necesario un abordaje integral y multidisciplinario de esta temática con la finalidad de identificar y mitigar los riesgos asociados a este factor tan complejo y difícil de medir como es la fatiga y su influencia en la incidencia de sucesos de seguridad operacional. Controlar la fatiga es responsabilidad de todos los miembros que conforman el sistema.



Referencias bibliográficas

Dawson, D. y Reid, K. (1997). Fatigue, alcohol, and performance impairment. *Nature*, 388, 235).

Endsley, M. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness, en *Dynamic Systems. Human factors*. 37(1).

Global Council on Brain Health (2016). The Brain-Sleep Connection: GCBH Recommendations on Sleep and Brain Health.

Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S.M., Alessi, C., Bruni, O., Don Carlos, L., Hazen, N., Herman, J., Katz, E.S., Kheirandish-Gozal, L., Neubauer, D.N., O'Donnell, A.E., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R.C., Setters, B., Vitiello, M.V., Ware, J.C. y Adams Hillard, P.J. (2015). National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. *Sleep Health*.

IATA Training. (2018).

Jerman, A., Meško, M. (2018). How to Measure Fatigue Among Pilots? *Zbornik Veleučilišta u Rijeci*. 6 (1), 13-22.

Jiménez-Genchi, A. (2022). Conferencia "Neurobiología y fisiología del sueño". Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente.

Krystal, A. (2022) Comprender el sueño y su rol en la salud y la seguridad. *Medscape education global*. <http://www.medscape.org/symposium/sleep-health-spanish>

Lopez Camelo, A. y Muro, M. (2013). Sueño y fatiga. Limitaciones humanas y riesgo en pilotos de líneas aéreas. IV Congreso de la Red Iberoamericana de investigación en transporte aéreo.

Mayer, G., Hajak, G., Scammell, T. (2022). ¿Cuán importante es la arquitectura del sueño para la calidad del sueño? *Medscape education global*.

Milliar, M. (2012). Measuring Fatigue. ICAO / IATA / IFALPA Asia-Pacific FRMS Seminar Bangkok.

OACI. (2016). Doc.9966. 2da Ed.

Rubio-Sánchez, P. (2003). Métodos de evaluación de la excesiva somnolencia diurna. *Revista Vigilia-Sueño*. 15 (2).

Ríos-Flórez, J., López-Gutiérrez, C. y Escudero-Corrales, C. (2019). Cronobiología del sueño y su influencia en la función cerebral. *Cuadernos de neuropsicología. Panamerican Journal of Neuropsychology*. 13 (1), 12-33.

Salazar, M.D. (2018). *Fatiga en aviación*. FAA Civil Aerospace Medical Institute.

Serrano, O. y Correa, U. (2020). *Manual de trastornos del sueño*. UNAM.

Signal, T.L., Gale, J. y Gander, P.H. (2005). Sleep Measurement in Flight Crew, Comparing Actigraphic and Subjective Estimates of sleep with Polysomnography. *Aviation Space and Environmental Medicine* 76(11),1058-1063.

Tan, X., van Egmond, L., Cedernaes, J. y Benedict, C. (2020). The role of exercise-induced peripheral factors in sleep regulation. *Molecular Metabolism* 42(2).

Somos la JST y tu reporte nos ayuda.

La Junta de Seguridad en el Transporte (JST) es un organismo del Estado dedicado a investigar accidentes en el transporte con el fin de emitir recomendaciones para promover la cultura de seguridad y salvar vidas.

Abrimos este canal para que puedas comunicarte con nosotros:



11 2161 3661

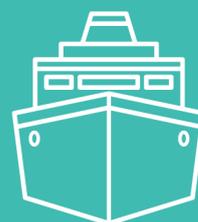
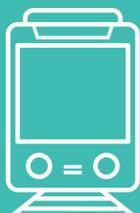


0800 333 0689



notificaciones@jst.gob.ar

Si ves un accidente en el transporte de pasajeros o de cargas, sacá una foto, contanos que pasó y dónde. Gracias a tu reporte podemos investigar el accidente y prevenir futuros sucesos de este tipo.



Sumate a la comunidad JST, entre todos podemos hacer un transporte más seguro.

www.argentina.gob.ar/jst



Contamos con usted para mejorar la prevención

JST | SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE



Secretaría de Transporte
Ministerio de Economía



Erik Hollnagel, Ph. D.
Licenciado en Psicología,
profesor emérito en la
Universidad de Linköping
(Suecia), Mines Paristech
(Francia) Universidad
del Sur de Dinamarca
(Dinamarca), y profesor
invitado en la Universidad
Macquarie (Australia).

Recibido: 23/04/23
Aceptado: 17/05/23

NUEVOS ENFOQUES EN SEGURIDAD OPERACIONAL

Seguridad y aprendizaje desde la perspectiva de la Seguridad II

El debate en torno a la seguridad operacional asistió a una serie de transformaciones recientemente. La necesidad del aprendizaje es clara, pero la pregunta que subyace de fondo es: ¿qué debemos aprender y por qué? El pasaje que va desde el paradigma de la Seguridad I hasta el de la Seguridad II da cuenta de los nuevos ejes temáticos sobre los que gira la problemática: aprendizaje de evitación vs. aprendizaje de habilidades y trabajo imaginado vs. trabajo real.

Resiliencia y fallo

El enfoque de la seguridad y su gestión han experimentado un cambio en los últimos años. Se pasó de una mirada centrada en el análisis de riesgos y accidentes, y la gestión de errores y fallos para manejar la prevención y protección —lo que se conoce como la perspectiva de la Seguridad I— a un enfoque que busca comprender las capacidades potenciales de los sistemas sociotécnicos para facilitar y respaldar el trabajo productivo cotidiano —la perspectiva de la Seguridad II— (Hollnagel, 2014).

Es importante que en la comprensión de la seguridad dentro de las organizaciones es el reconocimiento de las diferencias entre el *Work-as-Imagined* (el trabajo-tal-como-se-imagina, TTI) y el *Work-as-Done* (el trabajo-tal-como-se-efectúa, TTE). El concepto de trabajo correcto e impecable¹, llevado a cabo bajo condiciones previsibles y estables, pertenece al TTI; mientras que el TTE refiere a lo que realmente sucede, es decir, se trata de un paradigma que reconoce que las personas en contextos diferentes, en todos los niveles de una organización, desde la primera línea en el terreno, hasta el punto más alto en la sala de juntas o la oficina de un gerente, siempre tienen que ajustar lo que se planificó a las circunstancias reales, que rara vez coinciden exactamente con la visión idealizada del trabajo². El trabajo imaginado asume que, si se cumplen rigurosamente los procedimientos estándar correctos siguiendo hasta el mínimo detalle, la seguridad devendrá como una consecuencia natural. Mientras que el TTE, por su parte, reconoce cómo las personas en todos los niveles de una organización aprenden a crear seguridad en su trabajo, a través del rendimiento; ajustes que no solo son deseables, sino esenciales³. Los aspectos positivos de los sistemas sociotécnicos complejos que permiten buenos resultados en presencia de diferentes condiciones favorables y desfavorables, esperadas e inesperadas, cambios y oportunidades, pertenecen al enfoque de la ingeniería de resiliencia y la Seguridad II.

1. "Correcto e impecable" porque cumple con estándares que se supone que son completos y correctos. Esto representa, de hecho, otra compensación Eficacia-Minuciosidad -traducción usada en el libro de Barreras y prevención de accidentes- las normas ETTO (Hollnagel, 2009). Se piensa que, porque otros, presumiblemente, han sido rigurosos al preparar los estándares, ¿si no por qué serían estándares? Entonces, pueden usarse eficientemente tal como están, el talón de Aquiles de este razonamiento es la inevitable diferencia entre el Trabajo-tal-como-se-Imagina, es decir, la situación asumida por las personas que desarrollaron el estándar, y el Trabajo-tal-como-se-Efectúa, es decir, la situación real en la que se debe aplicar el estándar. Es por eso que insistir en un cumplimiento estricto es una idea terrible y contraproducente.

2. Esto se debe a las limitaciones de la imaginación (Adamski y Westrum, 2003). La diferencia entre lo que imaginamos y lo que puede suceder en la práctica siempre es mayor de lo que podemos pensar. La imaginación necesaria es un derivado de la variedad necesaria, como se describe en otros lugares en esta nota.

3. Todos los sistemas vivos, incluidos los humanos, aprenden naturalmente de lo que sale bien y tratan de aplicarlo cuando reconocen una situación similar en el futuro, aunque ocasionalmente eso puede llevarlos por mal camino

La necesidad del aprendizaje

El aprendizaje es necesario para un organismo o sistema, ya que permite cierta variedad o variabilidad en las respuestas. Si el entorno es perfectamente predecible y, por lo tanto, estable, las mismas cosas ocurrirán repetidamente, y si es perfectamente predecible, es posible preparar respuestas para todos los eventos y situaciones posibles, ya que su número será fijo y limitado. Estas preparaciones pueden hacerse de manera intencional, tal como en el diseño de un sistema, por ejemplo, con los procedimientos de operación de emergencia en centrales nucleares y otras instalaciones críticas para la seguridad; o bien pueden ocurrir de manera evolutiva si los cambios en las condiciones de operación son infrecuentes y limitados, como las transformaciones estacionales en el clima.

Vale subrayar nuevamente que el aprendizaje es necesario porque, si las respuestas no pueden ajustarse o mejorar para adaptarse a las condiciones cambiantes, inevitablemente habrá situaciones en las que una respuesta no esté disponible, lo que significa que una situación o desarrollo puede salirse de control. Los cambios son necesarios no solo en las respuestas, sino también en el conjunto de condiciones, señales, indicadores o patrones que pueden detectarse y reconocerse. Esto da cuenta del potencial que tiene el monitoreo. Si algo sucede inesperadamente, no solo es una sorpresa, sino que, aunque haya una respuesta planificada —que en el peor de los casos podría ser genérica, como huir o retirarse—, cabe la posibilidad de que esta no se logre llevar a cabo debido a falta de recursos, materiales o personal para afrontar dicha situación. Por ejemplo, las dificultades que se generaron durante la evacuación de incendios forestales en Rhodes, en 2023. En la práctica, simplemente no es posible ni asequible estar constantemente preparado para responder a todo de inmediato. Las sociedades proporcionan innumerables ejemplos de ello, como los tiempos mínimos de espera para una brigada de bomberos, una ambulancia, el tratamiento para una enfermedad diagnosticada como el cáncer, e incluso las demoras en la respuesta del servicio de atención al cliente, o la asistencia de un empleado de ventas en una tienda, sin mencionar a un camarero en un restaurante.

Razones para el aprendizaje

La Seguridad-I define a la seguridad como un estado en el que se falla lo menos posible. Por lo tanto, siempre que algo haya fallado, corremos a la conclusión incorrecta de que necesitamos aprender de ello para asegurarnos de que no vuelva a ocurrir. En contraste con eso, la Seguridad-II define la seguridad como un estado en el que todo va lo mejor posible, operaciones diarias. La Seguridad-II se enfoca en operaciones de cada día donde se tiene que variar para continuar el

trabajo. Esto conduce a la conclusión opuesta, a saber, que cuando algo ha salido bien debemos aprender de ello para asegurarnos de que también salga bien en el futuro. El argumento subyacente es que, en el mundo macroscópico, un evento o actividad no puede salir bien y fallar al mismo tiempo (teóricamente, esto puede suceder en un mundo cuántico, pero pocas industrias operan allí). El resultado de un evento puede ser juzgado desde diferentes perspectivas, pero generalmente estas no se contraponen completamente⁴. Por lo tanto, es esencial hacer la pregunta sobre qué necesitamos aprender y por qué aprender de las operaciones diarias.

“Cuando algo sale mal, prestamos atención de manera incondicional, porque se destaca como algo inusual. Y debido a esto, concluimos erróneamente que no lo entendemos.



El aprendizaje es uno de los cuatro potenciales del rendimiento resiliente (Hollnagel, Licu y Leonhardt, 2021): aprender (de los hechos y la experiencia, conocer el pasado), responder (desempeño actual), monitorear (lo crítico, interna y externo) y anticipar (investigando lo que puede pasar en el futuro inmediato). La esencia del aprendizaje es la mejora o el cambio⁵, ya que se basa en cómo responde un sistema sociotécnico complejo, cómo se monitorea y cómo se anticipa. El aprendizaje es una forma en que es posible mejorar las respuestas de un sistema basándose en su funcionamiento actual. Si un sistema siempre presta atención a las mismas señales, indicadores o tendencias, y siempre responde de la misma manera a lo que sucede, eventualmente no funcionará a cambios inesperados o que no se pueden identificar. Esto puede ocurrir lentamente y a lo largo de un prolongado período de tiempo, como en la teoría de la evolución. Pero en la sociedad compleja actual, donde los cambios en las condiciones, los recursos y las demandas son rápidos, el aprendizaje debe ser igualmente rápido para ser efectivo y variable. La presentación de informes aún puede ser un preludio para el aprendizaje, pero los informes deben analizar lo que funciona bien, en vez de examinar aquello que falla. En otras palabras, el aprendizaje debe basarse en las operaciones y las variaciones diarias necesarias para

4. “Cuando algo sale mal, generalmente hay algunas consecuencias manifiestas, como la pérdida de productividad, que todos estarán de acuerdo en que son indeseables. La excepción puede ser la política, donde los hechos no siempre desempeñan un papel importante.

5. El cambio es necesario porque las condiciones de operación, las demandas y los recursos nunca son constantes, si no es por ninguna otra razón que el entorno operativo está compuesto por otros sistemas y organizaciones que también aprenden.

el funcionamiento continuo, en lugar de en los fallos y accidentes.

Sin embargo, los informes en sí suelen ser excepcionales en lugar de una rutina diaria. Por lo tanto, estos informes no sirven adecuadamente para el aprendizaje. La solución simple es eliminar los informes como la etapa previa para el aprendizaje, que debería ser más que un aprendizaje de evitación. En su lugar, deberíamos involucrarnos en el aprendizaje directamente de todas las operaciones diarias aprendiendo el por qué del buen funcionamiento, lo que tendría consecuencias significativas. Hoy en día, aprendemos principalmente de lo que ha salido mal, porque el aprendizaje se desencadena por la presentación de informes de lo que ha salido mal; esto también es conocido como el dogma de Heinrich. No obstante, los informes deberían ser guiados por la necesidad de aprender y aumentar la comprensión del funcionamiento del sistema sociotécnico en su contexto de operación. Hacer la pregunta sobre por qué el sistema funcionó bien pone en otra perspectiva para el aprendizaje. Convencionalmente, aprendemos de lo que es la excepción en lugar de la regla. Por el contrario, en vez de propiciar que los informes se limiten a lo que ha salido mal o ha fallado, se debería poner el foco en lo que se necesita aprender. Los informes deben servir al propósito del aprendizaje, pero el aprendizaje no debe ser simplemente un apéndice de los informes.

La hipótesis de diferentes causas

Cuando algo sale mal, prestamos atención de manera incondicional, porque destaca como algo inusual⁶. Y debido a esto, concluimos erróneamente que no lo entendemos (o que no hemos sido capaces de controlarlo)⁷. Sabemos que no lo entendemos ni controlamos⁸. Porque si lo hubiéramos entendido —y la comprensión es un requisito previo para el control—, entonces no habría salido mal.

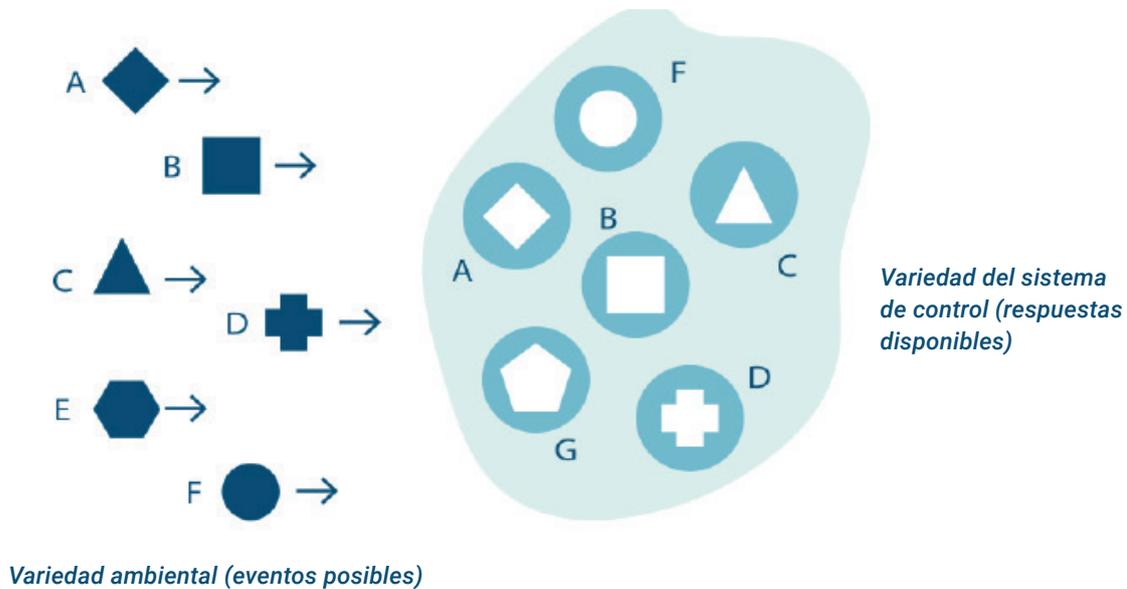
Cuando algo sale bien, cuando funciona, solo prestamos una atención limitada, si es que lo notamos en absoluto. Esto concuerda con el principio conocido como ETTO (por sus siglas en inglés), compensación eficacia-minuciosidad. (Hollnagel, 2009). Cuando algo

6. Un evento que sale mal, y por lo tanto resulta en un resultado adverso, se ve como una señal (fuerte) en contraposición al fondo de “ruido” o “señales débiles” proporcionado por los eventos dinámicos que constituyen el trabajo cotidiano. Pero esto es un error, porque la señal importante en realidad se encuentra en las características del “ruido de fondo” en la variabilidad de las operaciones cotidianas que simplemente ocurren como deberían y, de esa manera, proporcionan la base para la productividad continua, la existencia del sistema y su capacidad para sobrevivir.

7. De acuerdo con la Ley de la variedad necesaria, no podemos controlar algo a menos que también lo entendamos.

8. Cuando algo sale bien, también concluimos incorrectamente que es porque lo entendemos y nos halagamos a nosotros mismos creyendo que hemos podido controlarlo.

Figura 1. La Ley de la variedad necesaria



sucede como debería, generalmente lo ignoramos y se clasifica técnicamente como un evento dinámico no significativo (Weick, 1987). Debido a que ocurrió como esperábamos, pensamos que lo entendemos y creemos que sucedió como se esperaba porque lo controlamos efectivamente. Por lo tanto, rara vez nos preocupamos por lo que simplemente funciona como debería. Y cuando sucede algo inesperado, pero ventajoso, simplemente nos sentimos afortunados⁹. El trabajo que sale bien generalmente se ve como una confirmación de nuestra suposición general de que entendemos lo que está ocurriendo. Y, porque confirma una hipótesis comúnmente compartida, no se considera que valga la pena el esfuerzo de estudiarlo en detalle.

Debido a estas diferencias, asumimos que las cosas que salen mal ocurren por diferentes razones (y causas) que las que salen bien. Esto lleva al siguiente razonamiento: las cosas salen bien porque las entendemos, y las cosas salen mal porque no las entendemos. Las causas de estos resultados tan diversos deben, siguiendo esta línea de pensamiento, ser diferentes, tal como propone el dogma de Heinrich¹⁰. Pero esta conclusión o inferencia a la que llegamos es inválida. Si suspendemos la suposición de que entendemos las

cosas que salen bien, no podemos mantener la hipótesis de diferentes causas. Entonces, existirán importantes consecuencias para la seguridad y la gestión de la seguridad.

La ley de la variedad requerida

Para gestionar una organización, es necesario entender cómo funciona; entender por qué las cosas suceden de la manera en que lo hacen, especialmente debido a cambios e intervenciones deliberadas. Además de ser un sentido común sólido, la necesidad de entender cómo funciona algo es también "una de las leyes fundamentales de la cibernética" (Beer, 1966: 279). Se formuló en la cibernética en la década de 1940 y 1950 (Ashby, 1956) y se conoce como la Ley de la Variedad Necesaria. La ley establece simplemente que la variedad de los resultados (de un sistema o un proceso) solo puede disminuir aumentando la variedad en el controlador de ese sistema. Otra forma de expresarlo es el Teorema del Buen Regulador, que establece que "cada buen regulador de un sistema debe ser un modelo de ese sistema" (Conant y Ashby, 1970)¹¹. En otras palabras, si algo sucede en un sistema que no puede

9. O tal vez lo atribuimos a la serendipia (cf. Merton y Barber, 2011).

10. El dogma de Heinrich se describe en el primer libro sobre prevención de accidentes industriales (Heinrich, 1931, p. 101). Establece que "se acepta ampliamente como cierto que 'la cura de una condición problemática dada depende principalmente del conocimiento de su causa y la eliminación, o al menos la mitigación, de esa causa'". Pero siempre se debe tener cuidado con las verdades ampliamente aceptadas. El dogma oculta tres suposiciones críticamente importantes: primero, que siempre se puede atribuir un resultado a una causa específica (la ley de causalidad); segundo, que es posible encontrar o determinar cuál es esa causa (si se recopilan

suficientes datos y se hacen suficientes esfuerzos); y tercero, que la eliminación de la causa prevendrá efectivamente que el resultado ocurra de nuevo. El dogma, por lo tanto, se basa en los principios de la causalidad lineal simple, específicamente que es posible razonar hacia atrás desde el efecto final hasta la causa inicial o raíz. Si bien esto puede haber sido ampliamente aceptado y sin críticas en 1931, y posiblemente incluso adecuado para los entornos laborales simples que existían entonces, de ninguna manera es razonable o aceptable hoy en día. Es difícilmente necesario señalar que los entornos laborales industriales de 1931 tienen poco parecido con los complejos sistemas sociotécnicos de hoy.

11. En realidad, sería más correcto decir que el regulador debe tener acceso o ser capaz de referirse a un modelo adecuado del sistema y de cómo funciona.

Figura 2. Un modelo simplificado de la presentación de informes como condición previa para el aprendizaje



ser reconocido por la gestión del sistema, o para lo cual la gestión no puede proporcionar una respuesta, entonces inevitablemente se perderá el control. Las sociedades modernas, desafortunadamente, pueden proporcionar casi innumerables ejemplos de eso. La esencia de esta ley se ilustra en la Figura 1, donde se utilizan íconos para mostrar la correspondencia (imperfecta) entre la variedad ambiental y la variedad del sistema de control. En este ejemplo, no hay respuesta si "E" sucede.

"En otras palabras, el aprendizaje debe basarse en las operaciones y las variaciones diarias necesarias para el funcionamiento continuo, en lugar de en los fallos y accidentes."



Para mejorar la seguridad y la productividad, necesitamos cambiar el enfoque y comenzar por aprender, en lugar de centrarnos en informar. Las preguntas son: ¿Por qué el sistema complejo funciona cada día? Teniendo en cuenta cambios, discrepancias y oportunidades: ¿cuáles son las condiciones que facilitan su desempeño resiliente en condiciones esperadas e inesperadas?¹² Estas preguntas ayudan a entender el comportamiento del sistema complejo donde hay muchas incertidumbres y no se pueden saber todos los detalles del sistema.

El aprendizaje debe estar impulsado por metas futuras y objetivos a largo plazo, en lugar de centrarse en errores del pasado. La Seguridad II propone un aprendizaje de cómo se facilita una buena operación diaria, en lugar de aprendizaje de evitación.



Referencias bibliográficas

- Adamski, A., & Westrum, R. (2004). Requisite imagination. The fine art of anticipating what might go wrong. E. Hollnagel (Ed.) *Handbook of cognitive task design*, 193-220. Boca Ratón, FL: CRC Press.
- Ashby, W. R. (1956). *An introduction to cybernetics*. Londres: Chapman & Hall, Ltd.
- Beer, S. (1966). *Decision & control*. Londres: Wiley.
- Conant, R. C. y Ashby, W. R. (1970). Every good regulator of a system must be a model of that system. *International Journal of Systems Science*, 1(2), 89-97.
- Heinrich, H. W. (1931). *Industrial Accident Prevention*. Nueva York: Serie de Seguros McGraw-Hill.
- Hollnagel, E. (2009). *The ETTO principle: Why things that go right sometimes go wrong*. Farnham, UK: Ashgate.
- Farnham, Reino Unido: Ashgate. Hollnagel, E., Licu, A. y Leonhardt, J. (2021). *The Systemic Potentials Management: Building a Basis for Resilient Performance. A White paper*. Bruselas, Bélgica: Eurocontrol. Disponible de forma gratuita en: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/systemic-potentials-management-building-basis-resilient-performanc> e.
- Merton, R. K. y Barber, E. (2011). *The travels and adventures of serendipity: A study in sociological semantics and the sociology of science*. Princeton University Press.
- Weick, K. E. (1987). Organizational culture as a source of high reliability. *California Management Review*, 29 (2), 112-128.

¹². Esto es en realidad una paráfrasis de la definición de resiliencia, por lo que la pregunta podría ser: "¿qué necesitamos aprender para garantizar un desempeño resiliente?"

Sobre nosotros

El Centro de Capacitación de la Junta de Seguridad en el Transporte tiene como misión la enseñanza y formación de competencias profesionales y conocimientos en Investigación y Seguridad Operacional, a través de la implementación de programas educativos teórico-prácticos destinados a los distintos actores que se desempeñan en el ámbito del transporte así como también a quienes deseen incursionar en él.

Desde el CECAP fomentamos la actualización y el desarrollo de los conocimientos y saberes transversales y específicos del universo de la seguridad en el transporte. Contamos con propuestas formativas abiertas a la comunidad en los modos de transporte aeronáutico, automotor, ferroviario, y marítimo, fluvial y lacustre, así como en temáticas con perspectiva multimodal, de seguridad medio ambiental, y de género.



Además, ampliamos y fortalecemos redes colaborativas con instituciones educativas, y por esto se impulsan distintas certificaciones y diplomaturas, en conjunto con universidades e instituciones educativas de gran trayectoria y reconocimiento, como la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

En los seminarios internacionales organizados desde el CECAP asisten participantes de Uruguay, Chile, Bolivia, Colombia, Perú, Venezuela, Panamá, República Dominicana, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Bahamas, México, Estados Unidos, Canadá, España, Inglaterra, Emiratos Árabes, Ghana y Japón, entre otros.



MÁS INFORMACIÓN EN:

cecap.jst.gob.ar

SEGUINOS EN NUESTRAS REDES SOCIALES:

 [instagram.com/cecap_jst](https://www.instagram.com/cecap_jst)

 [facebook.com/cecapjst](https://www.facebook.com/cecapjst)

 [linkedin.com/company/cecap-jst](https://www.linkedin.com/company/cecap-jst)

 twitter.com/cecap_jst



Ricardo Jugo

Piloto de aviación general.
Analista de sistemas.
Técnico aeronáutico.

María Rosa del Lujan Actis

Controladora de tránsito aéreo. Inspectora de navegación aérea.
Docente del Cipe.
Especialista en seguridad operacional.

Carlos Mario Carbonel

Ingeniero aeronáutico.
Analista de seguridad operacional.

Recibido: 05/03/23
Aceptado: 16/04/23

CONSIDERACIONES PARA PILOTOS Y CONTROLADORES AÉREOS

Importancia del uso del idioma inglés en las comunicaciones

Se debe promover una comunicación asertiva en todas las etapas del vuelo, aplicando los estándares de seguridad para dicha operación, destinada principalmente a pilotos y a controladores aéreos que realizan comunicaciones aeronáuticas en idioma inglés.

El dominio del lenguaje es un elemento esencial de la comunicación. Si la comunicación es exitosa, la representación que se hará el oyente del sentido o significado del enunciado se corresponderá con aquello que el hablante pretendió comunicar. Los errores en la recepción (comprensión) como en la producción (enunciación) son el resultado del incumplimiento de una norma del sistema o subsistema lingüístico utilizado. Puede tratarse de errores puntuales (circunscritos a un elemento del lenguaje) o generales (que afectan al sentido de todo el mensaje).

En la vida diaria se producen fallas de comunicación, pero sus consecuencias no van más allá de un momento de incomodidad, irritación o pérdida de tiempo. En las comunicaciones radiales aeronáuticas, los errores en la comunicación pueden desatar consecuencias graves.

Normativa

En respuesta a una serie de accidentes e incidentes cuyas causas, directas o indirectas, se atribuyeron a falencias de comunicación lingüística de los pilotos y los controladores aéreos, en 1998 la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) dispuso tomar medidas que garantizaran que, en todas las operaciones de vuelo en el espacio aéreo donde las comunicaciones debieran realizarse en inglés, el personal de control del tránsito aéreo y las tripulaciones de vuelo estuvieran debidamente capacitados para formular y comprender mensajes radiotelefónicos en ese idioma.

En esta iniciativa, también contribuyó el aporte de los especialistas en enseñanza y evaluación, quienes desde el ámbito académico y profesional elaboraron programas, materiales didácticos y servicios de evaluación para atender a los requisitos de competencia lingüística de la OACI.

Niveles de inglés operacional clasificados por OACI

Los seis niveles de inglés operacional clasificados por OACI corresponden a las habilidades que un piloto posee de acuerdo con su dominio del inglés en contextos aeronáuticos. Para medirlas, se emplean seis descriptores holísticos, los cuales, en su conjunto, garantizan que el hablante domina un idioma. Estos descriptores son:

- Interacción
- Pronunciación
- Estructura gramatical
- Vocabulario
- Comprensión
- Fluidez

A continuación, se expone un resumen tomado del documento 9835.



Nivel 1 – Pre-elemental	Desempeño de nivel inferior al elemental en cada uno de los descriptores holísticos.
Nivel 2 – Elemental	<p>La pronunciación tiene la influencia de la lengua primaria y generalmente interfiere en la facilidad de comprensión.</p> <p>Demuestra un dominio limitado de unas pocas estructuras y de frases sencillas, aprendidas de memoria.</p> <p>Vocabulario limitado únicamente a palabras aisladas o a frases memorizadas.</p> <p>Se expresa con frases cortas, aisladas y aprendidas de memoria, con pausas frecuentes y usando palabras superfluas que pueden prestarse a confusión.</p> <p>La comprensión se limita a frases aisladas, aprendidas de memoria, cuando son articuladas cuidadosa y lentamente.</p> <p>Responde lentamente y a menudo lo hace de forma inapropiada. Su interacción se limita a intercambios de rutina sencillos.</p>
NIVEL 3 – Pre-Operacional	<p>La pronunciación tiene la influencia de la lengua primaria y con frecuencia interfiere en la facilidad de comprensión.</p> <p>No siempre domina bien las estructuras gramaticales básicas y las estructuras de frases relacionadas con situaciones previsibles.</p> <p>El vocabulario es por lo general adecuado para comunicarse sobre temas comunes, pero la gama es limitada y la selección de términos por lo general es inapropiada.</p> <p>Se expresa con frases largas, pero con pausas que, por lo general, son inapropiadas.</p> <p>Comprende con relativa exactitud temas comunes cuando el acento usado es lo suficiente inteligible para una comunidad internacional de usuarios.</p> <p>Se le dificultan las respuestas inmediatas, apropiadas e informativas. Puede iniciar y sostener intercambios verbales con cierta facilidad sobre temas familiares y situaciones previsibles.</p>
NIVEL 4 – Operacional	<p>La pronunciación tiene la influencia de la lengua primaria, pero solo en ocasiones interfiere en la facilidad de comprensión.</p> <p>Usa estructuras básicas y las estructuras de frases en forma creativa. Comete errores especialmente en circunstancias no rutinarias o imprevistas.</p> <p>El vocabulario es por lo general suficiente para comunicarse eficazmente sobre temas comunes, aunque carece del vocabulario para desenvolverse en circunstancias extraordinarias o imprevistas.</p> <p>Se expresa con frases largas a un ritmo apropiado. Puede perder fluidez ocasionalmente durante la transición de un discurso practicado y otro formulado en una interacción espontánea, pero sin impedir una comunicación eficaz.</p> <p>Comprende con bastante exactitud temas comunes cuando el acento es inteligible para la comunidad internacional de usuarios.</p> <p>Por lo general, las respuestas son inmediatas, apropiadas e informativas. Inicia y sostiene intercambios verbales aun cuando tratan sobre situaciones imprevistas.</p>

<p>NIVEL 5 – Avanzado</p>	<p>La pronunciación rara vez interfiere en la facilidad de comprensión.</p> <p>Usa estructuras básicas con buen dominio, incluso complejas, aunque puede cometer errores.</p> <p>El vocabulario es suficiente para comunicarse eficientemente sobre temas comunes.</p> <p>Se expresa con todo detalle y relativa facilidad sobre temas familiares, pero no varía la fluidez del discurso como recurso estilístico.</p> <p>Comprende con exactitud temas comunes, aun cuando enfrente complicaciones de carácter lingüístico, circunstancial o cambios imprevistos.</p> <p>Las respuestas son inmediatas, apropiadas e informativas.</p>
<p>NIVEL 6 – Experto</p>	<p>La pronunciación casi nunca interfiere en la facilidad de comprensión.</p> <p>Usa estructuras complejas con buen dominio.</p> <p>Su vocabulario es en general adecuado para comunicarse eficazmente en casi cualquier tema.</p> <p>Se expresa con todo detalle y fluidez natural y sin esfuerzo.</p> <p>Comprende con exactitud y de forma coherente en casi todos los contextos.</p> <p>Interactúa con facilidad en casi todas las situaciones.</p>

Air China 981 en el Aeropuerto John F. Kennedy (JFK) de Nueva York, año 2006

La secuencia

En la figura 1 podemos ver una imagen parcial del Aeropuerto John F. Kennedy (JFK), el cual cuenta entre otras, con 2 pistas paralelas, que en la imagen tienen orientación casi vertical: las RWY 04/22 izquierda y derecha (Left y Right).

El Air China 981 acababa de aterrizar en una de ellas (RWY 22R, en sentido Norte-Sur de la figura) procedente de Beijing.

La tripulación recibió instrucciones de la torre de control, de forma tal que al detenerse girara a su derecha y despejara la pista por la calle de rodaje J (*Juliett*), para luego incorporarse a la calle A (*Alpha*), que es la continuación de J y cambia de nombre por A.

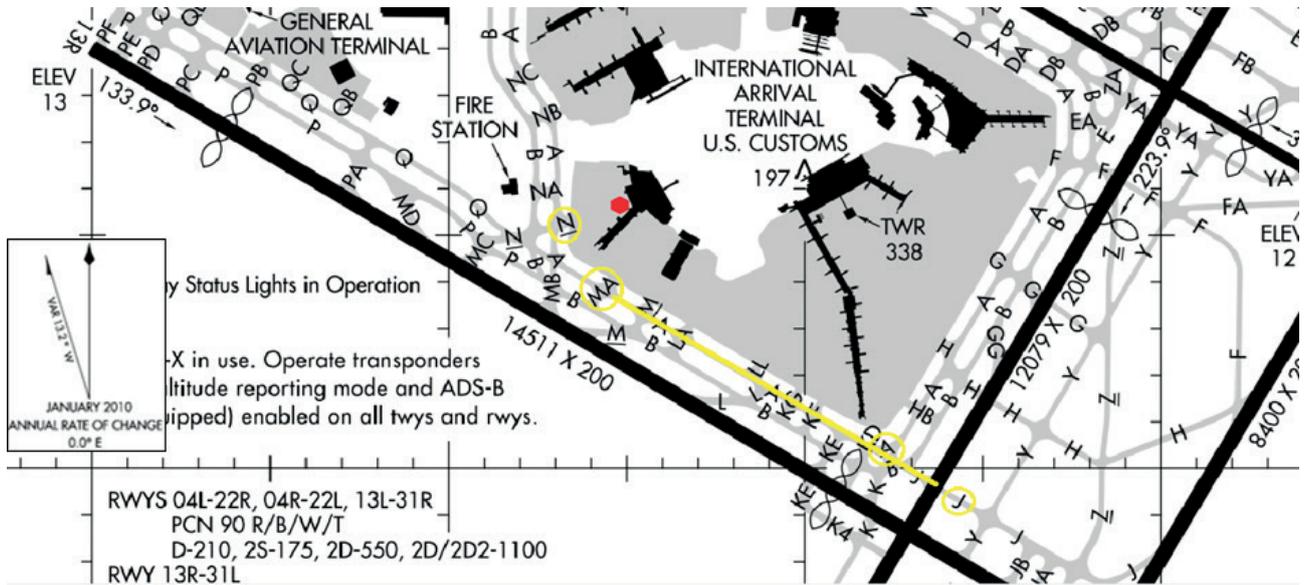
Una vez en A, debía seguir y mantener posición (*Hold Short*) en la intersección MA (*Mike Alpha*), que junto con N (*November*) eran los accesos que poseía la Terminal 1, en donde se encontraba la posición 3 (*Gate 3*). Como veremos más adelante, la tripulación debía coordinar con

el control de posiciones (*Gate Control*) a cuál de ellas debía dirigirse.

En el aeropuerto JFK, después de aterrizar, el piloto debe comunicarse con la frecuencia de rampa (mientras sigue escuchando en la frecuencia de superficie) para luego ser autorizado a una *gate* específica. Esto no está coordinado entre rampa y superficie.



Figura 1. Imagen parcial del aeropuerto JFK



Fuente: Elaboración propia sobre carta Jeppesen.

A continuación, se transcriben las conversaciones entre el operador de Torre del aeropuerto JFK en frecuencia de superficie (*Ground*) y el piloto a cargo de las comunicaciones del Air China 981.

Se incluye entre paréntesis la traducción al español de cada línea de la transcripción.

Para hacer de esta lectura una experiencia más interesante y enriquecedora, se sugiere seguir la transcripción, mientras se escucha el audio original del suceso.

Fuente: Air China 981 vs JFK ground control, Rafiq Rashdi

https://www.youtube.com/watch?v=ShdkQGGyBW-g&ab_channel=RafiqRashdi



Emisor-Receptor	Mensaje	Receptor-Emisor
TWR	"Air China 981, make the right turn here at Juliett, join Alpha, hold short of Mike Alpha." (Air China 981, gire por derecha en Juliett, incorpórese por Alpha, mantenga antes de Mike Alpha).	
	"Right at Juliett ... uhhh ... Alpha ... hold short to November ... can we taxi now?" (Por derecha en Juliett ... eehh ... Alpha ... mantenemos antes de November ... ¿podemos iniciar el rodaje ahora?).	Air China 981
TWR	"Make the right turn here at Juliett, join Alpha, hold short of Mike Alpha. Air China 981" (Gire por derecha en Juliett, incorpórese por Alpha, mantenga antes de Mike Alpha. Air China 981).	
	"Air China 981, roger join right Juliett, join Alpha, hold short to November." (Air China 981, recibido nos incorporamos por derecha en Juliett, nos incorporamos en Alpha, mantenemos antes de November).	Air China 981
TWR	"Ok, I'll say again; hold short of Mike Alpha, M-A, Mike Alpha, NOT November." (Ok, lo diré de nuevo; mantenga antes de Mike Alpha, M-A, Mike Alpha, NO November).	

Emisor-Receptor	Mensaje	Receptor-Emisor
	"Ok, hold short of Mike Alpha, 981." (Ok, mantenemos antes de Mike Alpha, 981).	Air China 981
TWR	"Air China 981, have they cleared you into the ramp?" (Air China 981, ¿lo autorizaron (el control de rampa) para ingresar a rampa?).	
	"Roger, ramp to the ... ramp, Air China 981" (Recibido, rampa ... a la rampa, Air China 981).	Air China 981
TWR	"Ok, they have cleared you into the ramp?" (Ok, ¿lo autorizaron a ingresar a rampa?).	
TWR	"Air China 981, Ground" (Air China 981, Ground).	
TWR	"Air China 981, Kennedy Ground" (Air China 981, Kennedy Ground).	
	"981, go ahead" (981, prosiga).	Air China 981
TWR	"Have you been cleared into the ramp?" (¿Ha sido autorizado a ingresar a rampa?).	
	"Ok, cleared to the ramp." (Ok, autorizado a ingresar a rampa.).	Air China 981
TWR	"No, that was a question! Have the Ramp people cleared you into de gate?" (¡No, esa fue una pregunta! ¿El personal de rampa lo ha autorizado a usted a ingresar a su posición?).	
	"Roger to the gate, Air China 981" (Recibido, vamos a la posición, Air China 981).	Air China 981
TWR	"I'll try it again, it's a question! Hold your position, this is a question! Have you been cleared into your gate?!" (Lo voy a intentar otra vez, ¡esto es una pregunta! Mantenga su posición, ¡esto es una pregunta! ¿Ha sido autorizado a ingresar a su posición?).	
	"Ok, we hold here." (Ok, nos mantenemos aquí).	Air China 981
TWR	"Ok, How about the question? Have they cleared you into the gate?!" (Ok, ¿Acerca de la pregunta? ¿Lo autorizaron a ingresar a la posición?).	
	"Uhh ... Tower ... uhh ... Ground, Air China 981, we are ... gate number 3 is open ... taxi to the northern." (Uhh ... Torre ... uhh ... Ground, Air China 981, nosotros estamos ... posición número 3 está habilitada ... rodamos hacia el norte).	Air China 981
TWR	"Air China 981, taxi to the ramp" (Air China 981, puede rodar a la rampa).	
	"Roger, taxi to the ramp." (Recibido, rodamos a la rampa).	Air China 981

Análisis de la secuencia

En aeronáutica, una comunicación clara y adecuada es vital para la seguridad de vuelo. Un mal entendido o comunicación inapropiada entre piloto y el control de tierra es un peligro de seguridad operacional que potencialmente puede tener consecuencias graves.

Cuando el controlador dice: "¿Ha sido autorizado a entrar en la rampa?", el piloto lo interpretó como afirmación y responde: "Ok, autorizado a ingresar a la rampa".

Lo mismo sucede cuando el controlador preguntó: "¿El personal de rampa lo dejó ingresar a su gate?". El piloto

se aferró a las palabras *gate* y autorizado, y respondió: "Entendido, al *gate*".

Cuando el controlador dijo "*Ok, they have cleared you into the ramp?*" ("¿Le han autorizado ingresar en la rampa?"), en realidad usa una estructura gramatical afirmativa en lugar de una interrogativa ("*Have they cleared you into de ramp?*"). Por su entonación ascendente al final, trata de convertirla en una pregunta, pero el piloto no se da cuenta de esto y la interpreta como una afirmación.

Luego, reitera la pregunta ("*Have you been cleared into the ramp?*"), esta vez bien formulada; no obstante, el piloto sigue sin comprender. Gramaticalmente, la forma de la pregunta es la voz pasiva del presente perfecto, que de acuerdo con el Doc. de la OACI 9835 (Parte IV glosario de estructuras básicas y complejas) se considera una Estructura Compleja.

¿Cómo pasó el piloto chino de "Mantener antes de *Mike Alpha*" (*hold short M-A*) a "Mantener antes de *November*" (*hold short N*)? Este es un ejemplo de "sesgo de expectativa" donde el receptor escucha lo que se espera escuchar, en lugar de lo que realmente se le transmite.

Como se mencionó anteriormente, en el aeropuerto JFK, después de aterrizar, el piloto debe comunicarse con la frecuencia de rampa (mientras sigue escuchando en la frecuencia de superficie) para luego ser autorizado a una *gate* específica. Esto no está coordinado entre rampa y superficie.

Probablemente, los pilotos habrían discutido sus procedimientos de aterrizaje y rodaje en su aproximación a JFK, y parece que esperaban y planeaban una entrada desde *taxi way N* (calle de rodaje N) a *Gate 3* de la Terminal 1, marcada en rojo en la Figura 1. Y sus mentes se prepararon para recibir instrucciones que los llevaran a ese lugar.



CONCLUSIONES

Un piloto comercial en la aviación general de la República Argentina, o inclusive un piloto privado, en el comienzo de su carrera, puede pensar que el JFK todavía está lejos y que aún no va a necesitar de un inglés operacional avanzado.

Antes de ser parte de un vuelo al JFK pueden volar a Porto Alegre, Foz do Iguazú o incluso Laguna del Sauce; sería lógico pensar que la exigencia o complejidad de los vuelos, vaya aumentando gradualmente a medida que se gana experiencia.

Pero en una situación rutinaria como podría ser la de estar saliendo de la posición 3A del Aeropuerto de San Fernando en rodaje a la cabecera, se puede inesperadamente escuchar en la frecuencia de superficie la comunicación de una aeronave extranjera que vino a hacer una evacuación sanitaria de un turista y se encuentra justo detrás solicitando prioridad para el despegue. En ese momento se debería ceder la prioridad y la posición. El entender lo solicitado permitiría anticipar las instrucciones del control y facilitar la maniobra en tierra a la aeronave extranjera, evitando contratiempos y retrasos.

De igual modo, en un vuelo al norte de Comodoro Rivadavia, haciendo una navegación para juntar horas o sumar experiencia, de pronto una aeronave extranjera podría declarar una emergencia y solicitar hacer de "puente¹" con el Control porque no logra comunicarse con él, y ud. es el único en la zona.

O al revés, ¿y si su aeronave no puede contactar al Control y tuviera que declarar una emergencia? ¿Cómo se le pide a la aeronave extranjera que haga "puente" con el Control para informar en dónde estamos o dónde vamos a realizar un aterrizaje de emergencia?

No hace falta salir de nuestro país para necesitar de un inglés operacional competente; es necesario desde el momento que nos subimos a una aeronave. Es parte de la formación profesional y debemos darle la misma importancia que le damos a conocer el avión que volamos.

1. Retransmisión de mensaje a otra estación.

IMPLEMENTACIÓN DE WELL OPERATIONS CREW RESOURCES MANAGEMENT (WOCRM) EN YPF

Well operations crew resources management (WOCRM) implementation in YPF

Percy Ryberg¹, Alejandro Covello², Claudio Salvetti³

1. Gerente de Gestión Aeronáutica YPF SA - percy.ryberg@ypf.com

2. Instructor de International Air Transport Association (IATA), Asesor JST – alejandrocovello8@gmail.com

3. Consultor en Sistemas de Gestión – claudio.l.salvetti@gmail.com

Este artículo fue premiado como mejor trabajo por el Comité Organizador y Técnico del 5^o Congreso Lationamericano y 7^{mo} Nacional de Seguridad, Salud Ocupacional y Ambiente en la Industria del Petróleo y del Gas (septiembre 2023).

Recibido: 07/04/23

Aceptado: 28/04/23

Palabras clave: factor humano, Seguridad Operacional, CRM, habilidades no técnicas, industria del gas y petróleo, industria aeronáutica

Keywords: human factors, Operational Safety, CRM, NTS, oil and gas industry, aeronautic industry

RESUMEN

Durante la década de 1970, la industria aeronáutica incorporó la estrategia de seguridad operacional de los factores humanos junto a la capacitación, el entrenamiento y la procedimentación de las habilidades no técnicas (NTS «non-technical skills») con el fin de disminuir los accidentes mayores y mejorar sus estándares de seguridad. Este conjunto de procedimientos se denominó Crew Resource Management (CRM). El objetivo de este trabajo es exponer sintéticamente el origen de la estrategia de los factores humanos y el CRM en la aviación; recorrer su implementación en la industria del gas y el petróleo a partir de los documentos 501 y 502 de la IOGP; y finalmente, presentar la iniciativa WOCRM llevada a cabo en YPF.

ABSTRACT

During the 1970s, the aviation industry incorporated the human factors safety strategy along with training, coaching and procedureing of non-technical skills (NTS) in order to reduce major accidents and improve its safety standards. This set of procedures was named Crew Resource Management (CRM). The aim of this paper is to synthetically expose the origin of the human factors strategy and CRM in aviation; to go through its implementation in the oil and gas industry from IOGP documents 501 and 502; and, finally, to present the WOCRM initiative carried out in YPF.

INTRODUCCIÓN

La importancia de las habilidades no técnicas (NTS «non-technical skills») ha sido reconocida inicialmente por las industrias de alto riesgo, particularmente la aviación. Durante la década de 1970, la industria aeronáutica incorporó la estrategia de seguridad operacional de los factores humanos (FFHH) junto a la capacitación, el entrenamiento y la procedimentación de las habilidades no técnicas, a través del gerenciamiento de los recursos de la tripulación/equipo. Este procedimiento se denominó Crew Resource Management (CRM).

En 1974, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos (NASA) realizó investigaciones sobre la frecuencia y el tipo de errores en simuladores de vuelo, como así también sobre dificultades en el área de la comunicación y otros conflictos relacionados con la fatiga en las operaciones. Hacia el final de la década, continuó con estudios sobre la gestión en el puesto de mando (Resource Management on the Flightdeck), cuyas conclusiones más importantes señalaban que los accidentes aéreos eran ocasionados principalmente por problemas en la comunicación, procesos erróneos de toma de decisiones y fallas en el liderazgo. El desarrollo de FFHH y CRM en la industria aeronáutica hoy se encuentra en su sexta generación y, junto con otras estrategias de seguridad, le permitió alcanzar el estándar de industria ultrasegura. A partir de los resultados obtenidos en la aviación, otras industrias siguieron sus pasos.

La industria del gas y el petróleo también identificó la importancia de las habilidades no técnicas para la seguridad y eficiencia en las industrias de alto riesgo. Por ello, la International Association of Oil & Gas Producers (IOGP)

reconoció que la industria de exploración y producción de petróleo y gas no le prestó la misma atención a la capacitación en habilidades cognitivas del factor humano, sino hasta después de evaluar las catástrofes de los pozos Macondo y Montara (IOGP, 2014). Si bien esta industria había desarrollado oportunamente algunos programas relacionados con la seguridad basada en el comportamiento (BBS «*Behavior Based Safety*»), no abordó de manera sistemática el problema de las competencias no técnicas. Por ello, y con el objetivo de una mejora estructural en la seguridad y la eficiencia de los equipos que realizan perforaciones, terminaciones e intervenciones en todo tipo de pozos, la IOGP elaboró dos documentos: el *Report 501 - Crew Resource Management for Well Operations teams* (WOCRМ) y el *Report 502 - Guidelines for implementing Crew Resource Management for Well Operations*.

En línea con las experiencias en otras industrias, y tomando como base las recomendaciones de la IOGP, YPF comenzó un programa de capacitación y entrenamiento, cuyo propósito es introducir a la organización en los lineamientos del WOCRМ como parte del proceso de implementación del CRM en la industria del petróleo y el gas.

1. Desarrollo

1.1 Factores humanos y CRM en la industria aeronáutica. El origen del CRM

Antes de adentrarse en el WOCRМ y su implementación en la industria del gas y el petróleo, es necesario un recorrido histórico y descriptivo del nacimiento de los FFHH y el entrenamiento en CRM en la industria aeronáutica.

La aviación incorporó los FFHH a la estrategia de la seguridad operacional con el fin de ampliar la explicación de los accidentes y eventos no deseados más allá del comportamiento de los operadores. Esta mirada sostiene que las tecnologías y sistemas en las aeronaves influyen en el comportamiento del operador de primera línea. Por ello, tecnologías y sistemas se diseñan no solo para resistir o tolerar las acciones no deseadas de los individuos, sino también para que el diseño no induzca a errores. De esta manera, las tecnologías y diseños se ajustan a las fortalezas y limitaciones del desempeño humano.

Dicho de otro modo, la estrategia de los FFHH parte de un diseño centrado en el ser humano, teniendo en cuenta su desempeño y sus limitaciones. Su enfoque ayuda a garantizar que sistemas, equipos, procedimientos, servicios o reglamentaciones sean tanto útiles como utilizables. Asimismo, apoya el desempeño en el lugar de trabajo para que se puedan lograr los objetivos operativos previstos. También se ocupa de que se aplique todo aquello que se sabe sobre los seres humanos (es decir, sus habilidades, características y limitaciones) en el diseño de los equipos (sistemas) que estos utilizan, los entornos en los que funcionan y los trabajos que llevan adelante.

Es importante destacar que la estrategia de los FFHH guarda una diferencia sustancial con la del comportamiento, ya que la primera no pone el foco en las personas, sino en la construcción de sistemas que tengan en cuenta los factores humanos que imponen restricciones a la hora del diseño. Se trata de factores tales como la aceptación del error en tanto parte del desempeño, las limitaciones de atención, la complejidad de la comunicación, la fatiga y el estrés, entre otros, que son tenidos en cuenta no solo para el diseño, sino también para explicar el desempeño humano en el contexto. Esto no quiere decir que el comportamiento humano quede fuera del alcance de los FFHH ni mucho menos, sino que lo que cae dentro de su alcance es el comportamiento humano en el contexto del sistema.

Por ello, luego de la incorporación del concepto de limitaciones humanas en los rendimientos operacionales, y con el fin de mejorar el desempeño de las tripulaciones, se diseñó un tipo de entrenamiento llamado CRM para gerenciar los recursos y reducir los errores inherentes al desempeño en las operaciones de vuelo, lo cual permitió incrementar la efectividad de las tripulaciones. Conceptualmente, el CRM apunta a optimizar la utilización de los recursos para la prevención de accidentes.

Una de las condiciones de posibilidad para la aparición del CRM fueron las consecuencias de grandes catástrofes aéreas. Al ser investigadas, estas produjeron nuevos puntos de vista, modelos y explicaciones, que operaron, a su vez, como aperturas cognitivas para que especialistas e investigadores en seguridad operacional y gestión de riesgos hallaran estrategias de prevención y mitigación más efectivas. Este fue precisamente el origen del CRM; podemos citar como uno de los antecedentes más importantes la investigación sobre la catástrofe ocurrida en Tenerife el 27 de marzo de 1977, donde dos aeronaves Boeing 747 colisionaron en la pista dejando un saldo de 583 fallecidos. Ambas aeronaves estaban 100 % operativas, la tecnología se encontraba disponible y las tripulaciones eran altamente calificadas, ya que poseían los estándares y competencias técnicas requeridas a nivel internacional. Sin embargo, el gerenciamiento de la comunicación, la presión industrial, el estrés y el estilo de liderazgo fueron los factores desencadenantes. En otras palabras, estos elementos fueron habilidades no técnicas que estaban

ausentes en las currículas de capacitación y evaluación de desempeño de los equipos. La tripulación involucrada en el accidente no contaba con herramientas de gestión de equipos de trabajo, liderazgo, toma de decisiones y coordinación de cabina. La industria aeronáutica dio cuenta de la carencia en este tipo de estrategias de entrenamiento, como así también de las ventajas y fortalezas que podían aportar a la seguridad.

A partir de la catástrofe de Tenerife, que, por otra parte, sigue siendo una de las de mayores consecuencias fatales en la historia de la aviación, y también como resultado de otros accidentes fatales de gravedad, se comenzaron a desarrollar planes que contemplaban la captura de deficiencias en el desempeño operacional de las tripulaciones y programas de instrucción y entrenamiento al respecto. A raíz de todo ello, se comenzó con una metodología basada en clases teóricas llamada CRM.

Muchos autores consideran que el punto de inflexión para el surgimiento del CRM, tal y como se lo conoce actualmente, se ubica en 1986, con la intervención colaborativa de la NASA. A partir de ese momento, la metodología amplió su campo de competencia. Este proceso dio como resultado el paso de un enfoque basado únicamente en los comandantes (*leadership*) hacia otro que incluía a los primeros oficiales e ingenieros de vuelo (*cockpit*). Más tarde, la C de *cockpit* le cedería su lugar al término *crew*, efectivizando la incorporación de los tripulantes de cabina de pasajeros. A esta altura del desarrollo histórico del CRM, la capacitación ya se encontraba normatizada y había comenzado a impartirse en seminarios estructurados. Asimismo, se incorporó el empleo de la técnica de análisis de casos de estudio específicos en las instrucciones.

En la década de 1990, los programas de CRM comenzaron a incluir la estandarización de procedimientos operacionales y el entrenamiento en el uso normalizado de las listas de control, entre otras estrategias de apoyo. Más tarde, la estandarización de procedimientos técnicos comenzaría a incluir también a aquellos no técnicos (NOTECH por sus siglas en inglés «*non-technical*»). Con esto, se construyó una caja de herramientas para los operadores de primera línea, que se apoyaba sobre la base de todo el recorrido de capacitación y entrenamiento en CRM.

El éxito del CRM en la mejora del desempeño y en la reducción de accidentes hizo que rápidamente fuera incorporado en otras industrias, como el transporte marítimo o el sector de la salud a principios de la década de 1990, a las que les siguió el transporte ferroviario hacia 1999. Por su parte, la industria del gas y el petróleo también identificó la importancia de incorporar la formación en habilidades no técnicas luego de evaluar los accidentes en los pozos de Macondo y Montara. Como consecuencia, se elaboraron recomendaciones específicas para la implementación del CRM, tomando como referencia los desarrollos previos de la industria aeronáutica.

1.2 CRM en la industria del petróleo y el gas

La importancia de las competencias no técnicas para la seguridad y la eficacia de las operaciones está reconocida desde hace tiempo en sectores de alto riesgo como la aviación, la minería, el transporte ferroviario y la sanidad. Si bien la industria del petróleo y el gas ha implementado y sostenido programas relacionados con la seguridad y el comportamiento (entre los que se pueden citar el programa STOP, los programas de Seguridad Basada en el Comportamiento (BBS), las auditorías de comportamiento, el entrenamiento en liderazgo en seguridad y programas de disciplina operativa, entre otros), todavía en el sector de exploración y producción de petróleo y gas no se ha prestado suficiente atención a la formación en capacidades cognitivas y humanas, tales como la conciencia situacional y la toma de decisiones.

La aplicación de una formación integral en CRM en la industria del petróleo y el gas ha sido muy limitada, con la sola excepción de unos pocos avances posteriores al accidente de Piper Alpha, algunos de los cuales se centraron en la respuesta a emergencias (Flin, 1995; Flin et al, 2002; O'Connor & Flin, 2003). Estas afirmaciones también fueron confirmadas por el Energy Institute en su documento *Guidance on crew resource management (CRM) and non-technical skills training programmes*, que fue publicado en 2014.

A nivel internacional, se llevaron a cabo entrenamientos en FFHH y CRM durante el inicio de los años 90. Estos se vincularon a las operaciones *offshore* de SHELL en el Mar del Norte y contaron con la participación del Departamento de Psicología Industrial de la Universidad de Aberdeen. Incluían entre sus principales temas la toma de decisiones, comunicación, asertividad y el estrés. La metodología utilizada se basó en la exposición y análisis de materiales, ejercicios y debates. Posteriormente, SHELL le dio participación a personal especializado en CRM de British Airways para el desarrollo del programa (Flin, 1997).

Hubo, complementariamente, otros estudios piloto de adaptación de CRM a la industria del petróleo y el gas, en los que también participó la Universidad de Aberdeen y empresas tales como AGIP, Halliburton y Transocean, entre otras (Flin; O'Connor, 2003). En Argentina, se han propuesto distintas iniciativas para avanzar en temas sobre FFHH y seguridad en esta misma dirección (Congreso de Seguridad del Instituto Argentino del Petróleo y el Gas (IAPG), 2004).

Fue a partir de los accidentes ocurridos en Montara (Western Australia), en 2009, y Macondo (Deepwater Horizon - GOM), en 2010, cuando se produjo un punto de inflexión y se puso de manifiesto la relevancia de las habilidades no técnicas en la seguridad operacional. Se realizaron distintas investigaciones de estos accidentes, y como resultado se propusieron diferentes acciones de mejora, entre ellas, la necesidad de que la industria introduzca el CRM o una formación similar para el personal de operación en pozos y servicios de apoyo (Norwegian Oil Industry Association-OLF, 2012).

Se presenta a continuación una breve descripción de estos accidentes y sus consecuencias, así como un análisis de sus causas y conclusiones.

ESTUDIO DE CASO: MACONDO, GOLFO DE MÉXICO

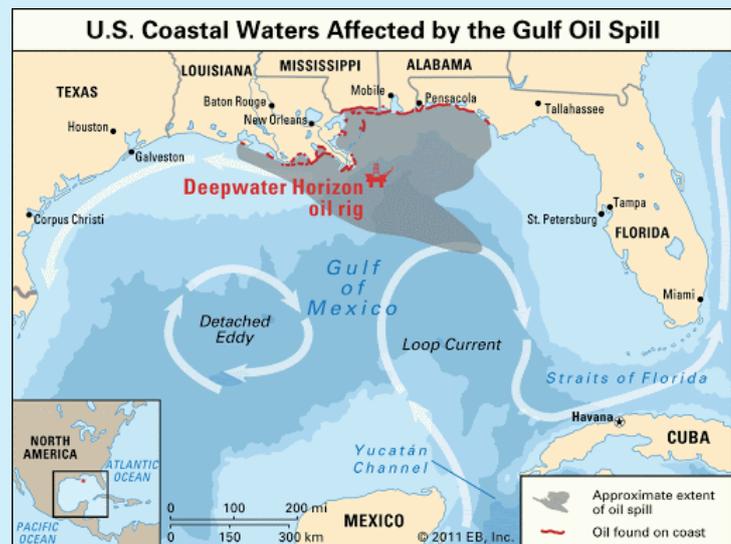
En abril de 2010, se perforaba el pozo Macondo a unos 80 km al sur de la costa de Luisiana. El área era operada por British Petroleum (BP) y la plataforma utilizada, Deepwater Horizon, era del tipo semi sumergible, lo que permitía la perforación en aguas profundas. Pertenecía a la empresa Transocean (con un valor aproximado de US\$ 350 millones) y se trataba de uno de los diseños más avanzados en el mundo. Asimismo, era operada por personal experimentado y de muy buenos antecedentes, tanto operativos como de seguridad.

Figura 1. Plataforma Deepwater Horizon



Fuente: Petrotecnia, 2010

Figura 2. Costas americanas afectadas por el derrame



Fuente: Encyclopaedia Britannica

El 20 de abril, durante las actividades de abandono temporal del pozo, se produjo un descontrol (*blowout*) seguido de incendio y explosión. El evento dejó un saldo de 11 fatalidades en un equipo que estaba compuesto por un total de 126 personas; además, se derramaron 5 millones de barriles, finalmente se culminó con el naufragio de la plataforma.

El pozo Macondo tenía una profundidad final programada de 19.600 pies (5976 m) y atravesaba dos formaciones de interés, pero debió ser cortado a los 18.360 pies (5598 m) a raíz de una pérdida de circulación que se presentó al atravesar la primera de las formaciones productivas. Si bien la fuga de lodo puede constituir una buena señal desde el punto de vista de la producción de petróleo de la capa, a su vez, constituye una advertencia que indica que la cementación no se encuentra particularmente firme. La profundidad del agua hasta el lecho marino era de 5067 pies (1662 m).

Al momento del descontrol, el pozo Macondo tenía un retraso de 43 días respecto del programa (el valor aproximado de la pérdida solo en tarifa diaria de la plataforma era de 21,5 millones de dólares). En este contexto, el operador

Figura 3. Momentos posteriores a la catástrofe



Fuente: Reuters

tomó sus decisiones los días y las horas anteriores al descontrol. Se optó por atajos tendientes a apurar la finalización del pozo, se redujeron los costos y se ahorró tiempo a costa, en algunos casos, de incumplir estándares de la industria y a pesar de las advertencias del personal de la propia operadora (BP) y de los contratistas acerca del peligro de un posible accidente catastrófico.

A las 20, y después de algunos controles en la boca del pozo, el operador ordenó avanzar con el programa trazado, que consistía en terminar de desplazar el lodo con agua de mar y efectuar un tapón de cemento para el abandono temporario del pozo hasta que otro equipo se hiciera cargo de su puesta en producción.

La operación de cementación, que había sido efectuada anteriormente como barrera destinada a mantener los hidrocarburos por debajo del lecho marino, no había sido eficaz. El personal de BP y Transocean a cargo de la operación malinterpretó la prueba para evaluar la integridad de la barrera de cemento, lo que llevó a creer erróneamente que la zona que contenía hidrocarburos en el fondo del pozo había quedado sellada.

Cuando la tripulación retiró el lodo de perforación del pozo para preparar la instalación de una barrera de cemento adicional, el preventor de surgencias BOP (por sus siglas en inglés, Blow Out Preventer) quedó como la única barrera física que podría haber impedido que los hidrocarburos llegaran a la plataforma y al entorno circundante; pero esto dependía principalmente de la detección humana de surgencias y de la oportuna activación y cierre de la BOP. Sin embargo, la eliminación del lodo de perforación después de la prueba permitió que los hidrocarburos fluyeran más allá de la barrera de cemento fallida hacia la plataforma, situación que duró prácticamente una hora sin detección por los operadores ni activación de los controles automáticos para cerrar la BOP.

A las 21:45, el personal pudo observar el desplazamiento espontáneo del lodo remanente y del agua salada (indicadores de que el pozo se estaba "viniendo"). Ante esta circunstancia, se deberían haber cerrado automáticamente las BOP y desconectado el riser, pero esto no se hizo (Gabino Velazco, Petrotecnia IAPG, 2010). Durante la emergencia, el personal del equipo intentó cerrar las BOP desde la plataforma por medio del sistema redundante, aunque sin conseguir resultados. Tampoco lograron accionar los botones de actuación automática para emergencias graves. El sistema de conexión entre el riser y las BOP no pudo desconectarse por medio del sistema directo.

Como resultado, se perdió el control del pozo, lo que provocó un escape de petróleo y gas. Esta fuga encontró una fuente de ignición en la plataforma e inmediatamente se desencadenó una explosión e incendio con las consecuencias ya mencionadas. La explosión probablemente activó un sistema automático de respuesta de emergencia diseñado para cizallar la tubería de perforación que atravesaba la BOP y sellar el pozo, pero no lo consiguió. El informe de investigación de la operadora BP arribó a las siguientes conclusiones:

- La lechada de cemento que se utilizó para construir la barrera aislante en el zapato de la cañería, en el fondo del pozo, falló en su misión de contener los hidrocarburos dentro del reservorio.

- La prueba de presión que arrojó un resultado negativo fue incorrectamente aceptada por BP y Transocean, a pesar de que no se estableció la integridad del pozo.
- La reacción de la cuadrilla de la plataforma Deepwater Horizon fue tardía (demoró cuarenta minutos en detectar y actuar ante la entrada de hidrocarburos al pozo).
- Cuando los hidrocarburos alcanzaron la plataforma fueron derivados al separador de gas, donde se encontraba todo el circuito de lodo sobre el equipo, en lugar de ser desviados directamente fuera de borda.
- El gas soplaba directamente sobre la sala de motores a través del sistema de ventilación y creaba así un peligro de ignición que el sistema contra incendios de la plataforma no tenía previsto.
- Después de que la explosión y el fuego inutilizaran los controles de la BOP de la plataforma que eran operados por la cuadrilla, los *pods* que se encontraban en el lecho marino deberían haber cerrado el pozo automáticamente, pero no lo hicieron, ya que quizás sus componentes no funcionaban.

En el informe de investigación del accidente realizado por el CSB (U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2010) se destacan cinco decisiones cruciales adoptadas por el operador:

1. Se decidió usar un diseño de entubación que presentara pocas barreras a la migración del gas.
2. Se optó por usar un número insuficiente de centralizadores, cuya función es evitar la canalización del cemento.
3. Se resolvió no efectuar el registro de adherencia del cemento (CBL).
4. No se normalizó el lodo del pozo de manera adecuada antes de bombear la lechada de cemento, dado que solamente se circuló treinta minutos, pese a que, para un pozo de 5600 m de profundidad, se necesitan de seis a doce horas de circulación para homogeneizar y desgasificar convenientemente el lodo.
5. No se fijó la camisa de bloqueo que asegura la empaquetadura del colgador de la cañería de producción en la cabeza de pozo.

El 29 de octubre de 2010, el Laboratorio de Ensayos de Chevron informó que las pruebas realizadas con la lechada de cemento alveolar (o *foam cement*) "fueron inestables" (Velazco, 2010). En las conclusiones de este informe se identificaron 57 hallazgos clave relacionados con la ocurrencia del accidente:

- Factores técnicos (12 %).
- Factores humanos y organizacionales (53 %).
- Factores regulatorios (35 %).

Del análisis expuesto se puede concluir que:

- La competencia técnica es solo un aspecto de la capacidad de desempeño de una persona. Otras habilidades no técnicas son necesarias para preparar a los individuos en la gestión de la variabilidad inherente a un sistema complejo (plataforma *offshore*).
- Las competencias no técnicas aumentan la fiabilidad del desempeño en entornos de trabajo de alta exigencia y elevado riesgo, en los que las personas necesitan innovación y adaptación para operar con éxito en sistemas que pueden fallar (imperfectos).

ESTUDIO DE CASO: MONTARA - AUSTRALIA

En el mar de Timor, operaba la plataforma West Atlas Jack-Up Mobile Offshore Drilling Unit Facility, que pertenecía a la empresa PTT Public Company Limited, una organización estatal tailandesa de petróleo y gas.

Figura 4. Perspectiva del derrame



Fuente: New York Times

El viernes 21 de agosto de 2009, durante la actividad que llevaba a cabo la plataforma de perforación operada por Atlas Drilling, se observó una fuga de hidrocarburos desde el pozo H1- ST1, que se intensificó rápidamente y produjo un blowout sin lesiones personales, pero con pérdida total de la plataforma y un derrame de aproximadamente 250 millones de barriles.

Figura 5. Ubicación de Montara



Fuente: Offshore Energy

Uno de los informes del accidente focaliza en el análisis del error humano (Patrick K. Smith *et al.*, 2020). Sus conclusiones se sintetizan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Relevamiento de eventos críticos y errores humanos

Eventos críticos	Errores humanos						
	Políticas/ Procedimientos	Training	Toma de decisiones	Organización/ Gerenciamiento	Percepción/ aceptación del riesgo	Comunicación	Activos/ Latentes
Se utilizó agua de mar para el zapato del casing	◊	◊	◊		◊		Latentes
Se calculó mal el vertido de cemento en el zapato		◊	◊				Latentes
Los supervisores pasaron por alto el mal cálculo	◊			◊		◊	Latentes
El cemento usado no estaba testeado	◊			◊		◊	Latentes
Se utilizaron Pressure Containing anti-Corrosion Caps (PCCC) en lugar de tapones de cemento	◊		‡	‡	◊		Latentes
La aprobación de los PCCC fue realizada en 30 min.	◊		◊	◊	◊		Latentes
No se probaron los PCCC		◊					Latentes
Se instaló uno de los dos PCC requeridos	◊		‡	‡	◊		Latentes
El personal no había recibido formación para instalar los PCCC	◊		‡	‡	◊		Latentes
No se reinstaló el PCCC tras limpiar las roscas del revestimiento	◊	◊	◊		◊		Activos
No se instaló el PCCC tras la patada inicial (kick)	◊		◊	◊	◊		Activos
No se utilizó la BOP	‡			‡			Latentes

Fuente: Human Error Analysis of the Montara Well Blowout, 2010

Referencias:

◊: Denota que la clasificación del error puede hacerse con un alto grado de certeza basándose en las evidencias.

‡: Denota que la clasificación del error se realiza con un menor grado de certeza debido a la menor evidencia de apoyo.

En este informe, los errores se clasificaron en errores activos (aquellos que pueden verse casi de inmediato y suelen estar asociados al desempeño de los operadores de primera línea) y errores latentes (aquellos que se caracterizan por el hecho de que sus efectos pueden no aparecer durante mucho tiempo, hasta que se combinan con otros factores para causar un incidente; suelen generarlos quienes están alejados de los riesgos directos de las operaciones de primera línea, tales como los responsables de la toma de decisiones de alto nivel, los diseñadores directivos o personal de mantenimiento).

En síntesis, el informe concluye lo siguiente:

- El 80 % de los errores que condujeron a la catástrofe de Montara fueron errores latentes atribuibles a la organización en su conjunto, y no a una persona concreta.
- 19 de los errores clasificados como de naturaleza organizativa o de gestión derivaron de un liderazgo deficiente, lo que indica una cultura de seguridad poco adecuada dentro de la propia organización.
- Los errores latentes representan la mayor amenaza para la seguridad en un sistema complejo como una plataforma de perforación, esto incluye defectos del sistema creados por un diseño inadecuado, una instalación incorrecta, un mantenimiento inadecuado, formación insuficiente, falta de recursos y malas decisiones de gestión.

Como medida para prevenir la ocurrencia de estos graves accidentes, la IOGP decidió avanzar en un proyecto de adaptación de CRM a las operaciones en pozos, para lo cual tomó como referencia el modelo desarrollado por la industria aeronáutica.

1.3 Proyecto IOGP. Well Operations Crew Resource Management

A partir de la consideración de que puede lograrse un cambio radical mediante la aplicación y el desarrollo de eficaces competencias no técnicas para la mejora de la seguridad operativa y la eficacia de los equipos de operaciones de pozos (es decir, actividades de perforación, terminación, reparaciones, intervenciones y servicios al pozo), la IOGP inició una investigación en el tema (el Report N.º: 501 - *Crew Resource Management for Well Operations teams* (WOCRM)). El proyecto contó con la participación del Centro de Investigación de Psicología Industrial de la Universidad de Aberdeen y fue dirigido conjuntamente por el Comité de Expertos en Pozos (WEC) y el Subcomité de Factores Humanos del Comité de Seguridad.

En el marco del proyecto, se adoptó como definición de habilidades no técnicas el mismo criterio seguido por la industria de la aviación, es decir, el conjunto de "las aptitudes cognitivas, sociales y de recursos personales que complementan las aptitudes técnicas y contribuyen a un desempeño seguro y eficiente de las tareas" (Flin et al, 2008). El objetivo del trabajo fue elaborar recomendaciones para un programa de formación en CRM adaptado a las necesidades de los equipos de operaciones en pozos.

Lo que distingue al entrenamiento en CRM de otros tipos de formación en habilidades no técnicas es que, por un lado, abarca todas estas competencias en un solo curso, y por el otro, que el material didáctico está basado en pruebas. Las siguientes son otras características de la formación en CRM que se pueden destacar:

- a. Se basa en un análisis continuo a partir de fuentes de datos de la empresa o del sector (por ejemplo, sistemas de notificación o datos de accidentes), así como también de los recursos sociales, cognitivos y personales (no técnicos) necesarios para un funcionamiento seguro y eficaz.
- b. Se centra en cada trabajador en un entorno de equipo; parte de la base de que los trabajadores necesitan "competencias de equipo portátiles" para cualquier equipo o cuadrilla en la que se encuentren en un turno determinado.

- c. No se centra en la personalidad, sino en el comportamiento.
- d. Aborda el comportamiento en las operaciones rutinarias con el objetivo de evitar incidentes críticos, así como las habilidades para hacer frente a situaciones anormales o de emergencia.
- e. Se basa en la investigación científica actual sobre el desempeño humano en el entorno laboral.

Con el fin de analizar las categorías básicas de competencias CRM que tiene que poseer el personal de operaciones de pozos, se identificaron 17 funciones clave de los ingenieros y técnicos que desempeñan funciones operativas en operaciones de perforación, terminación, intervención y servicios al pozo que requieren certificación en control de pozos (*well control*). Asimismo, se revisó la bibliografía sobre FFHH y se entrevistó a una muestra de 33 trabajadores de pozos, a los cuales se les preguntó sobre las competencias no técnicas necesarias en condiciones de trabajo rutinarias y no rutinarias. Los datos obtenidos de estas fuentes se utilizaron para elaborar los lineamientos de un programa básico de formación en CRM de operaciones en pozos (WOCRM).

El proyecto se centró en los ingenieros y técnicos que deben obtener la certificación en control de pozos.

- Supervisores.
 - *Company Man*.
 - Jefe de equipo.
 - Encargado de turno.
 - Superintendente.
 - Gerente de perforación.
 - Supervisor de servicios al pozo (bombeo, *coiled tubing*, *wireline*, otros).
- Operadores.
 - Perforador – Maquinista.
 - Enganchador.
 - Boca de pozo.
- Operador de lodo.
- Operador de servicios.

Como resultado de esta indagación, el WOCRM se basó en seis categorías básicas de competencias no técnicas: conciencia situacional, toma de decisiones, comunicación, trabajo en equipo, liderazgo y conciencia de los efectos del estrés y la fatiga. A partir de esta lista, se elaboró un reporte con una guía para su implementación (IOGP Report N.º: 502 - *Guidelines for implementing Crew Resource Management for Well Operations training, 2014*).

1.4 Entrenamiento en Well Operations CRM

Como señala Flin (2003), no existe un curso de CRM estándar. Este debería adaptarse a las necesidades de cada industria en general y de una organización en particular. En la práctica, cuando no ha habido formación previa en CRM es necesario comenzar por un curso básico o introductorio, que señale la importancia de las competencias no técnicas para reducir los errores y mejorar de manera específica la seguridad en las tareas, y que explique en qué consiste el conjunto de competencias y cómo pueden influir en los comportamientos de los individuos, en las condiciones del lugar de trabajo y la cultura organizacional (IOGP, 2014).

Los conceptos de CRM deberían incorporarse a los cursos de formación técnica (como el *well control*, entre otros) y tendrían que ser recurrentes. Dicha integración ayudaría a desarrollar y mantener la toma de conciencia, el conocimiento y la aplicación de las habilidades no técnicas en las actividades operativas. El proceso de entrenamiento WOCRM debería comprender las siguientes etapas:

Figura 6. Etapas del WOCRM

Identificar el conocimiento y las habilidades específicas que determinan la seguridad y el desempeño en la organización
Desarrollar el contenido del entrenamiento en WOCRM
Realizar el entrenamiento en WOCRM
Evaluar los conocimientos y habilidades adquiridas por los participantes
Evaluar el entrenamiento (<i>feedback</i> de participantes)

Fuente: elaboración propia.

Objetivo del entrenamiento

La formación WOCRM tiene el propósito de proporcionar los conocimientos y las habilidades no técnicas, así como promover la motivación de los participantes para que:

- Identifiquen situaciones en las que disminuyen las capacidades cognitivas e interpersonales en sí mismos y en los demás.
- Adquieran habilidades para reconocer cuándo su propio comportamiento o sus acciones pueden estar interfiriendo en la seguridad y la eficacia del equipo de trabajo.
- Desarrollen las aptitudes cognitivas e interpersonales necesarias para actuar y aceptar las intervenciones de otros integrantes del equipo de manera oportuna y eficaz para evitar incidentes.

Beneficios de WOCRM

La adquisición de competencias en CRM contribuye a:

- Reducir el riesgo de error humano en las operaciones críticas para la seguridad.
- Disminuir la posibilidad de que se tomen decisiones equivocadas que puedan influir en la seguridad.
- Integrar estas habilidades no técnicas en la cultura de la organización para prevenir la ocurrencia de incidentes y mejorar el desempeño operativo.
- Mejorar el entorno de los equipos de trabajo y de todas las personas relacionadas con las operaciones.
- Desarrollar las capacidades necesarias para hacer frente a incidentes en situaciones bajo presión.

Alcance del entrenamiento WOCRM

La formación debería estar dirigida al personal de operaciones de pozos de empresas productoras de petróleo y gas, así como al personal de contratistas de perforación y empresas de intervención y mantenimiento de pozos. Además, el entrenamiento debe abarcar tanto al personal que trabaja en el pozo como a los niveles de supervisión de mayor jerarquía (gerencias, jefaturas).

Para el entrenamiento del personal de pozos, se proponen las siguientes categorías clave de habilidades NTS o esferas CRM:

- Conciencia situacional
- Toma de decisiones
- Comunicación
- Liderazgo/supervisión
- Trabajo en equipo
- Toma de conciencia de factores que influyen en el desempeño (*performance*), por ejemplo: estrés y fatiga

A cada una de estas competencias se le pueden asociar componentes o elementos clave para su desarrollo, tal como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 2. Elementos clave de las competencias no técnicas

CATEGORÍA	ELEMENTOS
Conciencia situacional	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilar información • Comprender el estado de la información y los riesgos • Anticipar la situación/evolución futura
Toma de decisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar y evaluar las opciones • Seleccionar una opción y comunicarla • Aplicar y revisar las decisiones
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Informar y retroalimentar • Escuchar • Formular preguntas • Ser asertivo
Trabajo en equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender su propio papel en el equipo • Coordinar las tareas con los miembros del equipo/otro turno • Considerar y ayudar a los demás • Resolver conflictos
Liderazgo	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar y dirigir • Mantener las normas • Apoyar a los miembros del equipo
Toma de conciencia de factores que influyen en el desempeño (por ej. estrés y fatiga)	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los signos de estrés y fatiga • Afrontar los efectos del estrés y la fatiga

Fuente: elaboración propia.

1.5 Programa Well Operations CRM

El entrenamiento en WOCRM no es suficiente para lograr un cambio radical en la industria, pero es condición necesaria para apreciar la importancia de los FFHH y generar las condiciones para una mejora de la seguridad en las operaciones.

Si se busca una eficaz aplicación de los conocimientos y habilidades *NOTECH*, se deberá implementar un programa CRM que contemple todas las etapas de la gestión, y no solo las relacionadas con el aseguramiento de competencias.

CRM en el contexto de la industria

Un aspecto importante que hay que considerar para la implementación de un programa CRM es el contexto. En el caso particular de la industria aeronáutica, se pueden señalar como relevantes los siguientes factores contextuales que hacen a este tipo de formación:

- Es un entrenamiento estándar de la industria (Organización de Aviación Civil Internacional-OACI).
- Es un requisito legal (Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC)).
- Es controlado su cumplimiento por la autoridad de aplicación (ANAC).
- Un accidente tiene muy alto impacto en el negocio (en la empresa y en la industria).
- Está incorporado a la cultura de seguridad operacional aeronáutica.
- Es una industria con una consolidada disciplina operativa de pilotos.

Queda entonces como desafío para la industria del petróleo y el gas analizar cuáles son las condiciones en cuyo marco se debería implementar el CRM. Para esto, pueden ser útiles preguntas como las siguientes:

- ¿Podría ser un estándar de la industria?
- ¿Podría ser un requisito legal?

- ¿Sería controlado su cumplimiento por una autoridad de aplicación?
- ¿Los accidentes (*blowout* y otros) tienen alto impacto en el negocio (tanto en la empresa como en la industria)?
- ¿Cómo es la cultura de seguridad organizacional?
- ¿Está instituido un proceso de disciplina operacional?

2. Conclusiones

La industria aeronáutica desarrolló el CRM, que pone el foco en las competencias no técnicas para lograr un alto desempeño en seguridad operacional.

Los programas de CRM se diferencian de otros programas de entrenamiento, dado que, por un lado, abarcan todas las habilidades no técnicas en un solo curso con material basado en evidencias, y por el otro, puede evaluarse su eficacia a partir de métodos basados en la experiencia en industrias tales como la aeronáutica.

La industria del petróleo y el gas identificó la necesidad de entrenar a las personas en habilidades no técnicas. Para ello, la IOGP elaboró las recomendaciones N.º 501 y N.º 502 sobre WOCRM, adoptando como modelo de referencia los desarrollos de la industria aeronáutica. Este entrenamiento debería integrarse a la formación técnica del personal con un enfoque práctico.

El primer paso en este proceso consiste en una formación introductoria, que les permita a los participantes conocer los conceptos clave de CRM, tales como en qué se basa una instrucción en habilidades no técnicas, e identificar lineamientos para la implementación de un programa de CRM en las operaciones en los pozos (WOCRM).

Como se mencionó, no es suficiente el entrenamiento en CRM para lograr la aplicación eficaz de las habilidades no técnicas con posterior influencia positiva en el desempeño en la seguridad operacional. El entrenamiento debería ser parte de un proceso que comprenda las siguientes etapas y acciones:

- Establecer el programa WOCRM. Para ello, es necesario:
 - Definir su objetivo y alcance (operaciones y actividades clave o críticas, roles involucrados, sitios, etc.), hacer un análisis de contexto, plazos y recursos.
 - Comunicar su objetivo, alcance y beneficios.
 - Entrenar facilitadores.
 - Elaborar y poner en vigencia procedimientos operativos *NOTECH*.
- Implementar el programa WOCRM e incluir el entrenamiento específico de trabajadores de roles clave en los procedimientos *NOTECH*.
- Evaluar el desempeño a través del seguimiento del cumplimiento y la eficacia de los procedimientos *NOTECH*, incluyendo indicadores y auditorías.
- Mejorar el programa por medio de la identificación de oportunidades y acciones correctivas ante desvíos.

El entrenamiento en WOCRM que se inició en YPF en el marco de su visión y sus políticas sigue los lineamientos propuestos por las recomendaciones de la IOGP. Representa un desafío que seguramente va a ser necesario abordar en la industria para avanzar en el camino de la excelencia operacional.

3. Bibliografía

Covello, A. (2021). *Investigación sistémica de accidentes*. Circus.

Energy Institute (2014). *Guidance on crew resource management (CRM) and non-technical skills training programmes*.

Flin, R. (1997). *Crew resource management for teams in the offshore oil industry*. Team Performance Management, Vol. 3 No. 2, 1997, pp. 121-129. MCB University Press.

IOGP (2014). Report N.º 501. *Crew Resource Management for Well Operations teams*.

IOGP (2014). Report N.º 502. *Guidelines for implementing Well Operations Crew Resource Management training*.

Norwegian Oil Industry Association (2012). *DEEPWATER HORIZON Lessons learned and follow-up*.

OACI (2021). Doc 10151 Manual on Human Performance (HP) for Regulators. First Edition (Advance unedited).

OACI (1984). Doc 9422-an/923, Manual de Prevención de Accidentes (Prevac).

OACI (1998). Documento 9683, Manual de instrucción sobre Factores Humanos.

OACI (2006), Documento 9868.

OACI (2013 y 2016), Anexo 19.

OACI (2018), Documento 9859.

OACI (2020), Anexo 13.

O'Connor, P. & Flin, R. (2003). Crew resource management training for offshore teams. *Safety Science*, 41(7), 591-609.

Reason, James (1990). *Human Error*. Cambridge University Press, Nueva York.

Reason, James (2009). *El error humano*. Modus Laborandi, Madrid.

Reason, James (2010). *La gestión de los grandes riesgos. Principios humanos y organizativos de la seguridad*. Modus Laborandi, Madrid.

Smith, B Patrick, Benjamin N. Craig, Qingsheng Wang, Michael D. Larrañaga (2020). *Human Error Analysis of the Montara Well Blowout*. Process safety progress.

U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (2010). Investigation Report Executive Summary Report. Drilling Rig Explosion and Fire at the Macondo Well.

Velasco, Gabino (2010) Posibles causas del accidente de la plataforma Deepwater Horizon. *Revista Petrotecnia*.

Propuesta metodológica en los sucesos aeronáuticos en Argentina para la aplicación de una matriz de riesgo basada en la taxonomía ADREP

Methodological proposal for the application of a risk matrix based on the ADREP taxonomy in aeronautical events in Argentina

Carlos Mario Carbonel, Ezequiel Rubén Ayala

Junta de Seguridad en el Transporte, ccarbonel@jst.gob.ar, eayala@jst.gob.ar

Recibido: 05/05/23

Aceptado: 20/05/23

Palabras clave: JST, SSP, SDCPS, SMS, ADREP/ECCAIRS, matriz de riesgo, operaciones agroaéreas.

Keywords: JST, SSP, SDCPS, SMS, ADREP/ECCAIRS, Risk Matrix, agro-aircraft operations.

RESUMEN

El presente documento tiene como fin diseñar una metodología de análisis para la ponderación de los factores de riesgo en sucesos aeronáuticos. Mediante un enfoque estadístico se generará un listado de categorías de sucesos según el nivel de riesgo, considerando para ello tanto la frecuencia de ocurrencia como la gravedad de las consecuencias sufridas por el personal y los materiales involucrados. Dado que la mayor cantidad de operaciones aéreas en Argentina se desarrollan en aeródromos no controlados, resulta inviable la evaluación de indicadores en función de la cantidad de despegues y aterrizajes; es por esto que se decidió realizar el análisis de recurrencia como función de los sucesos registrados por categoría y la cantidad de sucesos. A partir de esto, la metodología propuesta busca ponderar las categorías de sucesos según una evaluación del riesgo que poseen, que permiten orientar líneas de investigación reactivas y, a su vez, contribuir de manera proactiva a la prevención de futuros accidentes e incidentes fortaleciendo la seguridad operacional. Se aplicará esta metodología a los sucesos en operaciones de trabajo agroaéreo en Argentina durante el periodo 2013-2022. Los datos se obtuvieron del sistema ADREP/ECCAIRS del Repositorio Institucional de la Junta de Seguridad en el Transporte (JST). Como resultados de la aplicación de la metodología propuesta se presentará la evolución anual de los sucesos para destacar las categorías con mayor riesgo ponderando para el tipo de operaciones bajo estudio.

ABSTRACT

The purpose of this document is to design an analysis methodology for the weighting of risk factors in aeronautical events. By means of a statistical approach, a list of categories of events will be generated according to the level of risk, considering both the frequency of occurrence and the severity of the consequences suffered by the personnel and the materials involved. Since most air operations in Argentina are carried out in uncontrolled aerodromes, it is not feasible to evaluate indicators based on the number of takeoffs and landings, therefore, it was decided to perform the recurrence analysis as a function of the events recorded by category and the number of events. Based on this, the proposed methodology seeks to weight the categories of events according to their risk assessment, allowing to guide reactive lines of investigation and, at the same, time contribute proactively to the prevention of future accidents and incidents, strengthening operational safety. This methodology will be applied to events in agro-aircraft work operations in Argentina during the period 2013-2022. The data were obtained from the ADREP/ECCAIRS system of the Institutional Repository of the Transportation Safety Board (JST). As results of the application of the proposed methodology, the annual evolution of the occurrences will be presented, highlighting the categories with the highest weighted risk for the type of operations under study.

Introducción

La finalidad de las normas y métodos recomendados (SARPS) del Anexo 19 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) es brindar lineamientos generales a los Estados para la gestión de los riesgos de seguridad operacional en la aviación, para lo cual propone como principal herramienta la consolidación de un Sistema de Seguridad Operacional del Estado (SSP).

Así mismo, se plantea como requisito para establecer un SSP el contar con un sistema de supervisión de la seguridad operacional. Para ello, los Estados deben implementar sistemas de recopilación y procesamiento de datos sobre seguridad operacional (SDCPS) que permitan captar, almacenar, agregar y analizar datos e información sobre seguridad operacional. Este sistema debe incluir datos e información relativos a las investigaciones de accidentes e incidentes.

Una organización gestiona la seguridad operacional garantizando que los riesgos, derivados de las consecuencias de los peligros en actividades críticas, estén controlados hasta un nivel tan bajo como sea razonable en la práctica, conocido como ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*). Para ello, la gestión de riesgos de seguridad operacional comprende dos actividades distintas: la identificación de peligros y la evaluación y mitigación de los riesgos asociados.

El presente documento detalla la implementación de una metodología para evaluar, ponderando probabilidad y gravedad, las consecuencias de los peligros que han ocurrido y han sido registrados durante el periodo que se desea estudiar, basándose en datos de accidentes e incidentes. Esta metodología permitirá obtener una matriz para la evaluación del riesgo conforme a categorías ADREP, lo cual servirá como herramienta para la toma de decisiones y la determinación de acciones de mitigación, a fin de lograr una mejora continua de la seguridad operacional de manera proactiva.

Asimismo, la metodología presentada es una de las adoptadas por el organismo AIG de Argentina como método de evaluación continua de la seguridad operacional. Esto permitirá establecer prioridades en las líneas de investigación y generar un listado de las categorías¹ de sucesos a los que se les dará un tratamiento especial como temas de observación permanente.

Desarrollo

Para el presente trabajo se utilizó la base de datos de seguridad operacional del sistema ADREP/ECCAIRS² del Repositorio Institucional de la JST. La exportación de la información necesaria para ponderar la probabilidad y gravedad fue realizada con el proceso Data Manager del sistema ECCAIRS. Se seleccionaron y filtraron los datos a través de consultas (*query*) para conformar los registros exportados a una hoja de cálculo (MS-Excel) para análisis posterior.

Con el fin de determinar el grado de aceptabilidad del riesgo de cada categoría (probabilidad de que ocurra y severidad que puede producir) se realizó un análisis para establecer una escala de gravedad y otra de frecuencia para integrarlas en una matriz de riesgo.

Se determinó la gravedad de cada suceso considerando en particular la severidad en función de los daños a la aeronave y lesiones al personal. Se adoptó una escala discreta con niveles del 1 al 5, tomando como modelos los ejemplos en el Doc. 9859 Manual de gestión de la seguridad operacional de OACI y la ORDER 5200.11 FAA Airports (ARP) Safety Management System (SMS).

1. Las categorías de sucesos son establecidas por el equipo de seguridad operacional de aviación comercial y el equipo de taxonomía común de OACI (CAST/CICTT): <http://www.intlaviationstandards.org/Documents/OccurrenceCategoryDefinitions.pdf>

2. El ECCAIRS es un sistema desarrollado por la Unión Europea que permite, de manera estandarizada, recolectar, analizar y compartir información acerca de los sucesos (accidentes e incidentes) en un formato compatible con el Sistema de Notificación de Accidentes/Incidentes de Aviación (ADREP).

Tabla 1. Nivel de gravedad del suceso.

Gravedad del suceso	Daños a la aeronave	Lesiones a las personas	Valor
Catastrófico	Destrucción completa o pérdida de la aeronave (inaccesible)	Fallecidos	5
Peligroso	Daños severos	Heridos de gravedad	4
Mayor	Daños mayores	Heridas leves	3
Menor	Daños menores	N/A	2
Insignificante	Ninguno	N/A	1

Fuente: elaboración propia.

Así, la clasificación según los datos cargados en el sistema ECCAIRS, fue expresada de la siguiente manera:

Tabla 2. Nivel de gravedad del suceso con relación a los daños a la aeronave (a) y a las lesiones a las personas (b).

Daño a la aeronave	Nivel	Lesiones	Nivel
Destruída	5	Fatal	5
De importancia	4	Serio	4
Menor	3	Menor	3
Ninguno	2	Ninguna	2
Desconocido	1	Desconocidas	1
S/D	1	S/D	1

Fuente: elaboración propia.

De esta forma, se pudo determinar la gravedad de cada suceso como el producto de ambos niveles:

$$\text{Gravedad del suceso} = \text{Nivel de daño a la aeronave} * \text{Nivel de lesiones}$$

Como paso posterior, se halló la gravedad promedio de cada categoría, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Gravedad promedio de la categoría} = \frac{\sum \text{gravedad de cada suceso de una misma categoría}}{\text{total de ocurrencia de la categoría}}$$

Con esto, se determinó un rango de gravedad, en función de la media (\bar{X}_g), la desviación estándar σ_g , el valor máximo x_{max} y el mínimo x_{min} . La escala de este rango de gravedad es también del 1 al 5, siendo 1 la situación más leve y 5 la más grave.

Tabla 3. Rango de gravedad

Rango de gravedad		
Nivel	Gravedad promedio	Fórmula
1	Insignificante	El mayor de: $x < \bar{X}_g - \sigma_g$ ó x_{gmin}
2	Menor	$\bar{X}_g - \sigma_g \leq x < Nivel 1 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3}$
3	Mayor	$Nivel 1 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3} \leq x < Nivel 2 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3}$
4	Peligroso	$Nivel 2 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3} \leq x < Nivel 3 + \frac{Nivel 5 - Nivel 1}{3}$
5	Catastrófico	El menor de: $x \geq \bar{X}_g + \sigma_g$ ó x_{gmax}

Fuente: elaboración propia.

Respecto a la recurrencia de los sucesos se analizó de forma análoga a la gravedad de estos.

Tabla 4. Nivel de recurrencia del suceso

Recurrencia	Significado	Valor
Frecuente	Probable que ocurra muchas veces (ha ocurrido con frecuencia)	5
Ocasional	Probable que ocurra algunas veces (ha ocurrido infrecuentemente)	4
Remoto	Improbable, pero posible que ocurra (ha ocurrido raramente)	3
Improbable	Muy improbable que ocurra	2
Extremadamente improbable	Casi inconcebible que el suceso ocurra	1

Fuente: elaboración propia.

La frecuencia de una determinada categoría en función de la cantidad de sucesos totales está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia de una categoría} = \frac{\text{Cantidad de sucesos de una categoría}}{\text{Sucesos totales}}$$

Con esto, se determinó un rango de frecuencia, en función de la media \bar{X}_f y el desvío estándar σ_f .

Tabla 5. Rango de frecuencias

Rango de Frecuencia		
Nivel	Recurrencia	Fórmula
1	Extremadamente improbable	El mayor de: $x < \bar{X}_f - \sigma_f$ ó x_{fmin}
2	Improbable	$\bar{x}_f - D_f \leq x < Nivel\ 1 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3}$
3	Remoto	$Nivel\ 1 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3} \leq x < Nivel\ 2 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3}$
4	Ocasional	$Nivel\ 2 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3} \leq x < Nivel\ 3 + \frac{Nivel\ 5 - Nivel\ 1}{3}$
5	Frecuente	El menor de: $x \geq \bar{X}_f + \sigma_f$ ó x_{fmax}

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se ponderó cada categoría considerando tanto su probabilidad como su gravedad de ocurrencia. Esta ponderación permitió obtener una valoración más completa de los riesgos asociados a cada categoría.

Por último, se integraron los valores (niveles) obtenidos de probabilidad y gravedad en una matriz de evaluación de los riesgos.

Figura 1. Matriz de riesgo ensamblada

Probabilidad del riesgo	Gravedad del riesgo				
	Insignificante	Menor	Mayor	Peligroso	Catastrófico
Frecuente	5	10	15	20	25
Ocasional	4	8	12	16	20
Remoto	3	6	9	12	15
Improbable	2	4	6	8	10
Extremadamente improbable	1	2	3	4	5

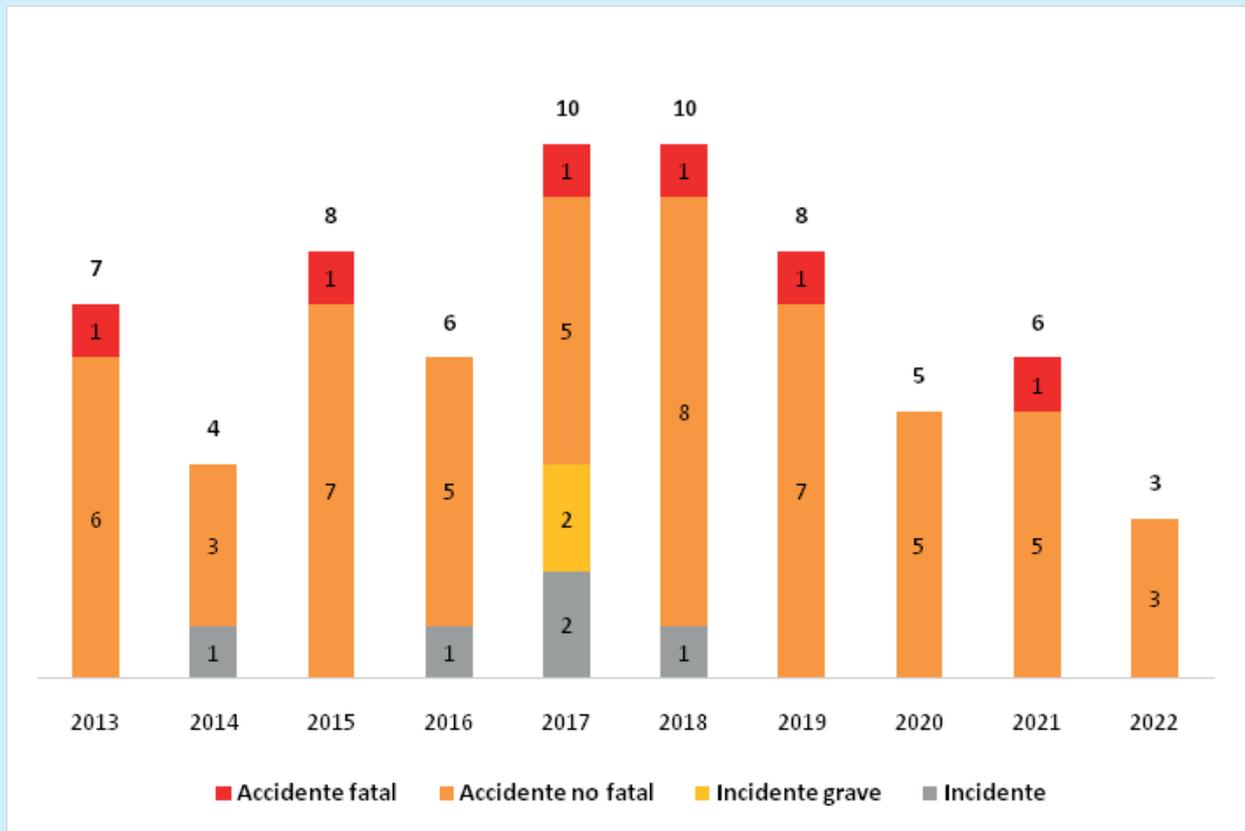
Fuente: elaboración propia.

Aplicación de la metodología a las operaciones de trabajo agroaéreo

Las operaciones agroaéreas comprenden aquellas actividades en las que se utilizan aeronaves para la aspersión o lanzamiento de sustancias destinadas a la producción agrícola. Estas operaciones incluyen la aplicación aérea de fertilizantes, semillas y productos para la protección de cultivos, la preservación de los bosques o el control de plagas, malezas y hongos que afectan a la agricultura y la horticultura.

Durante el periodo 2013-2022, la JST registró un total de 67 eventos relacionados con estas operaciones.

Gráfico 1. Serie anual de sucesos relacionados en operaciones de aeroaplicación en Argentina en el periodo 2013-2022



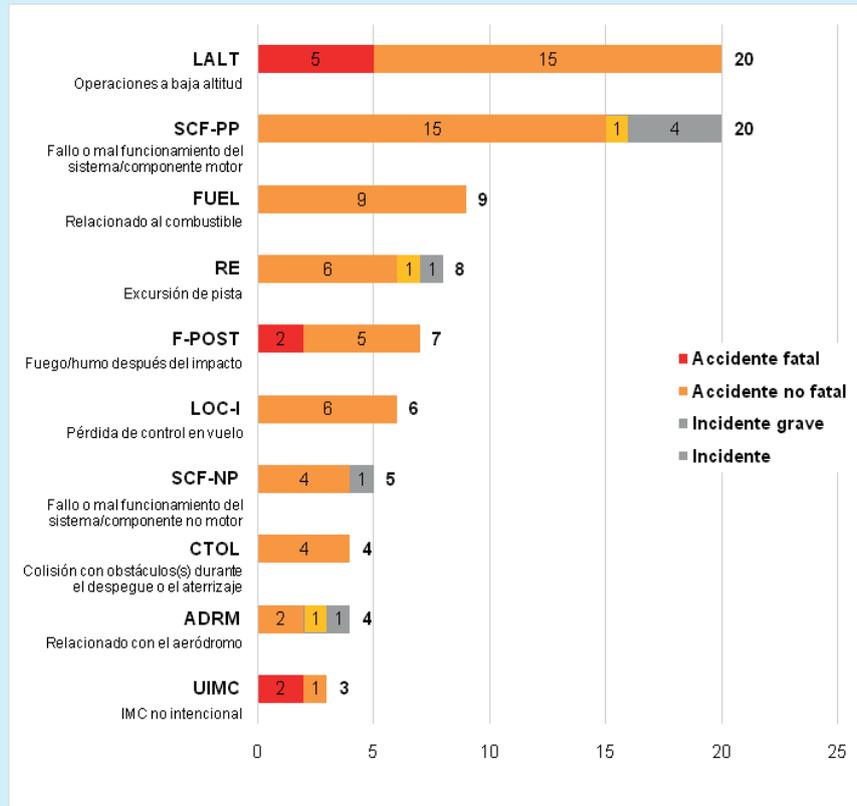
Fuente: Sistema ADREP/ECCAIRS, repositorio de la JST.

En cuanto a las categorías de sucesos, las dos que presentan mayor recurrencia y que a su vez, poseen la mayor cantidad de accidentes, son las operaciones a baja altitud (LALT) y el fallo o mal funcionamiento del motor (SCF-PP).

Le siguen otras 3 categorías con menos cantidad de ocurrencia: relacionados con el combustible (FUEL), excuriones de pista (RE) y fuego/humo después del impacto (F-POST).

En un mismo suceso pueden existir múltiples factores contribuyentes y, por lo tanto, es común que un suceso posea más de una categoría. Por esta razón, en el siguiente gráfico, la cantidad de sucesos registrados no coincide con la cantidad de sucesos por categoría.

Gráfico 2. Distribución por categorías de sucesos en operaciones de aeroaplicación en Argentina en el período 2013-2022



Fuente: Sistema ADREP/ECCAIRS, repositorio de la JST.

Aplicando el método anteriormente descrito, se pudo confeccionar la siguiente matriz de riesgo en función de la gravedad y frecuencia:

Figura 2. Matriz de riesgo aplicada a las operaciones de aeroaplicación

Probabilidad del riesgo	Gravedad del riesgo				
	Insignificante	Menor	Mayor	Peligroso	Catastrófico
Frecuente		SCF-PP		LALT	
Ocasional		FUEL RE			
Remoto		SCF-NP	LOC-I	F-POST	
Improbable	ADRM	ARC CTOL LOC-G		UIMC	
Extremadamente improbable		AMAN OTHR WILD			CFIT F-NI WSTRW

Fuente: elaboración propia.

Aplicando la matriz de riesgo a las áreas previamente definidas, se determinó el nivel de riesgo acumulado de cada categoría de suceso, en función de su gravedad y frecuencia, obteniendo como resultado las siguientes categorías en niveles rojo y amarillo:

Tabla 6. Categorías con mayor nivel de riesgo

Categoría	Rango de gravedad	Rango de frecuencia	Nivel de riesgo
LALT	4	5	20
F-POST	4	3	12
SCF-PP	2	5	10
LOC-I	3	3	9
UIMC	4	2	8
FUEL	2	4	8
RE	2	4	8
SCF-NP	2	3	6
CFIT	5	1	5
WSTRW	5	1	5
F-NI	5	1	5

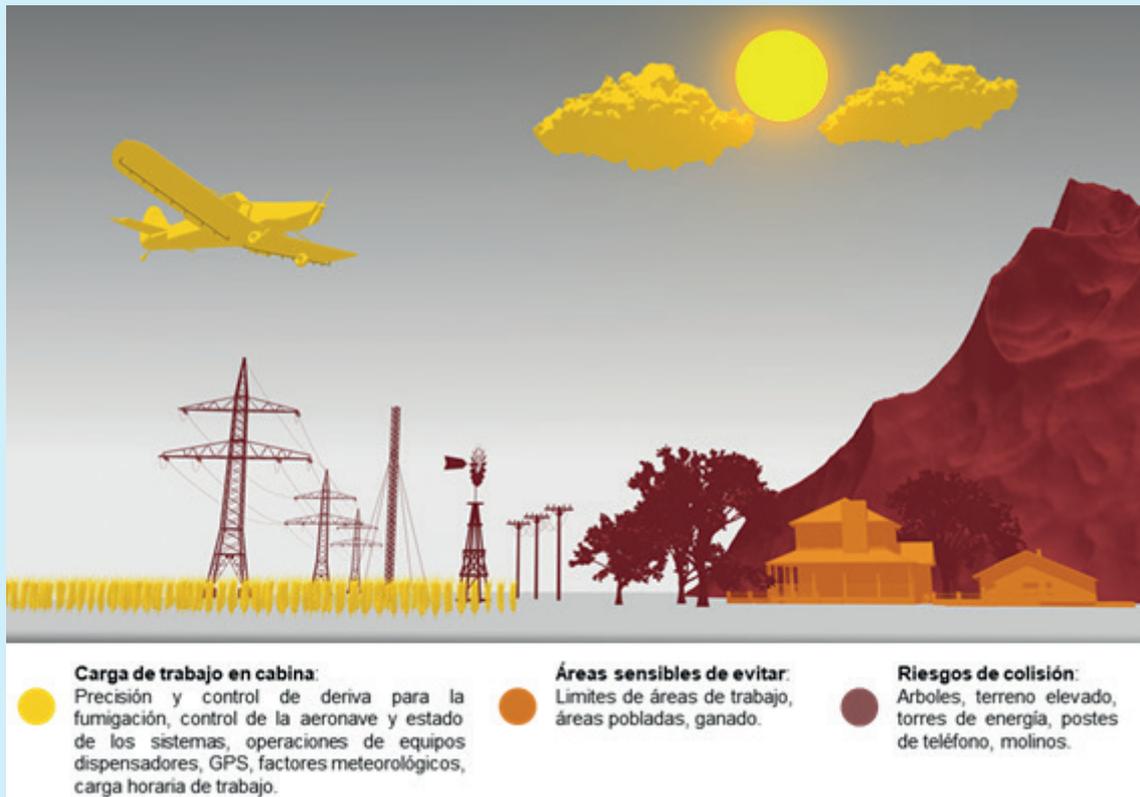
Fuente: elaboración propia.

Analizando estas categorías en detalle, suceso a suceso, se puede observar que las categorías LOC-I y LALT presentan escenarios coincidentes, es decir, la mayoría de los sucesos LALT involucran LOC-I. A su vez, los sucesos F-POST son resultado de los anteriores. Por tal motivo, y a los fines de presentación de la metodología expuesta, se determinó hacer principal énfasis en la categoría LALT por contener los escenarios con mayor nivel riesgo. La categoría SCF-PP también merece ser evaluada, aunque para los fines demostrativos de aplicabilidad de la metodología expuesta, basta con analizar únicamente la categoría LALT.

Esta categoría de suceso se define como la colisión o casi colisión con obstáculos, objetos o el terreno durante la operación intencional cerca de la superficie, excluyendo las fases de despegue y aterrizaje. Incluye diversas operaciones tales como, exhibiciones aéreas, maniobras a baja altura, vuelos panorámicos y turísticos, inspección aérea, aplicación aérea, operaciones de búsqueda y salvamento, entre otras.

En el caso de las operaciones de trabajo agroaéreo registradas por la JST, en los últimos diez años esta categoría representa aproximadamente el 33 % de los sucesos y, en su mayoría, han resultado en accidentes. Los pilotos agrícolas deben operar su equipo dispensador y ajustar sus recorridos, mientras monitorean los recursos en la cabina, para garantizar una cobertura eficiente. También deben monitorear en el exterior una variedad de consideraciones como fenómenos meteorológicos (que pueden afectar la visibilidad o la liberación del producto), los límites del área de trabajo, la presencia de obstáculos y las zonas que deben evitarse debido a la presencia de población, restricciones de ruido, presencia de ganado u otras medidas de seguridad. Estos factores, ya sea por separado o en combinación, pueden contribuir a la fatiga del piloto y a otros efectos que podrían degradar su rendimiento.

Figura 3. Elementos que demandan la atención del piloto



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, las herramientas derivadas de la metodología presentada son eficientes para la evaluación de riesgos en sucesos aéreos en Argentina. Dicha metodología no solo es eficiente en términos de tiempo y recursos, sino que también ofrece una sensibilidad ajustada a las exigencias operacionales de la investigación, ajustándose fielmente a los lineamientos del Anexo 13 de la OACI.

La adecuada gestión y análisis de los datos de seguridad operacional permite canalizar recursos de investigación de forma estratégica, optimizando el impacto en áreas vitales del sistema aéreo. Identificar y priorizar categorías con un riesgo elevado nos brinda una perspectiva clara sobre qué áreas requieren un análisis más detallado en cuanto a barreras defensivas y detección de desviaciones operacionales.

Por último, es esencial intensificar el monitoreo de aquellas categorías que presentan tanto un elevado nivel de riesgo como una alta probabilidad de recurrencia. Para ello, es fundamental establecer temas de vigilancia constante, garantizando así la robustez y efectividad de las barreras defensivas identificadas durante las investigaciones. Este enfoque es coherente y contribuye al logro de los objetivos establecidos por el SSP, en consonancia con el Anexo 19 de la OACI.

Referencias bibliográficas

- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). Doc. 9859 - Safety Management Manual. ICAO.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). Doc. 9766 - Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation. ICAO.
- Federal Aviation Administration (FAA). (n.d.). FAA Order 5200.11. FAA.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2019). ADREP Taxonomy. ICAO.
http://www.intlaviationstandards.org/apex/f?p=240:3:3947114865629::NO::P3_X:OC
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2010). Annex 13 - Aircraft Accident and Incident Investigation. ICAO.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2013). Annex 19 - Safety Management. ICAO.
- Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). RAAC 119 CERTIFICACION DE EXPLOTADORES DE SERVICIOS AEREOS (4ta edición).
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/raac_parte_119_0.pdf
- Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). RAAC 137 REQUISITOS DE OPERACIÓN Y CERTIFICACION PARA TRABAJO AGROAÉREO (4ta edición). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/parte-137_editada.pdf
- Federación Argentina de Cámaras Agroaéreas (FEARCA). <https://fearca.org.ar/>
- National Transportation Safety Board (NTSB). (2014). Special Investigation Report on the Safety of Agricultural Aircraft Operations. <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/documents/sir1401.pdf>
- Junta de Seguridad en el Transporte (JST). (2018). Alerta de seguridad operacional. Trabajo Agroaéreo. <https://www.argentina.gob.ar/jst/aviacion/productos-de-seguridad/alertas/vuelos-agroaereos>
- Skybrary. <https://skybrary.aero/>

Propiedades emergentes, resiliencia y seguridad operacional en un sistema sociotécnico ambiental ferroviario (SSTAF)

Emergent properties, resilience and operational safety in a socio-technical and environmental railway system

Gabriel Sosa.

Profesor, ingeniero, investigador de la DNISF, JST.

Recibido: 13/02/23

Aceptado: 19/03/23

Palabras clave: sistema sociotécnico ambiental ferroviario, interacciones, factores sociales, ambientales y técnico-tecnológicos, transporte, propiedades emergentes, seguridad operacional emergente, rendimiento, resiliencia.

Keywords: socio-technical environmental railway system interactions, social, environmental, and technological factors, transportation, emergent properties, emergent operational safety, performance, resilience.

Resumen

¿Cómo podemos hacer para ordenar los elementos de un sistema complejo de forma simple, metódica, repetitiva y general?, ¿cómo podemos visualizar las interacciones para ver las propiedades emergentes del sistema de transporte ferroviario?, ¿existe una sola forma de buscar o manejar esas propiedades? La propuesta de este artículo no busca responsables, causas, factores contribuyentes ni precursores. El análisis se centra, más bien, en las propiedades emergentes deseadas e indeseadas del sistema, que afecten a la seguridad operacional en el transporte.

Abstract

How can we arrange the elements of a complex system in a simple, methodical, repetitive and general way, how can we visualize the interactions to see the emergent properties of the rail transport system, is there only one way to look for or manage these properties? The proposal of this article does not look for responsible parties, causes, contributing factors, or precursors. Rather, the analysis focuses on desired and undesired emergent properties of the system that affect operational safety in transportation.

Introducción

Este trabajo profundiza en la temática abordada en el artículo "Razonamiento sistémico-matricial en sistemas sociotécnicos complejos aplicado al transporte ferroviario" (Sosa, 2022), publicado en el primer número de la Revista de Seguridad Operacional (ROS) de la JST. Se presenta una nueva perspectiva para modelar de manera integral la investigación y el análisis sistémico de accidentes e incidentes de transporte, con un enfoque específico en el modo ferroviario. Esta propuesta no se limita a la identificación de responsables, causas, factores contribuyentes o precursores; más bien, se enfoca en el análisis de las propiedades emergentes deseables e indeseables del sistema, así como en su resiliencia y rendimiento.

En la primera entrega formulamos los siguientes interrogantes: ¿Cómo podemos organizar los elementos de un sistema complejo de manera simple, metódica, repetitiva y general? ¿Cómo podemos visualizar las interacciones para comprender las propiedades emergentes del sistema de transporte ferroviario? ¿Existe una única forma de buscar o gestionar estas propiedades?

Partiendo del concepto de sistema complejo de Ludwig von Bertalanffy (1976), definido como un conjunto de elementos interactuantes, se introdujo la noción de que la interacción mutua de los distintos elementos de un sistema da lugar a propiedades emergentes, tanto deseables como indeseables (Bunge, 2003). Para operativizar estos conceptos, se desarrolló un procedimiento metódico basado en matrices de acoplamientos posibles (MAP), que facilita la visualización de los elementos, las interacciones y los distintos estados de un sistema sociotécnico ferroviario (SSTF).

Se concluyó que, mediante la adecuada definición de las identidades del sistema, es posible analizar accidentes causados tanto por fallos en los componentes como por su interacción. Este análisis se fundamentó en el enfoque de los sistemas de control, introducido en el modelo STAMP de Levenson (2004), así como en el enfoque prevencionista de los peligros, riesgos y barreras de protección propuesto por Reason (1997).

En esta segunda entrega, se amplía y complejiza el modelo anterior mediante la incorporación del enfoque resiliente (Hollnagel, Pariès, Woods y Wreathall, 2010), el enfoque prevencionista (Marchitto, 2011) y tomando como referencia el modelo para la gestión de la seguridad operacional ferroviaria de Alejandro Leonetti, referente en la materia en Argentina.

A diferencia del esquema presentado en el primer artículo (Sosa, 2022), este trabajo incorpora el factor ambiental como parte del compromiso con las próximas generaciones, en línea con el objetivo de la Ley Yolanda 27.592 de 2020, y amplía su campo de acción en la investigación y análisis de sucesos de transporte.

Modelos de gestión de sistemas sociotécnicos

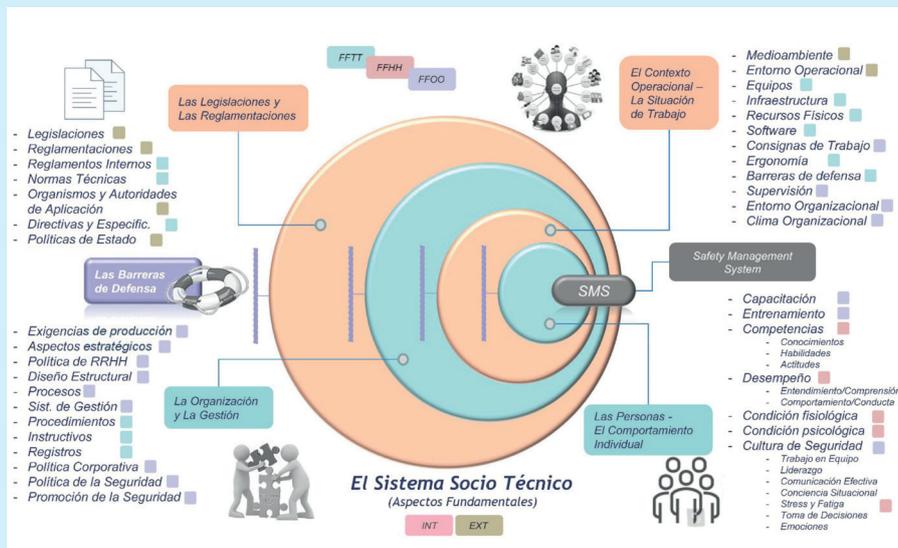
Existen distintos modelos de gestión para la seguridad operacional que podemos utilizar para entender cómo desarrollan las empresas esta actividad. A continuación, se expone un modelo que, desde la perspectiva ferroviaria, define a los "sistemas sociotécnicos" de la siguiente manera: concepto aplicado a una organización que plantea, en el marco de la misma, la conjunción de un sistema técnico y un sistema social que interactúan con un objetivo común (Leonetti, s.f.).

La idea surge del Instituto de Relaciones Humanas de Tavistock, Inglaterra, en los años 50, de la mano de Eric Trist y Ken Bramfort, quienes plantearon la existencia de un sistema técnico (recursos físicos, equipos, herramientas, el entorno y el medioambiente) y de un sistema social (las personas que componen la organización) que resultan ser inseparables.

Este enfoque aplica la naturaleza mixta de las relaciones de transformación de valor, conformadas por los factores técnicos y por la actuación de las personas en los roles asignados dentro de la organización. Cuando existe interacción del proceso operativo con otras organizaciones o con la comunidad, decimos que el sistema sociotécnico es abierto (Ludwig Von Bertalanffy, 1976).

En la Figura 1 se ilustran los aspectos fundamentales de un modelo de sistema sociotécnico abierto: las personas y el comportamiento individual, el contexto operacional, la organización y la gestión, las legislaciones y reglamentaciones y las barreras de defensa.

Figura 1. Aspectos fundamentales de un sistema sociotécnico



Fuente: material de cátedra de Leonetti (s/f).

Este modelo se encuentra plasmado en la Resolución N.º 170/2018 del Ministerio de Transporte de Argentina, la cual establece como objetivo para el transporte ferroviario de pasajeros y cargas la creación de un Sistema Nacional de Gestión de la Seguridad Operacional.

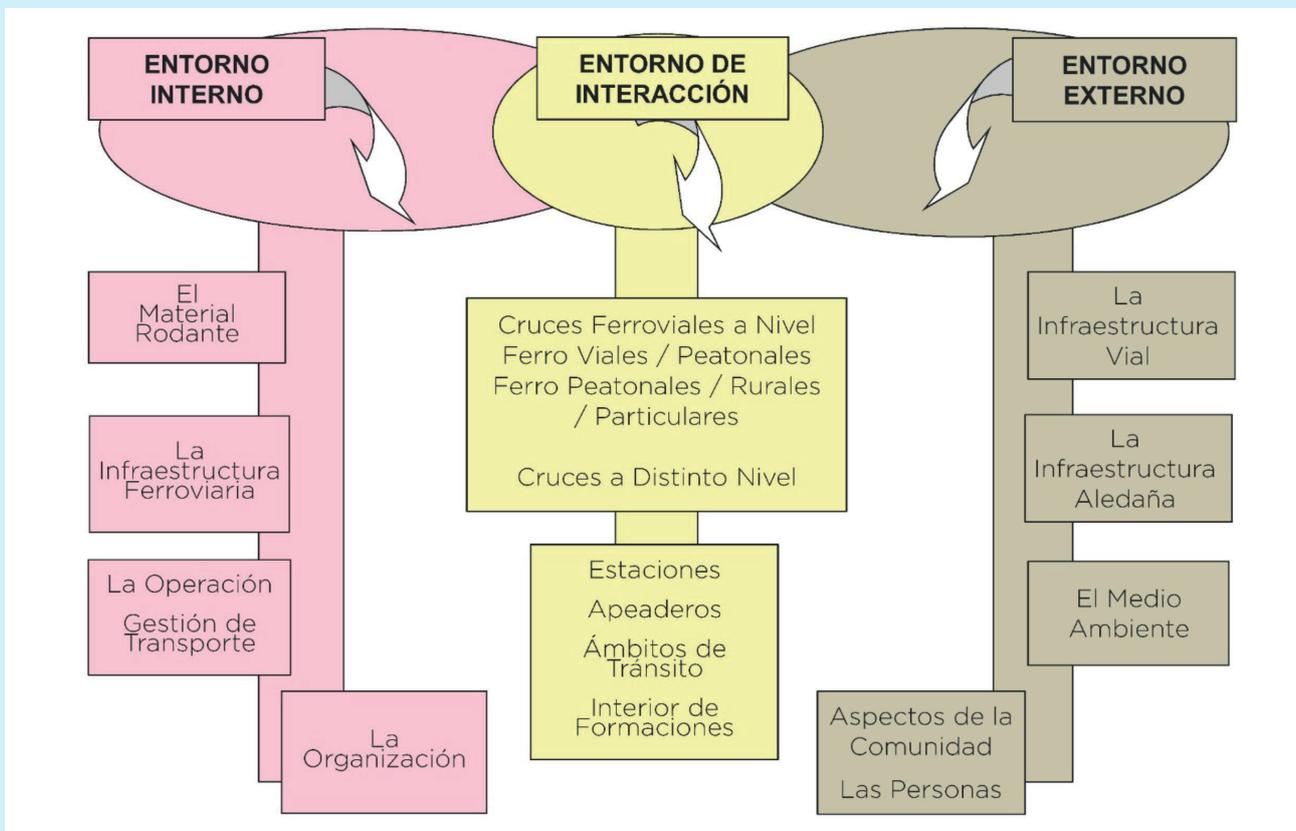
Dentro del modelo de la Figura 1, el "contexto operacional" se refiere a todas las circunstancias o condiciones del entorno (incluyendo el proceso operativo, las condiciones del medio y del ambiente, los parámetros específicos de la operación, políticas operativas, condiciones de mantenimiento, factores organizacionales, regulaciones, aspectos sociopolíticos y económicos, entre otros) en las cuales se espera que se desarrolle un determinado proceso operativo. Este contexto incluye todos los recursos necesarios para la ejecución del proceso y sus interfaces de interrelación con los sistemas circundantes (Leonetti, s.f.).

En el "contexto operacional" se pueden identificar tres entornos principales:

1. Entorno interno: se refiere al ambiente dentro de las fronteras físicas de la organización, considerando las limitaciones y condiciones que contiene el proceso operativo en sí mismo.
2. Entorno externo: abarca todas las condiciones y elementos que rodean la actividad desarrollada, incluyendo aspectos del medio ambiente, condiciones sociales, políticas y económicas externas a la organización.
3. Entorno de interacción: engloba las áreas donde la comunidad interactúa directamente con la actividad en cuestión.

Como se ilustra en la Figura 2, también se pueden reconocer distintos factores dentro de los tres entornos mencionados.

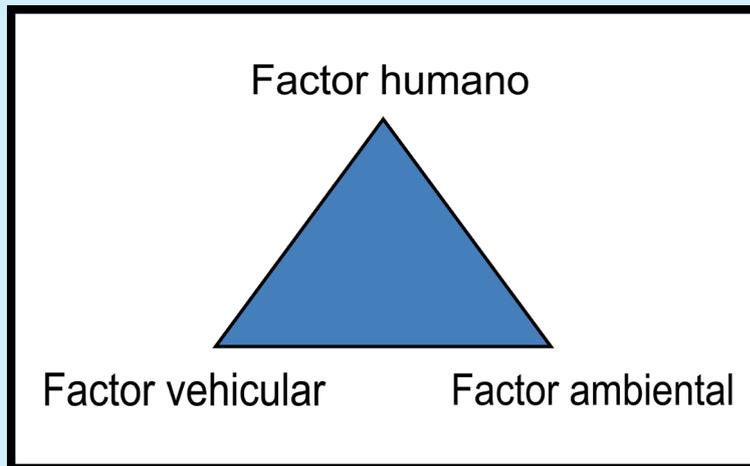
Figura 2. Esquema del contexto operacional



Fuente: material de cátedra de Leonetti (s/f).

Al igual que el modelo de gestión de seguridad operacional ferroviaria, existen otros enfoques para el análisis de sucesos, como el basado en la trílogía o tetralogía accidentalógica aplicado al modo automotor.

Figura 3. Trilogía accidentológica del modo automotor



Fuente: Borrell Vives et al, 2000.

En la trilogía accidentológica, los factores de riesgo implicados son el medio ambiente, el factor vehicular y el factor humano. Estos elementos son cruciales para la comprensión y prevención de accidentes viales. Por otro lado, en la tetralogía accidentológica, se incorpora un cuarto factor, que suele ser la gestión institucional o el entorno. Ambos enfoques se utilizan para analizar los accidentes desde distintas perspectivas, considerando una gama más amplia de elementos que influyen en la accidentalidad (Borrell Vives et al., 2000). A continuación, se describen brevemente los factores y las causas según el enfoque de la trilogía o tetralogía accidentológica:

- **Factor humano:** en seguridad vial, el factor humano se refiere a cómo conductores y peatones influyen en la seguridad en la circulación. Se destaca que las diferencias individuales, como sexo y edad, pueden afectar los tiempos de reacción ante situaciones de riesgo. Por ejemplo, un conductor joven puede tener tiempos de reacción más rápidos que uno mayor. Además, se menciona el tiempo psicofísico de reacción, que es el tiempo desde que una persona percibe un peligro hasta que reacciona ante él. Este tiempo puede variar según factores como la salud física y mental, el consumo de alcohol y la fatiga.
- **Factor de la vía:** se refiere a cómo las características de la calzada y su entorno influyen en la seguridad vial. Por ejemplo, una ruta con curvas cerradas y poco visibles puede aumentar el riesgo de accidentes. Condiciones como el estado de conservación de la calzada, el diseño de las curvas y la presencia de señales de tránsito también pueden afectar la seguridad de los conductores.
- **Factor ambiental:** se refiere a cómo las condiciones climáticas afectan la seguridad vial. Por ejemplo, la lluvia puede reducir la visibilidad y hacer que las calzadas estén resbaladizas, aumentando el riesgo de accidentes. Otros factores ambientales, como la nieve, el hielo, la niebla y la luminosidad, también pueden influir en la seguridad vial.
- **Factor vehicular:** se refiere a cómo las características técnicas de los vehículos pueden influir en la seguridad vial. Por ejemplo, un vehículo con un sistema de frenado deficiente puede tener un mayor riesgo de estar involucrado en un accidente.

Según este enfoque, la causa de un siniestro es el resultado final de un proceso en el que se combinan diversos eventos, condiciones y conductas. Los factores que desencadenan un suceso surgen de las interacciones entre el conductor, el vehículo y la vía en ciertas condiciones ambientales. Para comprender estos factores de riesgo, se definen términos básicos como grado de peligrosidad, fuente del riesgo, factor de riesgo, entre otros (Bustos, 2012).

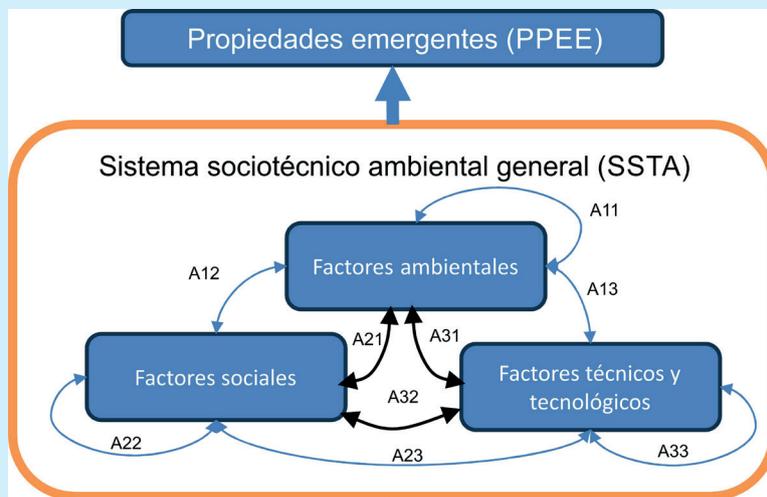
Como se puede observar, en el enfoque anterior se buscan las causas de un siniestro, no obstante, en este artículo se desarrolla una propuesta metodológica que toma los aportes de diversos modelos de gestión de seguridad operacional sin atribuir responsabilidades, identificar causas, factores contribuyentes o precursores. Más bien, el análisis se enfoca en las propiedades emergentes deseadas e indeseadas del sistema que afectan la seguridad operacional en el transporte.

El objetivo es proponer un esquema general para investigar accidentes e incidentes que abarque tanto el modelo de gestión de seguridad operacional existente en el ámbito ferroviario, como aquellos modelos de investigación accidentológica de otros modos de transporte que interactúan con el ferrocarril. En esta línea, tanto el transporte ferroviario como los otros modos que interactúan en el accidente o incidente bajo análisis son considerados propiedades emergentes deseables, resultantes de complejas interacciones multidimensionales entre los factores sociales (las personas, su organización y su cultura), los factores técnicos-tecnológicos (las herramientas, las técnicas, etc.) y el ambiente (la naturaleza, la ley física, ciclos estacionales, etc.).

Modelo general de investigación de accidentes e incidentes de un sistema sociotécnico ambiental (SSTA)

Dentro de nuestra propuesta se identifican tres grupos fundamentales de factores: sociales, técnicos-tecnológicos y ambientales. En la Figura 4, las flechas simbolizan la combinación o acoplamiento de estos factores, que generarían, a su vez, las interacciones o propiedades emergentes del sistema bajo análisis donde ocurrió un suceso.

Figura 4. Modelo general de gestión de un sistema sociotécnico ambiental (SSTA)



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 5 se puede observar una Matriz de Acoplamientos Posibles (MAP), donde las propiedades emergentes (PPEE) están representadas por los acoplamientos "Aij".

Figura 5. Matriz de Acoplamientos Posibles (MAP) del modelo SSTA

Propiedades emergentes PPEE	Factores Ambientales FFAA	Factores Sociales FFSS	Factores Técnicos - Tecnológicos FTT
Factores Ambientales FFAA	A11	A12	A13
Factores Sociales FFSS	A21	A22	A23
Factores Técnicos - Tecnológicos FTT	A31	A32	A33

Fuente: elaboración propia¹.

1. Por conveniencia gráfica, la matriz es cuadrada, pero también podría ser cúbica, permitiendo acoplamientos triples que serían visibles en un entorno gráfico tridimensional (3D).

Definición de la triada de factores

A continuación, se explican de manera axiomática cada uno de los factores. Estas definiciones se basan en el sentido común que prevalece en distintos modelos como el de gestión de la seguridad operacional ilustrado en la Figura 1 o la trilogía accidentológica de la Figura 3.

Factores ambientales (FFAA)

Son elementos de la naturaleza que interactúan o se relacionan entre sí, dando lugar a la aparición de distintas propiedades emergentes (PPEE), como ser:

- Propiedades climáticas y físicas: incluyen la temperatura, la humedad, el nivel de precipitaciones y la velocidad del viento de una región.
- Propiedades geográficas-topológicas: se refieren a la geografía física y topografía del terreno, como la presencia de montañas, ríos y valles.
- Propiedades estacionales: abarcan los ciclos naturales que afectan las actividades agrícolas y ganaderas, como las temporadas de cosecha.
- Propiedades ecológicas: relacionadas con la biodiversidad y los ecosistemas, incluyendo la presencia de especies protegidas y áreas de conservación.

Factores sociales (FFSS)

Se vinculan a los elementos humanos y organizacionales que interactúan para dar lugar a diversas PPEE. Estas pueden ser:

- Propiedades organizacionales:
 - Estructura organizativa: la jerarquía y distribución de roles dentro de la organización, que facilita la toma de decisiones y la ejecución de operaciones.
 - Cultura corporativa: los valores y normas compartidos que influyen en el comportamiento y las interacciones del personal, afectando la moral y la productividad.
 - Habilidades y competencias del personal: la capacitación y experiencia que posee el personal, esencial para el mantenimiento y la operación segura del sistema ferroviario.
 - Políticas de Recursos Humanos: estrategias para la gestión del personal, incluyendo reclutamiento, capacitación, evaluación y desarrollo profesional.
 - Normas y regulaciones internas: directrices que rigen las operaciones diarias, asegurando la seguridad, eficiencia y cumplimiento regulatorio.
- Contexto social:
 - Características de los usuarios: diversidad en las necesidades y expectativas, incluyendo accesibilidad para personas con discapacidades.
 - Políticas públicas de transporte: decisiones gubernamentales que afectan la planificación, operación y financiamiento del SSTA.F.
 - Condiciones económicas: factores económicos que impactan la demanda de servicios ferroviarios y la asignación de recursos para su operación y mantenimiento.
 - Necesidades y expectativas de diferentes grupos de usuarios: esto incluye la consideración de servicios inclusivos para personas con diversas necesidades.

- Gremios ferroviarios: su influencia en las condiciones laborales, políticas laborales y operaciones del sistema.
- Interacción con otros modos de transporte: la forma en que el SSTA se integra y coordina con otros modos, especialmente en puntos de acceso compartido como son los pasos a nivel (PAN), para una movilidad eficiente y segura.

Factores técnicos-tecnológicos (FFTT)

Este tipo de factores en el sistema ferroviario no solo contribuye de forma individual a su funcionamiento, sino que también su interacción genera propiedades emergentes cruciales para la construcción, operación y mantenimiento del sistema. Estas PPEE incluyen:

- Propiedades de la vía: resultan de la interacción entre rieles, fijaciones y durmientes, creando una infraestructura que soporta eficientemente el tráfico ferroviario bajo diversas condiciones ambientales y de carga. La resiliencia y estabilidad de la vía son ejemplos de propiedades emergentes que aseguran la seguridad y continuidad de las operaciones.
- Capacidad de señalización y comunicación: surge de la integración de tecnologías de señalización y sistemas de comunicación, permitiendo una gestión de tráfico precisa y segura. Esta propiedad emergente facilita la coordinación entre trenes y controladores, optimizando el flujo de trenes y minimizando los riesgos de colisión.
- Eficiencia en la gestión de trenes: la combinación de sistemas de gestión de trenes y tecnologías de seguimiento da lugar a una operación optimizada, donde la programación, despacho y seguimiento de trenes se realizan con máxima eficiencia, mejorando la puntualidad y capacidad de la red.
- Sostenibilidad del mantenimiento: la aplicación de técnicas avanzadas de mantenimiento y diagnóstico predictivo en equipos y material rodante conduce a una mayor disponibilidad y vida útil de los activos ferroviarios, reduciendo las interrupciones del servicio y los costos operativos.
- Integración de la información: la interacción entre sistemas de gestión de información y tecnologías operativas genera una red de datos integrada que soporta la toma de decisiones en tiempo real, mejora la respuesta a incidentes y facilita la planificación estratégica.

Propiedades emergentes (PPEE)

Las diversas interacciones entre los tres tipos de factores desarrollados previamente dan lugar a la emergencia del SSTA y a los demás modos que interactúen en el suceso.

Según Mario Bunge (2003), se dice que la propiedad de un objeto complejo es emergente si ninguno de los constituyentes o precursores del objeto la posee. A continuación, se propone un procedimiento general para determinar las PPEE de un SSTA, de acuerdo a la definición citada.

1. En primer lugar, se deben identificar los factores FFAA, FFSS y FFTT relevantes del sistema bajo análisis, los cuales pueden variar según el contexto específico.
2. En segundo lugar, se deben analizar las interacciones entre los diferentes factores y subfactores, así como la influencia entre ellos.
3. En tercer lugar, se deben registrar aquellas propiedades emergentes del sistema ferroviario y de los demás modos de transporte interactuantes que resulten de las combinaciones entre los factores.
4. Finalmente, se deben validar las propiedades emergentes (PPEE) identificadas. Este proceso puede implicar la revisión de literatura, consultas con expertos y análisis pormenorizados, entre otras acciones.

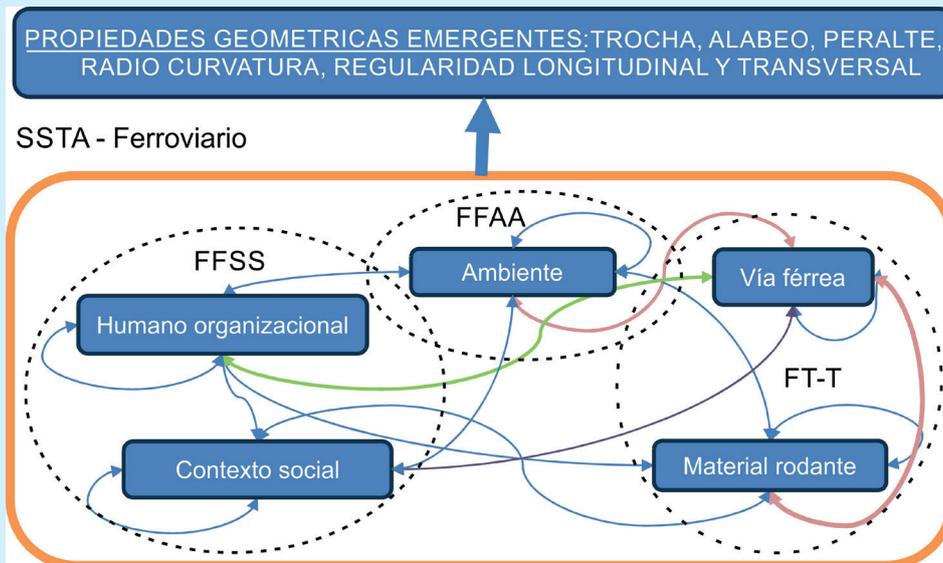
El objetivo principal es asegurarse de que las propiedades identificadas sean genuinamente "emergentes", de acuerdo con la definición de Bunge, y no simplemente propiedades asociadas a los factores individuales.

En el siguiente apartado se desarrolla un ejemplo de una PPEE resultante de la interacción entre los tres tipos de factores citados y sus respectivos subfactores.

El ejemplo de la "trocha" como propiedad emergente de un SSTA

En la Figura 6 se puede observar cómo la interacción entre los factores FFAA, FFFT y FFSS da lugar a ciertas propiedades geométricas, como la trocha, el peralte, el radio de curvatura, entre otras.

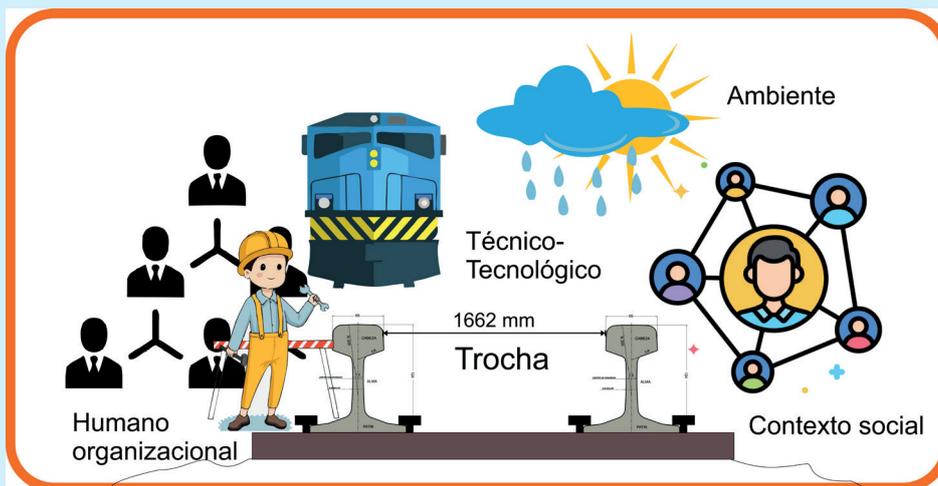
Figura 6. Modelo de SSTA y propiedades geométricas emergentes



Fuente: elaboración propia.

Para ilustrar nuestro ejemplo, nos centraremos en la propiedad emergente "trocha" (ver Figura 7), que se define como la distancia entre las caras internas de las cabezas de los rieles que conforman la vía, medida 14 mm por debajo del plano de rodadura en alineación recta.

Figura 7. Croquis de una trocha de vía



Fuente: Vías férreas (s/f).

En la Figura 8 se presenta una matriz de acoplamientos posibles (MAP) de propiedades emergentes (PPEE), es decir, una matriz de propiedades emergentes (MPPEE)², construida sobre la base de ejemplos de interacciones de diferentes subfactores del modelo SSTA presentado en la Figura 4. Es importante mencionar que la matriz es bi-

² Si consideramos su aplicación en investigaciones de accidentes, la MEP podría desarrollarse utilizando la herramienta Excel o bien mediante el uso de inteligencia artificial.

Figura 8. Matriz de Propiedades Emergentes (MPPEE) del SSTAF

Trocha emergente		FFAA	FFSS		FFTT				
		Ambiente	Contexto social	Humano Org.	Material rodante	Riel derecho	Riel izquierdo	Fijaciones D y I	Durmientes y balasto
FFAA	Ambiente	Condiciones geográficas y climáticas	Influencia Ambiental-Organizacional	Adaptación Organizacional	Expansión - Contracción - Esfuerzos mecánicos. Erosión. Corrosión, Desgaste, Descomposición. Contaminación, Calidad del aire, Aludes, etc.,				
FFSS	Contexto social	Comportamientos y actitudes sociales	Cultura normativa	Interacción Social-Organizacional	Expectativas del servicio	Presión Comunitaria, Desarrollo Urbano, Situación económica, Vandalismo, Etc.			
	Humano Org.	Respuesta Organizacional al Ambiente	Normativas Operativas y Socio-Organizacionales	Estructura organizacional	Fatiga operacional	Operación y Mantenimiento	Protocolos de Fijación	Protocolo de Inspección	Gestión de Durmientes
FFTT	Material rodante	Tracción y frenado	Accidente o incidente	Protocolos de uso.	Propiedades del material rodante	Cargas dinámicas	Cargas dinámicas	Accidente o incidente	Accidente o incidente
	Riel derecho	Concentración térmica	PAN	Protocolos de mantenimiento	Fuerzas de reacción	Resiliencia Mecánica	Trocha	Cohesión con Fijaciones D	Estabilidad con el durmiente
	Riel izquierdo			Protocolos de mantenimiento	Fuerzas de reacción	Trocha	Resiliencia Mecánica	Cohesión con Fijaciones I	Estabilidad con durmientes
	Fijaciones D y I	Impacto Ambiental de las Fijaciones		Protocolos de Mantenimiento de Durmientes	Accidente o incidente	Fuerzas de reacción	Fuerzas de reacción	Propiedades de las Fijaciones	Fuerza de sujeción
	Durmientes y balasto	Impacto Ambiental de los Durmientes		Accidente o incidente	Fuerzas de reacción	Fuerzas de reacción	Fuerzas de reacción	Propiedades de Durmientes y Balasto	

Referencia: en verde, los riesgos aceptables; en amarillo, los riesgos poco aceptables; y en rojo, los riesgos inaceptables.
 En celeste se identifican las identidades del sistema que resultan de la interacción de los mismos factores entre sí. Las casillas sin color están sin análisis.

Fuente: elaboración propia.

dimensional por razones de claridad visual, pero podría ser tridimensional para representar acoplamientos triples. En casos donde los acoplamientos no puedan visualizarse, se recurriría a un análisis multidimensional.

La MPPEE de la Figura 8 representa un caso hipotético de investigación accidentalológica, en donde no solo se busca medir la trocha para obtener un valor geométrico, sino que se pretenden analizar todas las interacciones de los subfactores intervinientes del SSTAF bajo análisis, para poder identificar distintos tipos de riesgos.

Luego de elaborar la matriz, el investigador debe analizarla. En dicha instancia se encontrará con propiedades resultantes de las interacciones de los subfactores de un SSTAF particular.

A modo de ejemplo, definimos algunas de las PPEE de la matriz:

- Trocha (verde): la trocha emerge como una propiedad geométrica de la interacción entre el riel izquierdo y el riel derecho, pero también depende de la interacción con las fijaciones, los durmientes, el balasto; los protocolos de inspección y mantenimiento y demás factores. La distancia entre los rieles es esencial para la estabilidad y la operación del material rodante.
- PAN (amarillo): en este ejemplo, el paso a nivel (PAN) surge del acoplamiento bidimensional de la vía con el contexto social, aunque en la práctica podría ser multidimensional. Esta propiedad emergente, al igual que muchas de las ejemplificadas en la matriz, merece un análisis más detallado. De manera sucinta, la abordaremos con la misma lógica que hemos seguido hasta ahora. Consideraremos al contexto social como una propiedad emergente del acoplamiento multidimensional entre factores sociales, factores técnicos-tecnológicos y factores ambientales. Por lo tanto, al analizar un suceso en un PAN, no solo nos centraremos en aspectos inherentes a los factores intervinientes, como la organización interna de la operadora ferroviaria, el comportamiento técnico de los operarios en horario laboral, las normativas influyentes, la temperatura, la visibilidad, la velocidad del viento, etc., sino que también examinaremos los factores del contexto social emergente³. Por ejemplo, si se trata de una colisión en un PAN rural con un camión de cargas vitivinícola, podemos analizar el factor ambiental del contexto social desde el punto de vista estacional interactuando con el factor social en

3. Es importante considerar, dentro de los factores del contexto social emergente, a los diversos actores del transporte público. Estos pueden incluir técnicos, políticos, económicos, académicos, científicos o miembros de la comunidad que están fuera del ámbito ferroviario.

su dimensión socioeconómica. Esto podría relacionarse con la temporada de cosecha de uva, donde el flujo vehicular promedio anual en el PAN es bajo, pero durante la temporada de cosecha aumenta por encima de los umbrales normalizados para determinar la instalación de barreras automáticas. Quizás una recomendación de seguridad, además del cumplimiento de la SETOP⁴, sea coordinar a los actores del contexto social y a la operadora ferroviaria a cargo de la vía para establecer un calendario de otro tipo de recubrimiento temporal en el PAN durante la temporada de cosecha.

- Adaptación organizacional (blanco): esta propiedad emerge de la interacción del factor ambiental general y un subfactor social, como el humano organizacional.
- Desgaste ambiental del material (amarillo): emerge de la interacción del factor ambiental con distintos subfactores, como material rodante, riel izquierdo y derecho, fijaciones, durmientes.
- Cultura normativa (celeste): esta propiedad emergente resulta de la interacción entre factores sociales, y se materializa, por ejemplo, en regulaciones sociales relacionadas con el sistema ferroviario.
- Resiliencia mecánica (celeste): esta propiedad emerge de la interacción de los subfactores riel derecho y riel izquierdo y representa la capacidad del riel para resistir y recuperarse de esfuerzos y tensiones mecánicas.
- El accidente/incidente (rojo) sería una propiedad emergente no deseada de la interacción de los subfactores material rodante y durmientes/balasto, combinaciones para las cuales el sistema no fue diseñado. Esto puede resultar en daños al material rodante, infraestructura o lesiones a personas. Su detección durante un relevario indica un descarrilamiento, por lo tanto, es crucial evitarlo, gestionando los riesgos asociados que surgen de este tipo de interacciones.

Propiedades emergentes (PPEE) y peligros asociados a factores generales

Figura 9. Matriz de propiedades emergentes (MPPEE) del SSTAF y peligros asociados

Propiedades Emergentes (PPEE) y peligros (P)	Factores Ambientales (FFAA)	Factores Sociales (FFSS)	Factores Técnicos-tecnológicos (FFTT)
FFAA	PPEE: microclima P: cambios extremos de temperatura	PPEE: impacto ambiental en la operación P: impacto de las operaciones en la comunidad local	PPEE: vías resilientes P: Erosión
FFSS	PPEE: estaciones resilientes P: impactos del cambio climático	PPEE: cultura organizacional P: falta de capacitación	PPEE: accesibilidad P: barreras arquitectónicas
FFTT	PPEE: tecnología para la resiliencia P: fallos técnicos en condiciones extremas	PPEE: tecnología para la inclusión P: falta de tecnología de asistencia	PPEE: eficiencia operativa P: obsolescencia de equipos

Fuente: elaboración propia.

4. Resolución N.º 7 de 1981 de la Secretaría de Estado de Transporte y Obras Públicas de Argentina, conocidas como normas SETOP para los cruces entre caminos y vías férreas. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/setop_7-81.pdf

En la Figura 9 se presenta una MPPEE hipotética, en un nivel más generalizado que la matriz de la Figura 8, con ejemplos de posibles peligros asociados (P).

A continuación, describimos las propiedades emergentes (PPEE) identificadas junto con algunos peligros asociados:

- **Microclima:** esta propiedad resulta de la interacción entre factores ambientales en una región determinada. Puede surgir de la combinación de diferentes subfactores, como la topografía, el tipo de suelo, la vegetación, la reflexión del calor, etc., y dar lugar, por ejemplo, a la emergencia de temperaturas extremas en un tramo de vía plena.
- **Cultura organizacional:** surge de la interacción de diferentes factores sociales, como las políticas de Recursos Humanos, la estructura organizativa y las normas internas del sistema ferroviario bajo análisis. Un peligro que puede asociarse a esta PPEE es la falta de capacitación continua.
- **Eficiencia operativa:** esta propiedad puede surgir de la interacción de diferentes factores tecnológicos y técnicos, como la tecnología de señalización, de gestión de trenes y de mantenimiento. Por ejemplo, la implementación de un sistema de gestión basado en registradores de evento y GPS puede mejorar la eficiencia operativa del sistema, al permitir un seguimiento más preciso de la circulación de los trenes. Un peligro asociado a esta PPEE podría ser la obsolescencia de maquinarias o equipos.
- **Estaciones resilientes:** estas PPEE surgen de la interacción entre los factores sociales y ambientales. Peligros asociados a esta propiedad, podrían ser, por ejemplo, inundaciones imprevistas. Por ello, en una región propensa a inundaciones, la estación de tren podría diseñarse con características de resiliencia, con plataformas elevadas y sistemas de drenaje eficientes.
- **Accesibilidad:** esta propiedad surge de la interacción entre los factores sociales y técnicos-tecnológicos. Un peligro asociado podría ser la presencia de barreras arquitectónicas que impidan la inclusión de personas con movilidad reducida. En este caso, la demanda de accesibilidad se podría abordar mediante la implementación de tecnología de asistencia, la instalación de rampas, la señalización en Braille, entre otras medidas.
- **Vías resilientes:** el diseño de vías resilientes puede surgir de la interacción entre los factores ambientales y los técnicos-tecnológicos. Un peligro asociado de la interacción de estos factores, podría ser, por ejemplo, la erosión de la vía por estrés dinámico. Ahora bien, al detectarse dicho peligro en una región con suelos inestables, las vías del tren podrían diseñarse con características de resiliencia, como cimientos reforzados y materiales de construcción duraderos.
- **Impacto ambiental en la operación:** esta propiedad puede surgir de la interacción entre los factores ambientales y sociales. Por ejemplo, en una región con altos niveles de contaminación del aire, la operación del tren puede verse afectada por regulaciones ambientales estrictas que comprometen su funcionamiento.
- **Tecnología para la inclusión:** puede surgir, por ejemplo, de la interacción entre factores técnicos-tecnológicos y sociales, en respuesta a una demanda particular. Por ejemplo, la tecnología de señalización en Braille en estaciones, que podría mejorar la inclusión de los usuarios con discapacidades.
- **Tecnología para la resiliencia:** esta PPEE puede surgir de la interacción entre los factores técnicos-tecnológicos y ambientales. Por ejemplo, la implementación de tecnología de monitoreo de condiciones, como sensores de humedad y temperatura, puede mejorar la resiliencia del sistema ferroviario en condiciones ambientales adversas.

Peligros asociados a las PPEE

Desde un enfoque prevencionista, el peligro se define como una situación caracterizada por la posibilidad presente de causar daño a bienes y/o lesiones a personas. También puede describirse como la probabilidad actual de que una situación resulte en daño.

Se considera un peligro real cuando tiene la capacidad de causar daño de inmediato. En cambio, un peligro potencial se relaciona con una situación oculta que se manifiesta cuando se dan las condiciones necesarias (condición latente o peligro latente).

Para el prevenciónismo, los peligros generan riesgos que deben mantenerse en niveles aceptables. Desde el enfoque clásico de la seguridad operacional, los peligros se consideran como generadores de propiedades emergentes no deseadas que deben evitarse. Los sistemas se diseñan para ser robustos frente a estos peligros, utilizando estrategias como la redundancia y la mitigación de riesgos.

Los peligros se perciben como resultados de condiciones inseguras, fallos, errores o mal funcionamiento. La seguridad se alcanza, precisamente, evitando la ocurrencia de eventos (Hollnagel, 2009).

Con la introducción del enfoque de la resiliencia, adoptamos una perspectiva diferente sobre los peligros. En lugar de centrarnos exclusivamente en prevenirlos, procuramos comprender cómo los sistemas pueden adaptarse y recuperarse de los peligros presentes.

Para complementar lo dicho previamente, proponemos el término "resiliencia operativa", que se entiende como la capacidad del sistema para ajustarse a su entorno cambiante y para mantener o mejorar su rendimiento. Si los peligros se consideran parte integral del contexto operativo del sistema, la resiliencia operativa se lograría mediante la adaptabilidad y la capacidad de recuperación.

Habilidades de un sistema resiliente

Según Hollnagel (2010), se pueden identificar cuatro habilidades necesarias para que un sistema sea resiliente en términos operativos:

1. Responder: saber qué hacer, es decir, cómo responder a las perturbaciones y variabilidades regulares e irregulares, ya sea implementando un conjunto preparado de respuestas o ajustando el funcionamiento normal. Esto se traduce en la capacidad de abordar lo actual.
2. Monitorear: saber qué buscar, es decir, cómo monitorear lo que está cambiando o puede cambiar en el corto plazo, lo cual requerirá una respuesta. El monitoreo debe cubrir tanto el funcionamiento del propio sistema como los cambios en el entorno. Esto se traduce en la capacidad de abordar lo crítico.
3. Anticipar: saber qué esperar, es decir, cómo anticipar propiedades emergentes, amenazas y oportunidades en el futuro, así como posibles interrupciones o cambios en las condiciones operativas. Esto se traduce en la capacidad de abordar lo potencial.
4. Aprender: saber qué ha sucedido, es decir, cómo aprender de la experiencia, cómo encarar las lecciones aprendidas, tanto de los éxitos como de los fracasos. Esto se traduce en la capacidad de abordar lo factual.

La seguridad operacional como una propiedad emergente

Según el enfoque prevenciónista, cada componente del sistema sociotécnico ambiental ferroviario (SSTAF) posee sus propios peligros y riesgos asociados. La gestión efectiva de estos en cada factor contribuye al estado general de la seguridad operacional del sistema.

En este sentido, la seguridad operacional podría considerarse como una propiedad inherente de cada factor, en lugar de una propiedad emergente del sistema en su conjunto, según la definición de Bunge (2003).

Para ampliar el debate sobre modelos de análisis de accidentes de transporte, proponemos repensar el concepto de seguridad operacional, trascendiendo el enfoque prevenciónista de Reason (1997) y absorbiendo conceptos como el de propiedades emergentes y matrices de acoplamientos posibles presentados en este artículo y en la entrega anterior.

Asimismo, proponemos un nuevo concepto, el de "seguridad operacional emergente", definido como el estado dinámico y adaptativo de un sistema, en el cual las interacciones entre sus componentes, subfactores y las propiedades emergentes resultantes de estas interacciones se gestionan de manera continua y adaptativa para mantener los riesgos de lesiones a personas o daños a bienes en un nivel aceptable o por debajo del mismo, así como también para mantener un rendimiento operativo aceptable frente a las propiedades emergentes no deseadas.

Este estado se lograría mediante la identificación y gestión de los peligros y riesgos inherentes del sistema, así como también de los peligros asociados a las propiedades emergentes de las interacciones entre los componentes y subfactores del sistema. Esto se puede lograr con el uso de las matrices de acoplamientos posibles (MAP).

La seguridad operacional emergente (SOE) no debe entenderse como un estado fijo o estático, sino más bien como un estado en constante cambio y evolución, que adquiere distintas dinámicas en respuesta a las variaciones en el sistema y en su entorno. Por ejemplo, las condiciones climáticas, el estado de la infraestructura, el comportamiento humano, entre otros factores; pueden cambiar de un momento a otro, afectando la seguridad operacional emergente.

Un sistema que contemple la SOE podría adaptarse a estos cambios de manera efectiva, para mantener un nivel de seguridad y rendimiento adecuado. Esto implica la capacidad de detectar cambios, evaluar su impacto en la seguridad operacional y tomar medidas para adaptarse a ellos de manera oportuna. Desde la investigación de sucesos se podrían elaborar recomendaciones de seguridad en esa línea conceptual.

Reflexiones

Dentro de la propuesta metodológica y conceptual desarrollada en este artículo, se reconoce que el transporte ferroviario y los demás modos interactuantes son propiedades emergentes deseadas, de alto impacto, resultantes de los acoplamientos, complejos y multidimensionales, de los factores del sistema sociotécnico ambiental ferroviario (SSTAF).

Entre las distintas propiedades deseadas, la seguridad operacional emergente (SOE) no se establece como una propiedad estática y aditiva de los componentes individuales del sistema, sino que surge de las interacciones entre los componentes y los subfactores. Al utilizar matrices de acoplamientos posibles (MAP), se pueden visualizar, anticipar y gestionar los riesgos asociados a estas propiedades.

En el ejemplo de la Matriz de Propiedades Emergentes (MPPEE) del SSTAF (Figura 8), donde la "trocha" se considera como la propiedad fundamental y se acopla de a pares a los factores, se puede observar que la aparición de un accidente o incidente es intrínseca al sistema presentado de forma hipotética. Por lo tanto, una recomendación de seguridad operacional emergente (SOE) para fortalecer la resiliencia operativa sería aumentar la cantidad de propiedades emergentes (PPEE) deseadas con alto impacto en la operación, donde podamos gestionar sus peligros asociados de manera eficiente para que el rendimiento sea lo más elevado posible.

Administrar el cociente entre la ocurrencia de PPEE deseadas y su impacto sobre la ocurrencia de PPEE no deseadas, tendiendo al mayor valor posible, puede servir como enfoque complementario al prevencionista. Una expresión del rendimiento de una MPPEE del SSTAF podría ser la siguiente:

$$R = \frac{\sum_m PEd_m \cdot Iped_m}{\sum_n PEnd_n \cdot Ipend_n}, m = 1, 2, \dots, M_{PEd}; n = 1, 2, \dots, N_{PEnd} \quad (1)$$

- **R** es un indicador del rendimiento de la matriz de propiedades emergentes bajo análisis.
- **PEd_m** es una **propiedad emergente deseada**, que fue detectada o que la incluimos en el escenario de análisis de la matriz de propiedades emergentes (MPPEE). Puede tomar valores de frecuencia relativa o valores entre 0 y 1.
- **Iped_m** es el **impacto asociado a la propiedad emergente deseada**.
- **M_{PEd}** es el número de propiedades emergentes deseadas en la MPPEE.
- **PEnd_n** es una **propiedad emergente no deseada** que fue detectada o que la incluimos en el escenario de análisis de la MPPEE. Puede tomar valores de frecuencia relativa o valores entre 0 y 1.
- **Ipend_n** es el **impacto asociado a la propiedad emergente no deseada**.
- **N_{PEnd}** es el número de propiedades emergentes no deseadas en la MPPEE.

Si aumenta la ocurrencia de propiedades emergentes deseadas, cuyo impacto en la operación del sistema es elevado, y se busca minimizar la ocurrencia de propiedades emergentes no deseadas con alto impacto en la operación, observaremos que el rendimiento tiende a elevarse. En sentido contrario, si aumenta la ocurrencia de propiedades emergentes no deseadas, de alto impacto en la operación del sistema, y disminuye la ocurrencia de propiedades emergentes deseadas de alto impacto, el rendimiento tiende a cero.

Aquí se sostiene que el desarrollo de una resiliencia operativa robusta puede compensar la ocurrencia de propiedades emergentes no deseadas de alto impacto, permitiendo así la recuperación del sistema y el mantenimiento de un rendimiento deseado.

Para concluir, es importante destacar que en este trabajo se presentan conceptos como "propiedades emergentes", "seguridad operacional emergente", "rendimiento" y "resiliencia", que difieren de los utilizados en otras investigaciones orientadas a establecer responsabilidades administrativas, civiles o penales. Nos referimos a conceptos como "fallas", "causas", "indicios", etc., que son característicos del prevenciónismo y del modelo de análisis lineal.

Referencias

- Borrell Vives, J., Algaba García, P. y Martínez Raposo Piedrafita, J.B. (2000). Investigación de Accidentes de Tráfico. Academia de Tráfico de la Guardia Civil, Dirección General de Tráfico. (ISBN 84-8475-002-7).
- Bunge, M. (2004). *Emergencia y convergencia*. Novedad cualitativa y unidad de conocimiento. Gedisa, Barcelona.
- Bustos, V. (2012). Factores de riesgo en los siniestros de tránsito ocurridos en el departamento de San Martín durante el segundo semestre del año 2010. [Tesis de Licenciatura en Criminalística] Universidad del Aconcagua. http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/406/tesis-4444-factores.pdf
- Hollnagel E., Woods D., Leveson N. (2006). *Resilience Engineering: concepts and precepts*. Ashgate, Farnham.
- Leonetti, A. (s.f.). Material didáctico de la cátedra Seguridad Operacional Ferroviaria de la Licenciatura en Gestión y Tecnología Ferroviaria. Universidad Nacional de San Martín.
- Leveson, N. (2004). System-Theoretic Accident Model and Processes (STAMP). *Safety Science*, Vol. 42 (4), 237-270.
- Ludwig von Bertalanffy (1976). *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Marchitto, M. (2011). El error humano y la gestión de seguridad: la perspectiva sistémica en las obras de James Reason. *Laboreal*. Vol. VII (2), 1-12. <https://doi.org/10.4000/laboreal.7750>
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate, Londres.
- Sosa, G. (2022). Razonamiento sistémico-matricial en sistemas sociotécnicos complejos aplicado al transporte ferroviario. *Revista de Seguridad Operacional*, 1, 44-50.

RSO

REVISTA SEGURIDAD OPERACIONAL

Convocatoria para la recepción de artículos para la Revista de Seguridad Operacional

JST | EDICIONES



La propuesta editorial de la revista reúne notas de opinión, reseñas y artículos técnicos de investigación en relación con la seguridad operacional de todos los modos de transporte, y su vinculación con distintas disciplinas y temáticas: ambiente, género, víctimas, interés nacional e internacional, economía, gestión, sociología, entre otras.

Invitamos a investigadores, investigadoras y profesionales a enviar artículos técnicos para formar parte de RSO, la revista sobre seguridad operacional multimodal de la JST Ediciones.

Normas de estilo y directrices: www.argentina.gob.ar/jst



RSO

REVISTA SEGURIDAD OPERACIONAL

JST | SEGURIDAD EN
EL TRANSPORTE



Secretaría
de Transporte
Ministerio de Economía

JST | EDICIONES

ediciones@jst.gob.ar