

Meta-análisis: Detección del estrés en los conductores

RESUMEN: En los últimos años, se han incrementado las investigaciones sobre estrés, fatiga y cansancio de los automovilistas, así como su relación con respecto a los accidentes viales y la importancia de la seguridad en el transporte, con el objetivo de reducir pérdidas humanas, materiales y económicas. En consecuencia, ha tomado relevancia el crear sistemas viables para la detección del estado inconveniente de los conductores, con el fin de prevenir pérdidas humanas y económicas. En esta investigación se llevó a cabo una revisión de literatura de forma detallada sobre los estados cognitivos de las personas en el área de transporte por medio de las ondas cerebrales, con la intención de identificar los métodos de detección del estrés en los transportistas. Así como encontrar la necesidad de utilizar equipos tecnológicos de EEG para reconocer los estados inconvenientes de los conductores e identificar las áreas de mejora en el sector transportista y de seguridad vial.

En los resultados del análisis del espectro de potencia de la base de datos analizada, se observó que las áreas más activas fueron en donde se requería una mayor visualización y concentración para el proceso de conducción, se presentó mayor influencia en las ondas cerebrales theta, alpha, beta y gamma en la región frontal y occipital del cerebro.

PALABRAS CLAVE: Automovilista, electroencefalograma (EEG), estrés en los conductores, ondas cerebrales, seguridad vial.



Colaboración

Leonardo Alberto Alanís Castro; Ana Isela García Acosta; Jorge de la Riva Rodríguez, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Fecha de recepción: 26 de noviembre del 2021

Fecha de aceptación: 07 de diciembre del 2021

ABSTRACT: In recent years, research on stress, fatigue and tiredness of motorists, as well as their relationship with respect to road accidents and the importance of safety in transportation, has increased in order to reduce human, material and economic losses. Consequently, it has become relevant to create viable systems for the detection of drivers' inconvenient state, in order to prevent human and economic losses. In this research, a detailed literature review was carried out on the cognitive states of people in the transportation area by means of brain waves, with the intention of identifying methods for detecting stress in carriers. As well as finding the need to use EEG technological equipment to recognize the inconvenient states of drivers and identify areas for improvement in the transportation and road safety sector.

In the results of the analysis of the power spectrum of the review database, it was observed that the most active areas were where greater visualization and concentration were required for the driving process, with greater influence on theta, alpha, beta and gamma brain waves in the frontal and occipital region of the brain.

KEYWORDS: Driver, electroencephalogram (EEG), driver stress, brainwaves, road safety.

INTRODUCCIÓN

El estrés es una variable que influye en los accidentes viales, por lo cual se considera que es una parte relevante dentro del área de educación vial y del estudio del área transportista.

En cuanto a (Davidson, 1998), nos muestra cómo se establece el nivel de afectividad en una persona como valores positivos y negativos en el pensamiento de las personas, y donde nos presenta al estrés como parte del área negativa de la influencia en la mentalidad humana.

Así mismo, para inicios del siglo XXI (Lal, 2000) nos muestra un primer estudio tomando en cuenta el carácter del estrés como influencia del cansancio del automovilista conforme a un escenario de somnolencia, en el cual nos presenta los posibles cambios de las ondas cerebrales alpha, beta, delta y theta.

Después (Lal, 2002), presenta un estudio donde evalúa la fatiga de los automovilistas con un estudio de privación del sueño y simulación de conducción, en el cual obtuvo como resultado mostrando que los cambios en la corriente eléctrica de las ondas cerebrales demostrarían la presencia de la fatiga.

Además (Vysata et al; 2014), con su investigación "Lag Synchronisation in the Human Brain: Evidence from 17,722 Healthy Subjects' EEG Analyses" presenta una evaluación del cansancio de los conductores al transportar cargas pesadas en República Checa con un aparato de electroencefalograma (EEG), en el que se identifican señales electromagnéticas más representativas en un estado de somnolencia para encontrar los posibles problemas asociados con los accidentes viales, demostrando que se presentan en el momento que el conductor está en un estado inconveniente, ya que identifican que se desconectan las redes neuronales y se retrasa la sincronía de los movimientos de las personas evaluadas.

Por otra parte (Fan et al; 2015), con la investigación titulada "Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search", establece el estudio de la fatiga mental como responsable de los accidentes de tráfico, y estipula que bajo un análisis de rendimiento de búsqueda visual se pueden ejemplificar los efectos del estrés y fatiga al conducir, demostrando las consecuencias sobre la actividad cerebral y el nivel de reacción de los participantes.

Del mismo modo (He et al., 2018), buscó conocer el impacto del nivel de tráfico de las ciudades y el cansancio por conducir durante un tiempo específico, para tales fines se estudió las señales del EEG mediante un dispositivo para análisis de señales eléctricas del cerebro denominado EMOTIV, en esta prueba los participantes debían de conducir de manera real en un vehículo esta-

blecido por una carretera de 165 km que recorría parte del área de China.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

Con respecto al meta-análisis realizado, consiste en establecer las contribuciones que se esperan encontrar en la revisión de literatura. Las variables que se tomaron en cuenta para la selección de documentos son las siguientes: "electroencefalografía", "simulador de manejo", "prueba de manejo real", "estrés al conducir", "Software de lectura de señales cerebrales", "metodología" y "datos relevantes". Igualmente, algunos aspectos literarios que se tomaron en cuenta en la revisión son, "introducción", "definición del problema", "objetivos", "justificación" y "delimitación".

Cabe destacar que, en esta investigación se busca conocer el impacto del estrés como factor de influencia en los accidentes viales, con relación al comportamiento de las ondas cerebrales comprobados mediante formulaciones, softwares, dispositivos y sistemas de evaluación de EEG.

Habría que decir también que los artículos en cuestión, se evalúan conforme a calificaciones de 0 o 1 (Dominguez G., 2020), donde cero es que no cumplió con alguno de los conceptos de evaluación antes mencionados y uno referente a que si hacen mención de ese parámetro en la revisión literaria, se establece que los artículos con calificación mayor a 10 puntos, serán consideradas fuentes primarias, siendo que cumple con parámetros de investigación correctos y con la mayor parte de los conceptos requeridos sobre la temática, mientras que los que tengan calificaciones menores estarán considerados como secundarios, aunque con factores de influencia por su posible información de relevancia en el entendimiento de la temática.

(Botella y Gambará, 2006), realizaron un meta-análisis con una metodología basada en un esquema de las etapas mostradas en la Figura 1.

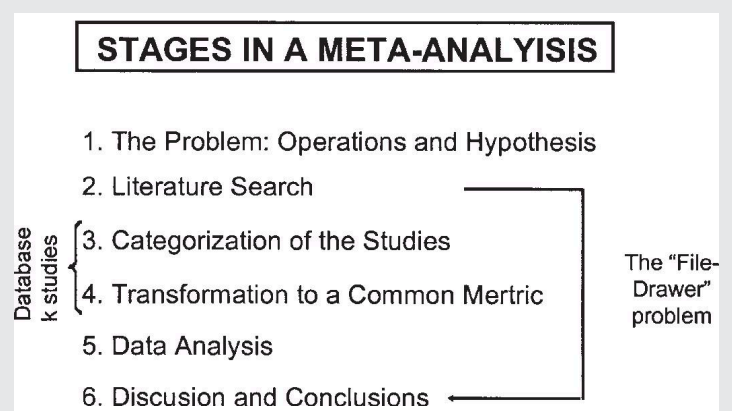


Figura 1. Esquema de las etapas en la realización de un meta-análisis. Fuente Botella & Gambará, 2006.

En esta investigación, se analizaron más de 30 artículos para la realización de la evaluación literaria y se clasificaron los útiles para la detección del estrés de un automovilista por medio de las ondas cerebrales. La metodología se muestra en la Figura 2.

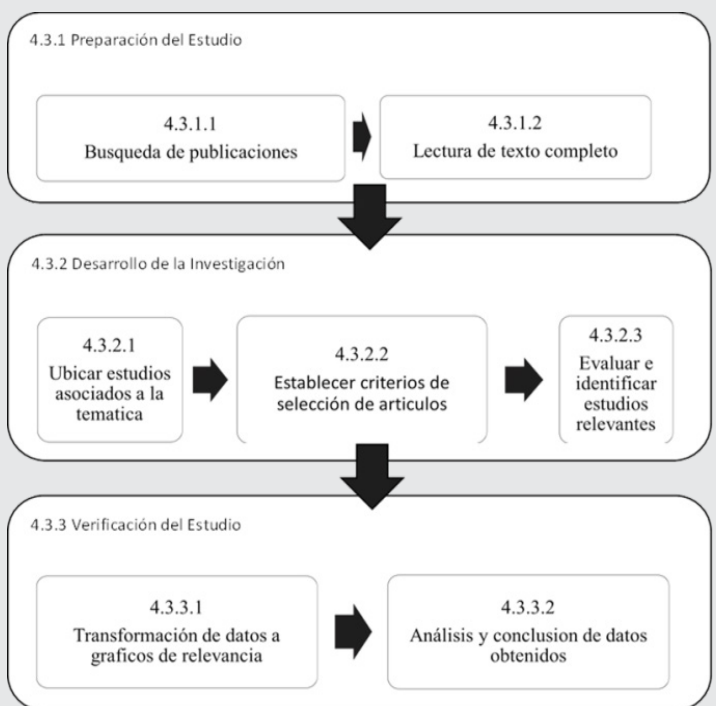


Figura 2. Metodología de investigación. Fuente Elaboración propia.

Para el desarrollo de la metodología, se generó una búsqueda de información en sitios de publicaciones académicas y bibliotecas digitales, de las cuales se realizó una lectura completa.

Después, se seleccionaron las publicaciones que tuvieron alguna relevancia conforme a la temática. Posteriormente, se generó un resumen para la evaluación del contenido. Finalmente, se valoró y se calificó la información, de acuerdo a la relevancia de las variables que se tomaron en cuenta para su selección.

Diseño del estudio

Inicialmente, se hizo una recolección de la información realizada de los diversos documentos conforme al meta-análisis, en el cual se establecen las características de calidad de los documentos evaluados. Como se puede observar en la Tabla 1.

Dentro de los datos de relevancia se requerían documentos con cierto grado de veracidad correspondiente al cumplimiento del uso de un método científico o una base de estudio establecida, que se encuentra mayormente en documentos oficiales como publicaciones científicas validadas, libros de referencia y artículos de revistas de alto valor científico.

Tabla 1. Ejemplo de revisión literaria concentrada para el meta-análisis.

Título	Autor	Año de publicación	DOI	ISSN	ISBN
Noise Robustness Analysis of Performance for EEG-Based Driver Fatigue Detection Using Different Entropy Feature Sets	Jianfeng Hu y Ping Wang	2017	10.3390/e19080385		
Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search	Xiaoli Fan, Qianxiang Zhou, Zhongqi Liu and Fang Xie	2015	10.3233/BME-151444		
Reliability Analysis of Driving Behaviors in Road Traffic System Considering Synchronization of Neural Activity	Shouhui He, Lei Chen, Minghui Yao	2018	10.14704/ij2018.16.4.1209		
A critical review of the psychophysiology of driver fatigue	Sanjay K. Lal, Ashley Craig	2000	10.1016/S0301-0511(00)0085-5		
Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system	Jianfeng Hu, Ping Wang, Jianfeng Hu	2017	10.6084/e0188756		
Automatas celulares y su aplicación a la modelación del tráfico automotor en la ciudad de Caracas	Lic. Angel Aparente, Dr. Jose Ali Moreno	2007		1316-3930	
Analyzing neural time series data	Mike X Cohen	2014			978-0-262-01987-3
Neuroergonomía: una ciencia sobre el cerebro y la comodidad	Ángel Correa Torres	2018			978-84-09-05245-5
Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network	Wanzong Kong, Weicheng Liu, Fabio Babilion, Sanqing Hu y Gianluca Borghani	2015	10.3390/e150819181		
Driver Sleepiness assessed by electroencephalography - Different Methods Applied to one single data set	Martin Gold, David Sommer, Jarek Krzysewski	2015	10.13140/RG.2.1.1665.9046		
Human Mental Workload: Models and Applications	Lungs L. & Chiara Leva, M.	2019		1865-0929	978-3-030-62301-2
Practical Considerations for Simulated Annealing Implementation	Sergio Liebman, Gabriel Avina and Raul Sanchez	2008			978-953-7619-07-7

Fuente Elaboración propia.

En segunda instancia, se clasificaron los artículos de relevancia de acuerdo a la necesidad del estudio, relacionados con el análisis de ondas cerebrales con un enfoque hacia los estudios de los conductores para valorar más a profundidad la necesidad del aporte científico, de igual manera se consideraron factores tanto de simulación de manejo o manejo real como parte de los estudios considerados, enfocando a posibles escenarios en los cuales se obtuviera una publicación de influencia para estudio, así como puede verse en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de variables de relevancia encontrada en los documentos.

Título	Electroencefalografía	Simulador Digital de Manejo	Prueba de Manejo Real	Estrés al conducir	Software de lectura de señales	Metodología	Datos Relevantes
Noise Robustness Analysis of Performance...							
Electroencephalogram assessment of mental...							
Reliability Analysis of Driving Behaviour in Road...							
A critical review of the psychophysiology of ...							
Driver fatigue detection through multiple ...							
Automatas celulares y su aplicación a la ...							
Analyzing neural time series data							
Neuroergonomía: una ciencia sobre el cerebro...							
Investigating Driver Fatigue versus Alertness...							
Driver Sleepiness assessed by ...							
Human Mental Workload: Models and ...							
Practical Considerations for Simulated ...							

Fuente Elaboración propia.

De acuerdo con la investigación "Noise Robustness Analysis of Performance for EEG-Based Driver Fatigue Detection Using Different Entropy Feature Sets", se hizo una medición sobre la fatiga en un grupo de estudiantes universitarios, el experimento fue planeado aleatoriamente con una duración entre 40 y 130 minutos, el equipo que se utilizó fue un simulador de manejo, un casco de EEG de 32 canales y el software "City Car Driving", (ver Figura 3). Para el análisis de los datos se utilizó la fórmula normalizada de la entropía de Shannon para medir la capacidad eléctrica y comparar la potencia en una serie de tiempo, utilizando únicamente los últimos 5 minutos de la evaluación con una simulación normal (familiarizarse con el software) y los últimos 10 minutos de la evaluación de la simulación cuando se generó la fatiga en el conductor. Los resultados que se obtuvieron muestran un estado de

cambio en las señales cerebrales en conformidad con la metodología de estudio. (Hu & Wang, 2017).



Figura 3. Ejemplo de montaje experimental. Fuente Hu & Wang, 2017.

La investigación "Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system", utilizó un método de entropía múltiple, que está conformado por una combinación de entropía espectral, aproximada, de muestra y difusa, estos modelos se basan en estadísticas probabilísticas de parámetros de estimación, normalización y variación en la potencia de las ondas cerebrales. Para la obtención de los datos se utilizó un simulador de manejo digital y el equipo NeuroScan de 32 canales para el análisis de EEG. La simulación se estableció con base en un escenario, al conducir en una carretera con bajo nivel de tráfico, el modelo para la recopilación de datos se definió en 2 variables, de los primeros 20 minutos del estudio se tomaron los últimos 5 para definir un estado normal del conductor y en segundo lugar de los próximos 40 a 100 minutos del estudio se tomaron de igual forma los 5 minutos finales para un estado de fatiga, estos datos se normalizaron y compararon conforme a la potencia de las ondas cerebrales. Los resultados obtenidos muestran un aumento de potencia en los electrodos T6, P3, TP7 y O1 de la zona parietal y occipital del cerebro, mientras que hubo una reducción en FC4, C3, P4 y F8 encontrados en zonas central, parietal y frontal, demostrando que hay presencia de estrés en los participantes, mediante el cambio de potencia de los canales del EEG (ver Figura 4).

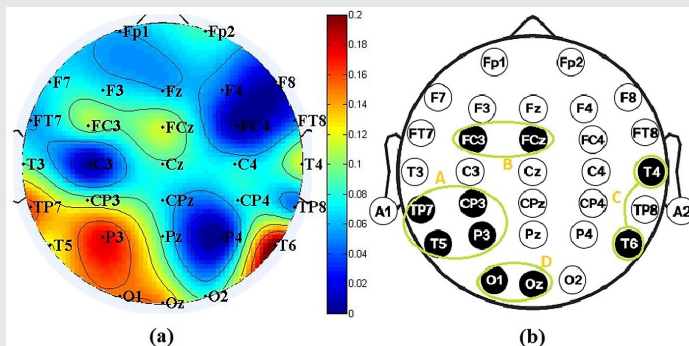


Figura 4. Estudio de electrodos con presencia de estrés. Fuente Min, et al; 2017.

Con base en el estudio "Driving Fatigue Detection from EEG Using a Modified PCANet Method", se demostró la eficacia del uso de sistemas de adquisición de señales de EEG (32 canales) para detectar la fatiga de los conductores al volante, mediante la utilización de un simulador de manejo y un software de análisis de componentes principales (PCA), el estudio se planteó en dos modelos, el primero realizar la simulación en un estado de vigilia con 8 horas de sueño previas y el segundo en estado de fatiga con 4 horas de sueño previo, en ambos casos la simulación tuvo un tiempo de duración entre 30 y 60 minutos.

Para el análisis de la información, se utilizó el sistema Matlab para limpiar los datos y tomar la información de los últimos 20 minutos de cada estudio, para después dividir y reducir los datos conforme al sistema PCA y crear puntos de influencia en una gráfica para encontrar la fatiga en los automovilistas. El resultado obtenido mostró que existe un aumento en las ondas cerebrales alpha y beta en la zona del parietal y occipital del cerebro, indicando la presencia de fatiga en los participantes (Ma et al; 2015)

Tabla 3. Análisis de aspectos literarios de relevancia encontrada en los documentos.

Título	Introducción	Definición del problema	Objetivos	Justificación	Delimitación
Noise Robustness Analysis of Performance...					
Electroencephalogram assessment of mental...					
Reliability Analysis of Driving Behaviour in Road...					
A critical review of the psychophysiology of ...					
Driver fatigue detection through multiple ...					
Autómatas celulares y su aplicación a la ...					
Analyzing neural time series data					
Neuroergonomía: una ciencia sobre el cerebro...					
Investigating Driver Fatigue versus Alertness...					
Driver Sleepiness assessed by ...					
Human Mental Workload: Models and ...					
Practical Considerations for Simulated ...					

Fuente Elaboración propia.

Con respecto al análisis de aspectos literarios, como se mencionaron en la sección de la metodología, se muestran a continuación dos artículos de los puntos evaluados en la Tabla 3.

En primer lugar, se muestra el estudio de "Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network", donde se analizan dos estados mentales en el conductor, correspondientes a un estado de alerta y somnolencia con dispositivos EEG, con el fin de demostrar su influencia en los accidentes viales, lo cual se presenta con respecto a la introducción y definición del problema, pero que no aborda sus objetivos o metas a lo que aspira descubrir, además que no justifica su estudio de manera estricta, ni lo delimita en relación a lo que espera lograr o lo que realizará.

En segunda instancia, se analizaron los resultados obtenidos del estudio "Driver Sleepiness assessed by electroencephalography - Different Methods Applied to one single data set", el cual buscó investigar la somnolencia en los conductores, en base a simulaciones de conducción, utilizando equipos de EEG, conforme a la introducción y su justificación, además de presentar en la definición del problema la influencia del sueño al conducir como un aspecto del automovilista y delimitando el estudio conforme a la estructura de simulación de acuerdo con un horario de manejo nocturno en un área rural y la selección de voluntarios que hubieran obtenido su licencia de conducción durante el último año.

RESULTADOS

Con respecto a los resultados obtenidos del estudio, se puede ver en la Tabla 4 el porcentaje y cantidad de artículos revisados en esta investigación, en consideración de los conceptos de relevancia de los parámetros establecidos.

Tabla 4. Valoración de conceptos.

Variables						
Electroencefalografía	Simulador Digital de Manejo	Prueba de Manejo Real	Estrés al conducir	Software de lectura de señales	Metodología	Datos Relevantes
22	10	4	12	24	26	27
63%	29%	11%	34%	69%	74%	77%

Fuente Elaboración propia.

Es así, que en el estudio se mostraron resultados favorables relacionados con la necesidad de establecer un parámetro de influencia, los documentos trabajan temáticas correspondientes al estudio del comportamiento humano, se encontró un 63% de documentos que presentan la temática de electroencefalografía, ya que en los estudios disponen de equipos con capacidad de recolectar y analizar datos de EEG.

Ahora bien, el segundo parámetro de influencia son los softwares de lectura de señales con un 69%, que expresan el funcionamiento del pensamiento humano, conforme a la interpretación de los cambios en la corriente eléctrica del cerebro al presentarse la fatiga.

De igual modo, con un 74% se encontró la metodología que maneja el rigor del método científico y el impacto de los modelos matemáticos, muestran un patrón de cambio en el comportamiento de las ondas cerebrales; cada autor utiliza diferentes modelos de estudio, pero que conducen a un mismo factor que es encontrar el comportamiento de la corriente eléctrica cerebral, como se muestra en la Figura 5.

Además, los diversos documentos analizados muestran que un 77% tiene datos relevantes, esto es en función de que a pesar que no se mencionaron di-

rectamente los conceptos: electroencefalografía, simulación, estrés al conducir o software de lectura de señales, iban dirigidos al estudio de las ondas cerebrales sobre el tema de accidentes viales.

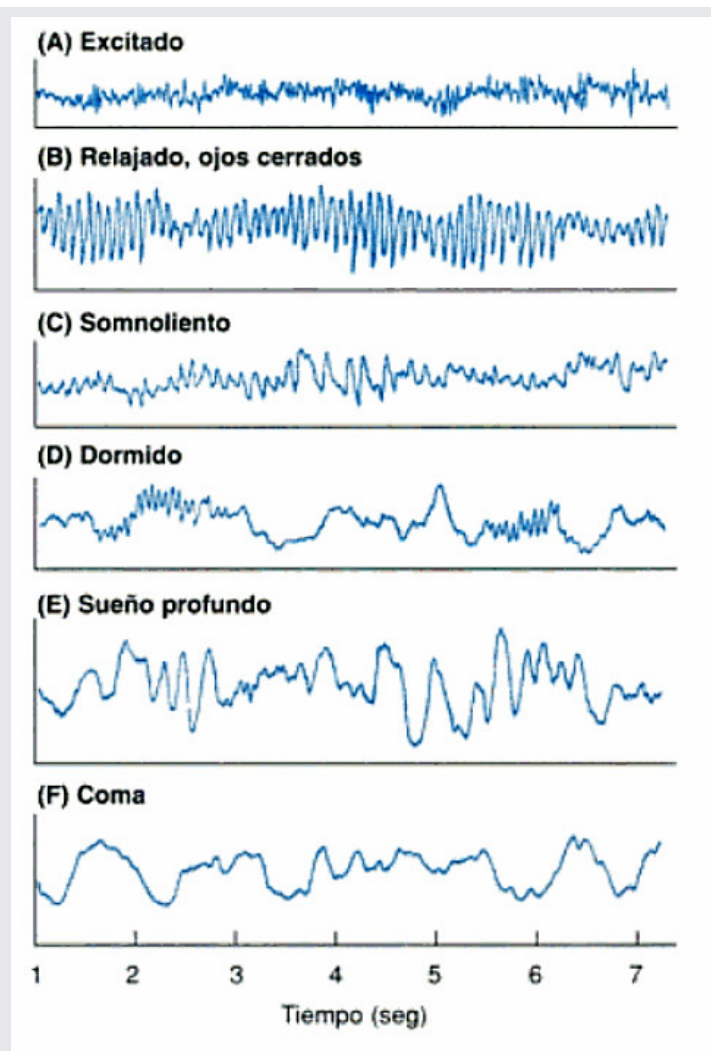


Figura 5. Ondas Electroencefalográficas de EEG.

Fuente Kolb & Wishaw, 2015.

Finalmente, las variables con menor número de documentos encontrados en la revisión de literatura son el estrés al conducir con un 34%, simulación de manejo con 29%, la prueba de manejo real con 11%. Dichos documentos nos expresan el enfoque a la innovación tecnológica conforme a la implementación de herramientas que evalúen el estudio de la mente humana, para la prevención de accidentes viales reconociendo el cansancio y en los cuales se busca implementar equipos de manejo automatizado o de ayuda al conductor en cuestión de frenos automatizados para reducir accidentes en el área de transporte.

De la misma forma, en la temática de aspectos literarios se evaluó la información que cumpla con los pasos del método científico conforme a la revisión de literatura como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Valoración Aspectos Literarios.

Aspectos Literarios				
Introducción	Definición del problema	Objetivos	Justificación	Delimitación
32	17	20	18	20
91%	49%	57%	51%	57%

Fuente Elaboración propia

Con respecto a los aspectos literarios, se basó en conocer la estructura de los documentos y sus componentes de estudio, delimitando cuales cumplían con un formato establecido, en conformidad a la confiabilidad del documento según sus consideraciones introductorias, con respecto a esto se reconoció información básica como introducción, definición de problemas, objetivos, justificación y delimitación como parte de definir una investigación.

puntos obtenidos por cumplir con las variables y aspectos literarios en el análisis de los documentos (ver Tabla 6).

Tabla 6. Ejemplo de calificación de documentos.

Título	Calificación (Máx 12)	Relevancia
Driving Fatigue Detection from EEG Using a Modified PCANet Method	10	Principales
Driver fatigue: Electroencephalography and psychological assessment	10	
Driver Sleepiness assessed by electroencephalography - Different Methods Applied to one single data set	10	
Neuroergonomía: una ciencia sobre el cerebro y la comodidad	7	Secundarios
Noise Robustness Analysis of Performance for EEG-Based Driver Fatigue Detection Using Different Entropy Feature Sets	6	
Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search	6	
A critical review of the psychophysiology of driver fatigue	6	
Autómatas celulares y su aplicación a la modelación del tráfico automotor en la ciudad de Caracas.	6	
Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network	6	Baja
Human Mental Workload: Models and Applications	5	
Practical Considerations for Simulated Annealing Implementation	5	
Analyzing neural time series data	4	

Fuente Elaboración propia

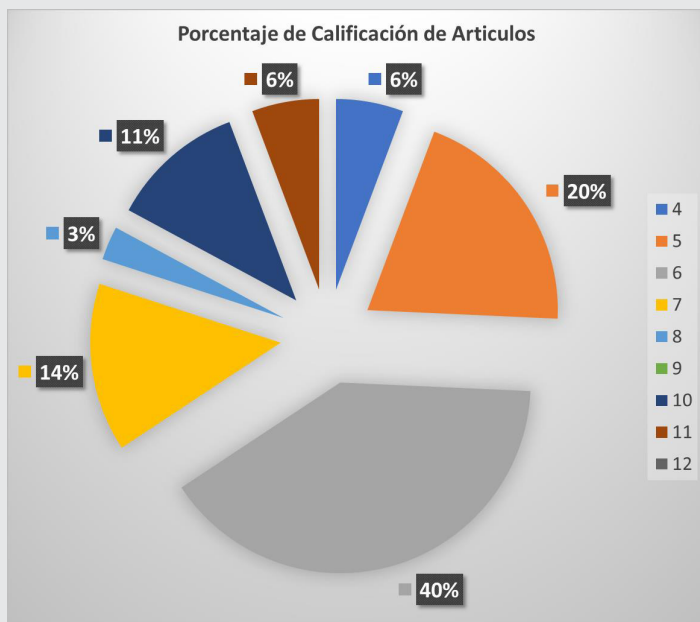


Figura 6. Señales Neuronales de EEG.

Fuente Kolb & Whishaw, 2009.

A su vez en la Figura 6, se expresa el porcentaje de los 35 artículos analizados correspondientes al valor de calificación obtenida, esto en referencia a cuantos parámetros de variables y aspectos literarios cumplieron, en total son 12 puntos obtenibles; los documentos con mayor influencia están entre los valores de 10 a 12 puntos obtenidos, los cuales son considerados como principales; los estudios secundarios con algunas características de información de relevancia se encuentran entre los 6 a 9 puntos; y aquellos estudios de nivel bajo, que tienen algún dato de importancia que pueden parecer no necesarios, pero resultan importantes para la investigación y se encuentra entre los 4 y 5 puntos.

Por otro lado, se puede visualizar el modelo de calificación final, correspondiente a la sumatoria de los

Discusión

En consecuencia, las simulaciones de manejo nos proporcionan una vista de la realidad permitiendo reproducirla en un mundo digital, donde no se pone en riesgo a las personas. El uso de equipos para la medición de las ondas Cerebrales en coordinación con un software para la recolección y análisis de los datos, permiten determinar el estado de estrés en las personas.

Igualmente, una metodología propuesta para llevar a cabo estos análisis en comparación con los autores analizados, se compone por la definición de parámetros de rutas de tráfico compuestas por horarios de tráfico ligero y pesado para una simulación de condiciones estresantes, y por una selección de participantes con características similares y buen estado de salud, reduciendo cualquier posible causa de error en los análisis (ver Figura 7).

En relación con el diseño de experimentos, se generará a partir de la utilización de un simulador digital de manejo y la recolección de datos con EEG con un dispositivo de EMOTIV EPOC de 32 Canales, los da-

tos serán leídos con un software EMOTIV Pro provisto con el propio equipo. La información se analizará y limpiará con el sistema EEGLab del software estadístico Matlab, en relación de normalizar los datos, para lo cual dará como resultados valores de potencia que podrán ser comparados y determinarán la presencia de niveles de estrés en los participantes.

parietal, frontal y temporal, asociado a procesos de atención, percepción y cognición (32-100 Hz).

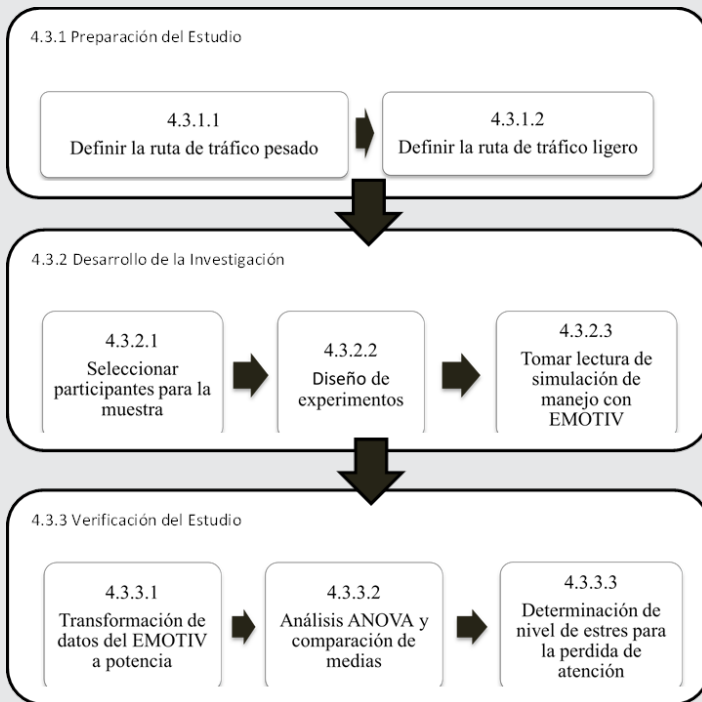


Figura 7. Metodología propuesta. Fuente Elaboración propia.

De manera que, este procedimiento conlleva la obtención de datos estadísticos de la potencia obtenida en los electrodos, que podrán ser comparables entre un estado inicial y final, para demostrar los cambios en las señales neuronales (ver Figura 8), obtenida del estudio “Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system”, el cual da acceso a los datos de la muestra digital.

Dicho lo anterior, se analizaron las gráficas de densidad del espectro de potencia en algunas muestras de la base de datos de (Min, et al 2017) en estado normal y en presencia de fatiga, con la finalidad de determinar qué áreas del cerebro estuvieron más activas en las ondas cerebrales theta (θ), alfa (α), beta (β), y gamma (γ).

Con respecto a (Correa, 2018), la onda theta se encuentra activa en el área del lóbulo temporal y se asocia con el estado de sueño (4-7 Hz). La onda alfa se encuentra en el área del lóbulo occipital y se asocia con la relajación de la persona (8-12 Hz). La onda beta se encuentra en los lóbulos parietales y frontal de la cabeza, asociado al estado de concentración (12-30 Hz). La onda gamma se encuentra en el lóbulo

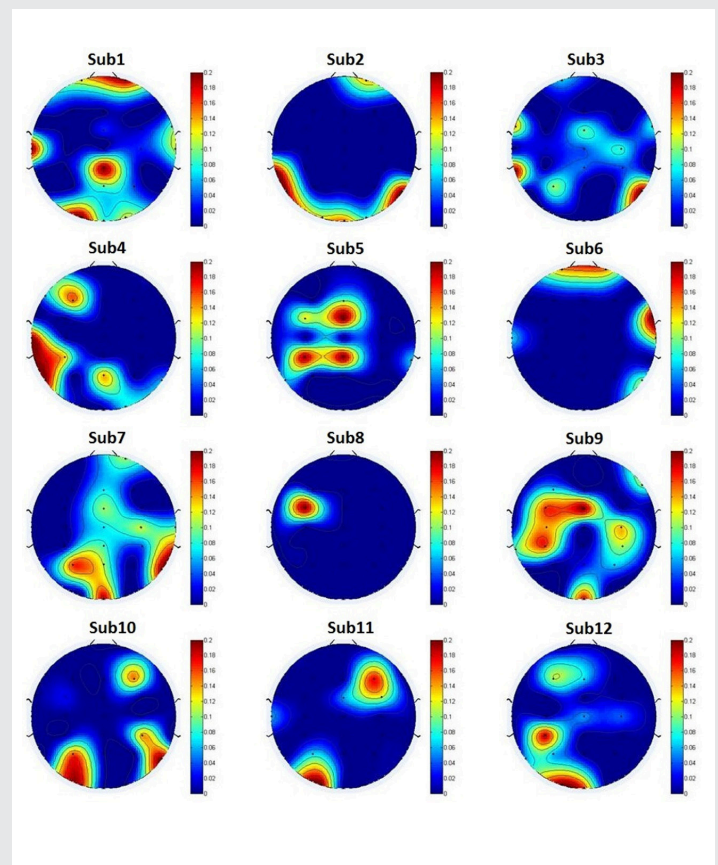


Figura 8. Topografía de las señales de influencia, la coloración azul indica menor nivel de actividad y la coloración rojo es mayor nivel de actividad. Fuente Min, et al, 2017.

Para comprender mejor, de un total de 12 muestras recolectadas en el experimento realizado por (Min, et al, 2017), nosotros analizamos 5 muestras, para obtener las gráficas de densidad del espectro de potencia en estado normal y con fatiga, las cuales se muestran a continuación (Ver Figuras de la 9 a la 13).

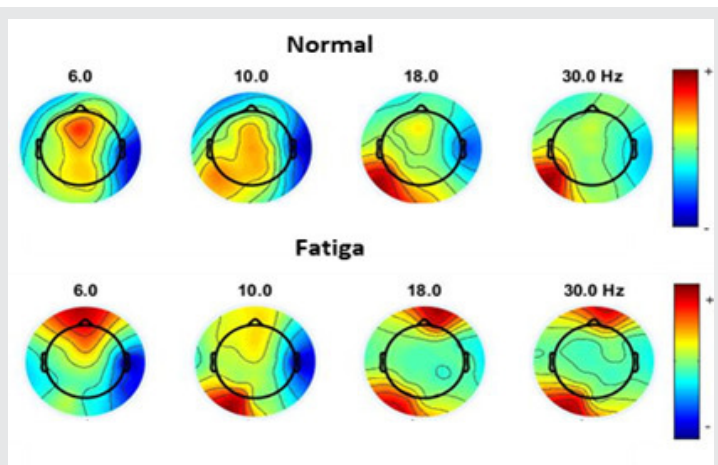


Figura 9. Experimento 1. Fuente Min, et al, 2017.

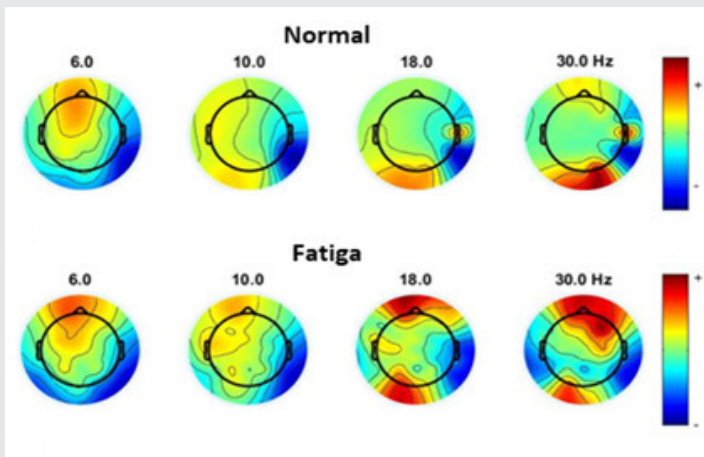


Figura 10. Experimento 4.
Fuente Min, et al, 2017.

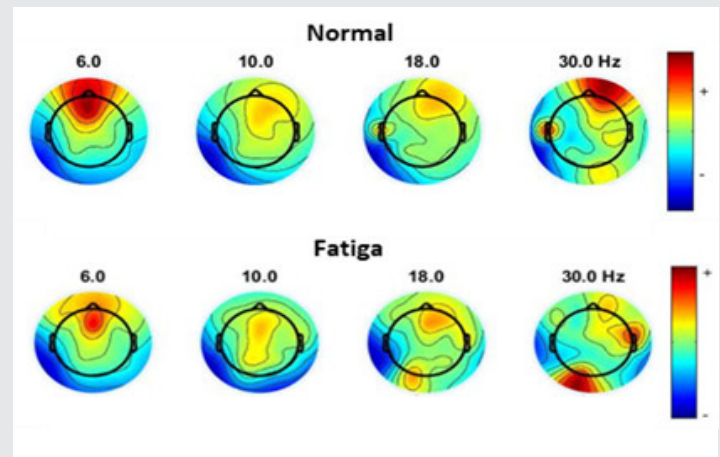


Figura 13. Experimento 10.
Fuente Min, et al, 2017.

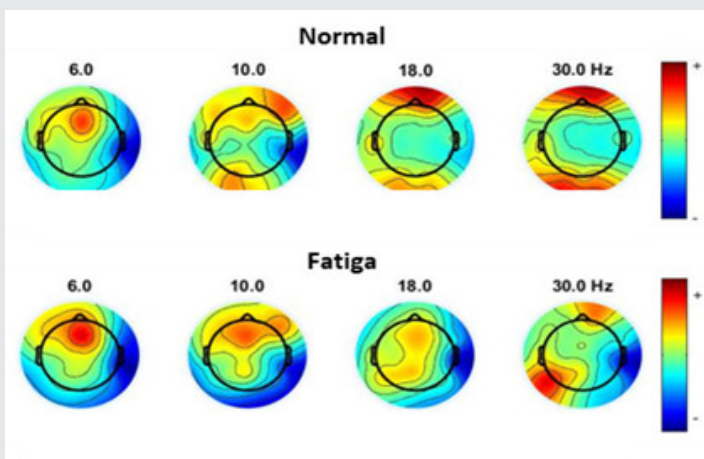


Figura 11. Experimento 6.
Fuente Min, et al, 2017.

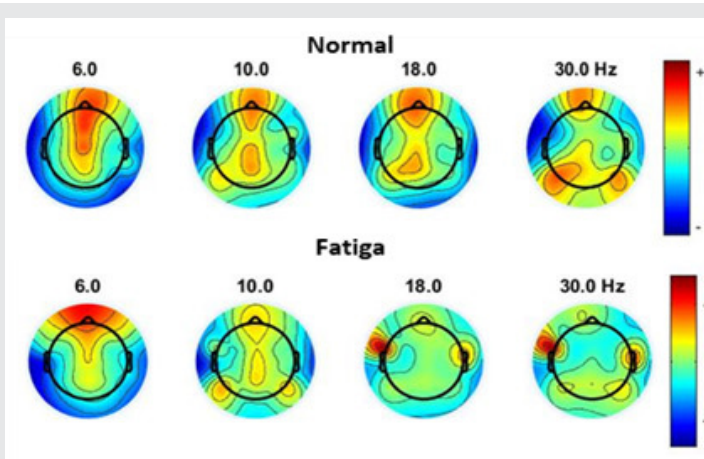


Figura 12. Experimento 9.
Fuente Min, et al, 2017.

CONCLUSIONES

Conforme al presente estudio, se propone la necesidad del desarrollo de más investigación sobre el estrés en automovilistas, mediante métodos de simulación e interpretación de las ondas cerebrales con equipos de EEG y software de interpretación de datos, para resolver cuestiones de accidentes viales y mejorar la concientización de la educación vial.

Es así que, el estudio demostró conforme a diversos documentos, que el uso de equipos como Emotiv, Neuroscan, USBamp y similares fueron capaces de detectar la fatiga en los automovilistas mediante el análisis de los datos en las ondas cerebrales delta, theta, alpha, beta y gamma.

Los resultados obtenidos con base en la literatura analizada nos muestra la viabilidad de los estudios relacionados con la simulación del estrés y el manejo de equipos de EEG, siendo un tema de interés y con posibilidades de diversos tipos de aplicación en el área automovilística, como lo son temas de seguridad vial en general o bien temas de mejorar los procesos del transporte de mercancías en consideración de la reducción de pérdidas humanas, materiales y económicas.

A pesar de que la mayoría de las investigaciones que se encontraron sobre el área de manejo fueron en los países de Europa y Asia. Por lo que se sugiere, desarrollar más proyectos de investigación en el área de transporte para la disminución de las problemáticas causadas por el estrés en los conductores.

Según (Kandel, et al, 2000), las funciones del cerebro están asociadas a los lóbulos, los cuales dividen al área cerebral en cuatro regiones, en el lóbulo occipital se reconoce la función de recibir y analizar la información visual, mientras que en los lóbulos temporales manejan las sensaciones e interpretaciones visuales, de memoria y auditivas. Los movimientos

musculares, el lenguaje, la inteligencia, el razonamiento, las emociones y la personalidad están regidos por los lóbulos frontales, en la llamada corteza motora. El lóbulo parietal está asociado con los sentidos, el equilibrio, el dolor y la presión.

Tabla 7. Tabla de análisis de experimento.

Experimento	Figura	Estado	Área Cerebral más Activa			
			Theta	Alfa	Beta	Gamma
1	Ver figura 9	Normal	Frontal	Central-Temporal Izquierdo	Temporal Izquierdo	Temporal Izquierdo
4	Ver figura 10	Normal	Frontal		Occipital	Occipital
6	Ver figura 11	Normal	Frontal		Frontal	Frontal y occipital
9	Ver figura 12	Normal	Central-Frontal	Frontal y Parietal	Frontal y Parietal	Frontal y Temporal Izquierdo
10	Ver figura 13	Normal	Frontal		Frontal	Frontal
1	Ver figura 9	Fatiga	Frontal	Occipital	Frontal y Occipital	Frontal y Occipital
4	Ver figura 10	Fatiga	Frontal		Frontal y Occipital	Frontal y Occipital
6	Ver figura 11	Fatiga	Frontal	Frontal		Frontal y Temporal Izquierdo
9	Ver figura 12	Fatiga	Frontal		Temporal Izquierdo	Temporal Izquierdo
10	Ver figura 13	Fatiga	Frontal		Frontal y Occipital	Occipital y Temporal Derecho

Fuente Elaboración propia

En concreto, en la onda theta, se puede ver que en el estado normal y con fatiga tuvo presencia en el área frontal. Con respecto a alpha se puede ver conforme a un estado normal que no hubo presencia en el área occipital, en cambio seguimos viendo presencia en la región frontal que nos demuestra el estado de concentración y actividad de la persona. En relación a Beta se puede establecer que en el estado normal se encuentra una actividad común referida a la mayor presencia de la región frontal y parietal que nos refiere a un estado de concentración, lo cual es un estado indispensable en la situación de manejo, lo cual comparado al estado en fatiga nos muestra mayor presencia en el área occipital y temporal, lo cual nos refiere a que la persona requirió mayor concentración visual. Por último, Gamma nos muestra más influencia en la zona frontal, parietal y temporal en el estado normal, lo cual establece un estado de atención y percepción que igualmente es necesario cuando se maneja un vehículo, que, comparado con un estado de fatiga, se muestra actividad en el área frontal, temporal y occipital, de la cual las primeras dos es de un estado normal, pero la presencia de la

región occipital se traduce como mayor necesidad de visualización.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a mi tutor Ana Isela García Acosta, Doctora en Ciencias de la Ingeniería, quien con sus conocimientos me guió a través de las etapas del presente proyecto para alcanzar los resultados deseados.

También quiero agradecer a Jianliang Min, Ping Wang, Jianfeng Hu, autores de la investigación "Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system" por brindar los recursos de base de datos de EEG con acceso público para la aplicación de nuevos estudios, herramienta que fue necesaria para realizar el proceso de investigación. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por la investigación que ellos iniciaron.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Aporte, A., & Moreno, J. (2017). *Autómatas celulares y su aplicación a la modelación del tráfico automotor en la ciudad de Caracas*. Tekhne, 5-15.

[2] Botella, J., & Gambara, H. (2006). *Doing and reporting a meta-analysis*. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 425-440.

[3] Correa Torres, Á. (2018). *Neuro ergonomía: una ciencia sobre el cerebro y la comodidad*. Granada: Editorial Zenodo.

[4] Davidson, R. J. (1998). *Affective Style and Affective Disorders: Perspectives from Affective Neuroscience*. Routledge, 307-330.

[5] Dominguez, G. E. (2020). *Atenuación de brechas en procedimientos y métodos de manufactura asistidos por computadora para productos con la metodología meta-análisis*. Ciudad Juárez: Tecnológico Nacional de México Campus Ciudad Juárez.

[6] Fan, X., Zhou, Q., Liu, Z., & Xie, F. (2015). *Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search*. *Bio-Medical Materials and Engineering* 26, 455-463.

[7] He, S., Chen, L., & Yue, M. (2018). *Reliability Analysis of Driving Behaviour in Road Traffic System Considering Synchronization of Neural Activity*. *NeuroQuantology*, 62-68.

[8] Hu, J., & Wang, P. (2017). *Noise Robustness Analysis of Performance for EEG-Based Driver Fatigue Detection Using Different Entropy Feature Sets*. China: Editorial MDPI.

[9] Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000). *Principles of Neuronal Science*. New York: McGraw-hill.

[10] Kohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data*. Massachusetts: The MIT Press.

[11] Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2009). *Neuropsicología humana*. Madrid: Editorial Medica Panamericana.

[12] Kong, W., Lin, W., Babiloni, F., Hu, S., & Borghini, G. (2015). *Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network*. China/Italia: Editorial MDPI.

[13] Ledesma, S., Aviña, G., & Sanchez, R. (2008). *Practical Considerations for Simulated Annealing Implementation*. En C. M. Tan, *Simulated Annealing* (págs. 401-420). México: InTech.

[14] Longo, L., & Chiara Leva, M. (2019). *Human Mental Workload: Models and Applications*. Roma: Ediciones Springer.

[15] Ma, Y., Chen, B., Wang, C., Li, R., Wang, J., She, Q., Zhang, Y. (2019). *Driving Fatigue Detection from EEG Using a Modified PCANet Method*. Hindawi.

[16] Martin Golz, D. S. (2015). *Driver Sleepiness assessed by electroencephalography - Different Methods Applied to one single data set*. 8th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design, 365-371.

[17] Min, J., Wang, P., & Hu, J. (2017). *Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system*. Jiangxi, China: Ediciones PLOS ONE.

[18] Saroj, K. L. (2000). *A critical review of the psychophysiology of driver fatigue*. MDPI.

[19] Saroj, K. L. (2002). *Driver fatigue: Electroencephalography and psychological assessment*. *Psychophysiology*, 313-321.

[20] Vysata, O., Kukal, J., Valis, M., Pazdera, L., Hort, J., & Prochazka, A. (2014). *Lag Synchronisation in the Human Brain: Evidence from 17,722 Healthy Subjects EEG Analyses*. *NeuroQuantology*, 40-45.

Anexo

Tabla 1. Ejemplo de revisión literaria concentrada para el meta-análisis.

Título	Autor	Año de publicación	DOI	ISSN	ISBN
Noise Robustness Analysis of Performance for EEG-Based Driver Fatigue Detection Using Different Entropy Feature Sets	Jianfeng Hu y Ping Wang	2017	10.3390/e19080385		
Electroencephalogram assessment of mental fatigue in visual search	Xiaoli Fan, Qianxiang Zhou, Zhongqi Liu and Fang Xie	2015	10.3233/BME-151444		
Reliability Analysis of Driving Behaviour in Road Traffic System Considering Synchronization of Neural Activity	Shouhui He, Lei Chen, Mingshi Yue	2018	10.14704/nq.2018.16.4.1209		
A critical review of the psychophysiology of driver fatigue	Saroj K.L. Lal, Ashley Craig	2000	10.1016/S0301-0511(00)00085-5		
Driver fatigue detection through multiple entropy fusion analysis in an EEG-based system	Jianliang Min, Ping Wang, Jianfeng Hu	2017	10.6084/e0188756		
Autómatas celulares y su aplicación a la modelación del tráfico automotor en la ciudad de Caracas.	Lic. Angel Aponte, Dr. José Alí Moreno	2007		1316-3930	
Analyzing neural time series data	Mike X Kohen	2014			978-0-262-01987-3
Neuroergonomía: una ciencia sobre el cerebro y la comodidad	Ángel Correa Torres	2018			978-84-09-05245-5
Investigating Driver Fatigue versus Alertness Using the Granger Causality Network	Wanzeng Kong, Weicheng Lin, Fabio Babiloni, Sanqing Hu y Gianluca Borghini	2015	10.3390/s150819181		
Driver Sleepiness assessed by electroencephalography - Different Methods Applied to one single data set	Martin Golz, David Sommer, Jarek Krajewski	2015	10.13140/RG.2.1.1665.9046		
Human Mental Workload: Models and Applications	Longo, L., & Chiara Leva, M.	2019		1865-0929	978-3-030-62301-2
Practical Considerations for Simulated Annealing Implementation	Sergio Ledesma, Gabriel Aviña and Raul Sanchez	2008			978-953-7619-07-7

Para mejorar leibilidad