

DOSSIER

Sistema de gestión de riesgo de fatiga

*Fatigue risk management system***Malena Mul Fedele**

Lic. en Biotecnología y Doctora en Ciencia y Tecnología de la Univ. Nac. de Quilmes, Argentina. Investigadora del CONICET en BIOMED (Universidad Católica Argentina - CONICET).

<https://orcid.org/0000-0002-6897-0527>

malenamulfedele@gmail.com

Daniel Vigo

Médico y Doctor en Ciencias Médicas por la Universidad de Buenos Aires. Investigador del CONICET en BIOMED (Universidad Católica Argentina - CONICET).

<https://orcid.org/0000-0003-2291-245X>

dvigo@conicet.gov.ar

Palabras clave: Transporte - Seguridad Operacional - Economía del Transporte - Modelos de Elección Discreta - Demanda de Transporte - Logit - Transporte Interurbano.

Keywords: Transport - Operational Safety - Transportation Economics - Discrete Choice Models - Transportation Demand - Logit - Inter-Urban Transport.

Recibido: 05/11/23

Aceptado: 12/12/23

Resumen

Este trabajo problematiza el vínculo entre las consecuencias de la fatiga y los problemas de seguridad operacional en el transporte. 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 por lo 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. Existe abundante evidencia científica acerca de la relación entre el patrón de sueño, los esquemas laborales y los accidentes de tránsito. Para abordar este y otros asuntos, se cuenta con distintos predictores de fatiga que se pueden utilizar para generar un Sistema de Manejo del Riesgo de Fatiga (SMRF). En este artículo se analizan sus características y potencialidades.

Abstract

This paper problematizes the link between the consequences of fatigue and operational safety problems in transportation. Fatigue is observed, objectively, as changes in various aspects of performance, including increased reaction time, attention lapses (i.e., high reaction times), increased time required to perform cognitive tasks, reduced situational awareness and reduced motivation. Disturbances generated by fatigue can often trigger incidents and accidents (Dawson et al., 2012). This is why fatigue at work constitutes a major risk to the safety of people and those who are part of their work environment, as well as to society. There is abundant scientific evidence about the relationship between sleep patterns, work patterns and traffic accidents. To address this and other issues, there are different predictors of fatigue that can be used to generate a Fatigue Risk Management System (FRMS). This paper discusses their characteristics and potential.

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., Deharvenge, 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>

