

Análisis bibliométrico sobre la aplicación de indicadores fisiológicos para valorar carga mental de trabajo

Bibliographic analysis on the application of physiological indicators to assess mental workload

Juan Lázaro Acosta Prieto¹  <https://orcid.org/0000-0003-1390-2380>

Daniela Abrante Leal¹  <https://orcid.org/0000-0003-1078-3726>

Joaquín García Dihigo¹  <https://orcid.org/0000-0002-8791-5830>

Yilena Cuello Cuello^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-4589-8670>

¹Universidad de Matanzas. Cuba.

*Autor para la correspondencia: yilena.cuello@gmail.com

RESUMEN

Introducción: La carga mental en el trabajo se define sobre la discrepancia entre la capacidad del individuo y las demandas de la tarea. Se han desarrollado y estudiado diferentes enfoques para la valoración del trabajo mental entre los que se encuentran los indicadores fisiológicos.

Objetivos: Describir los indicadores fisiológicos más utilizados según la revisión bibliográfica del tema en los últimos cinco años a través de un modelo de ficha de indicador propuesto.

Métodos: La investigación fue de tipo descriptiva y recopilatoria. Se utilizó la metodología de revisión sistemática, a través de buscadores especializados en literatura académica. Se empleó como herramienta el software *VOSviewer* para el análisis bibliométrico y apoyo del gestor bibliográfico *EndNote* y *software*.

Resultados: Los resultados obtenidos a partir de la búsqueda bibliográfica muestra a la variabilidad de la frecuencia cardíaca, el electroencefalograma, los potenciales evocados, los infrarrojos y la resonancia magnética como los indicadores fisiológicos más reconocidos. Se evidenció que, a pesar de la fiabilidad y exactitud en la valoración de la carga mental de trabajo que ofrecen, su uso es limitado por las



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

condiciones experimentales que necesita su aplicación, lo invasivo de sus procedimientos para el ser humano y lo costoso de los equipos y el nivel de capacitación requerido.

Conclusiones: La investigación evidenció la necesidad de la aplicación de más de una técnica de evaluación de la carga mental de trabajo para la obtención de información fiable y exacta. Además, que el modelo de ficha de indicador presentado facilita su comprensión.

Palabras clave: indicadores fisiológicos; carga mental de trabajo; trabajo mental

ABSTRACT

Introduction: Mental workload is defined on the discrepancy between the individual's capacity and the demands of the task. Different approaches have been developed and studied for the assessment of mental workload, including physiological indicators.

Objectives: To describe the most used physiological indicators according to the bibliographic review of the subject in the last five years through a proposed indicator card model.

Methods: The research was descriptive and compilatory. The systematic review methodology was used, through search engines specialized in academic literature. The VOSviewer software was used as a tool for bibliometric analysis, with the support of the EndNote bibliographic manager and software.

Results: The results obtained from the bibliographic search show heart rate variability, electroencephalogram, evoked potentials, infrared and magnetic resonance imaging as the most recognized physiological indicators. It was evidenced that in spite of the reliability and accuracy in the assessment of mental workload that they offer, their use is limited by the experimental conditions needed for their application, the invasiveness of their procedures for human beings and the cost of the equipment and the level of training required.

Conclusions: The research evidenced the need for the application of more than one mental workload assessment technique in order to obtain reliable and accurate information. Furthermore, the indicator card model presented facilitates the understanding of the indicators.

Keywords: physiological indicators; mental workload; mental work

Recibido: 10 de diciembre de 2023

Aceptado: 26 de enero de 2024



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Introducción

El trabajo es una actividad humana en la cual el individuo, con su fuerza e inteligencia transforma la realidad. La carga de trabajo es el esfuerzo requerido para el desarrollo de una tarea, implica el desarrollo de operaciones motoras y/o cognitivas.⁽¹⁾

En caso de que el trabajo sea predominantemente físico se habla de carga física, si su realización incluye un mayor esfuerzo cognitivo se introduce el concepto de carga mental de trabajo.⁽²⁾

El análisis de la carga física de trabajo es un tema antiguo en comparación con el estudio de la carga mental de trabajo. El avance tecnológico de los últimos tiempos ha traído consigo un desempeño cognitivo cada vez mayor en el desarrollo de las tareas correspondientes a los puestos de trabajo.

La carga mental de trabajo implica la respuesta a las condiciones de trabajo, es un desafío para la investigación ergonómica y para el desarrollo de técnicas de evaluación, es un riesgo psicosocial emergente producto de aspectos como el uso de la tecnología y nuevas formas de organización del trabajo. Requiere especial atención considerando que incide en la calidad de vida del trabajador y su desempeño en el empleo.⁽³⁾

Se han planteado nuevos modelos y definiciones sobre que es la carga mental de trabajo, lo que conlleva en el contexto actual a que los investigadores reconozcan su carácter multidimensional, se define como la diferencia entre las demandas cognitivas de las tareas a efectuar y la capacidad del trabajador para realizarla.⁽⁴⁾

Cuando el trabajador es o se considera no capaz de desarrollar las actividades exigidas en su empleo, se produce un problema de carga mental de trabajo. Entre las alteraciones/afecciones de la salud relacionadas con el exceso de trabajo mental se destacan: trastornos cardiovasculares, aterosclerosis, diabetes *mellitus*, trastornos digestivos, asma, trastornos psiquiátricos, cáncer y el tan mencionado estrés.⁽⁵⁾

Por consiguiente, la evaluación de la carga mental de trabajo es una temática a tener en cuenta en la investigación y desarrollo de sistemas de trabajo que propicien confort, satisfacción y seguridad en el trabajo. La Ergonomía Cognitiva es la disciplina encargada de realizar los estudios necesarios para ello, se



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ocupa del esfuerzo mental requerido para efectuar una tarea y busca minimizar las cargas de trabajo psíquicas.⁽⁶⁾

Los indicadores de carga mental de trabajo que emplean los diferentes niveles de evaluación se han obtenido a través de experimentos que evalúan las reacciones del individuo frente a un exceso de carga mental de trabajo, es decir, según los cambios biomoleculares, fisiológicas, psicofisiológicas y psicológicas del comportamiento procedentes de la fatiga mental. Para evaluar la carga mental de trabajo es necesario la utilización de diversos métodos, debido a que ninguna medida tiene validez individualmente, la comparación de los resultados obtenidos por la aplicación de varios de ellos es la manera más exacta de evaluación.⁽⁷⁾

En relación con lo expuesto, el objetivo de la presente investigación es describir los indicadores fisiológicos más utilizados para evaluar la carga mental de trabajo según la revisión bibliográfica del tema en los últimos cinco años.

Métodos

El presente estudio se apoya en la metodología propuesta Kitchenham⁽⁸⁾ y Okoli y Schabram⁽⁹⁾ similar a la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis*). La metodología sigue una guía de ocho pasos para realizar una revisión sistemática de la literatura, los cuales son: determinar el propósito de la revisión; protocolo y formación; búsqueda de literatura; criterio para la inclusión; evaluación de la calidad; extracción de datos; síntesis de los estudios y escritura de la reseña. Estos pasos permitieron seguir las fases de planificación, desarrollo y reporte de la revisión sistemática.⁽¹⁰⁾ La investigación fue de tipo descriptiva y recopilatoria pues, consistió en identificar y registrar mediante una revisión sistemática los documentos y artículos científicos que tuvieron los rasgos principales, dedicados a la evaluación de la carga mental de trabajo a partir de la aplicación de indicadores fisiológicos, tanto en español como en inglés.

Para determinar las metas de la revisión, se partió de la siguiente interrogante:

- ¿Qué indicadores fisiológicos se utilizan en la práctica internacional para la valoración de la carga mental de trabajo?



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se analizaron además las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados con el fin de rescatar otros estudios potencialmente incluíbles para la revisión. Para proceder a la selección se revisaron los resúmenes y las palabras clave que guiaron la revisión y que fueron las asociadas con trabajo mental, carga mental de trabajo e indicadores fisiológicos, así como en inglés: “*mental work*”, “*mental workload*” y “*physiological indicators*”. Se revisaron los textos completos de los artículos y se seleccionaron los que mayor relación guardaron con el tema. De las revisiones sistemáticas se recopiló información sobre autoría, año, introducción, fuentes de información, y conclusiones.

La búsqueda se realizó combinando descriptores (Ej. [*mental work*] AND [*physiological indicators*]). Con el objetivo de acotar la búsqueda se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- Se limitó por año de publicación en las tres bibliotecas (*Google Académico*, *PubMed* y *Dialnet*) para la búsqueda de información actualizada con una limitación del 2017-2022.
- Estudios cuantitativos, cualitativos o mixtos.
- Se introdujo como lengua de los estudios que primero fueran en español y posterior en inglés.
- Disponibilidad de texto completo.
- Documentos y publicaciones que estuvieron relacionados con los modelos aplicados a la valoración del trabajo mental y las normas regulatorias, es decir que incluyeran uno o más términos de búsqueda relacionados con las interrogantes planteadas.

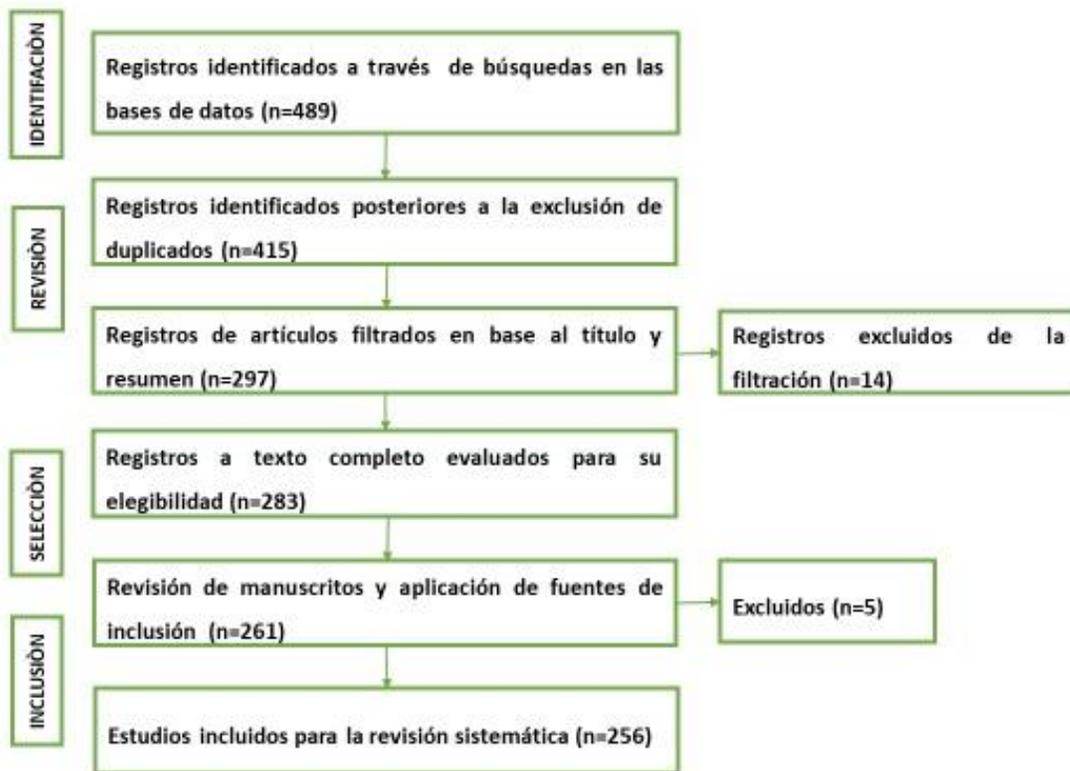
Por tanto, como criterios de exclusión se desecharon los artículos desactualizados, que estuvieran relacionados con carga mental de trabajo, pero que no contuvieran las palabras clave definidas para la búsqueda bibliográfica. El establecimiento de estos criterios, permitió depurar la información.

A continuación, se muestra en la figura 1 el diagrama de flujo de la búsqueda y selección en la revisión sistemática:



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 1
Diagrama de flujo para realizar la revisión sistemática.

En aras de determinar aquellos indicadores fisiológicos más comunes en los estudios actuales, para evaluar la carga mental en los trabajadores se realiza un análisis de concurrencia y el procesamiento de la información se realiza en el *software* VOSviewer.

Por último, se elaboró un modelo de ficha de indicador, como se muestra en el cuadro 1, para la síntesis de los elementos esenciales a tratar.

Cuadro 1
Ficha para describir indicador fisiológico

Nombre del indicador	Identificador
	(Siglas del nombre)
Principio de funcionamiento	



(Se describe a qué sistema humano responde el indicador analizado)	
Forma de evaluación	Interpretación de los resultados
(Equipo empleado para la medición del indicador, unidades de medidas empleadas y procedimiento para su evaluación)	(Analizar el comportamiento del indicador a partir de investigaciones previas)

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Se evaluaron 256 investigaciones cuyo desglose por años se muestra en la tabla 1; en la figura 2 se observa el mapa bibliométrico de las palabras clave más utilizadas. Como resultado se aprecia la concordancia del empleo de los siguientes indicadores: variación de la frecuencia cardíaca (VFC), la electroencefalografía (EEG), los potenciales evocados (EPRs), la espectroscopía funcional de infrarrojo (fNIRS) y la imagen por resonancia magnética (fMRI).

Tabla 1

Cantidad de publicaciones por año seleccionados para el análisis de concurrencia

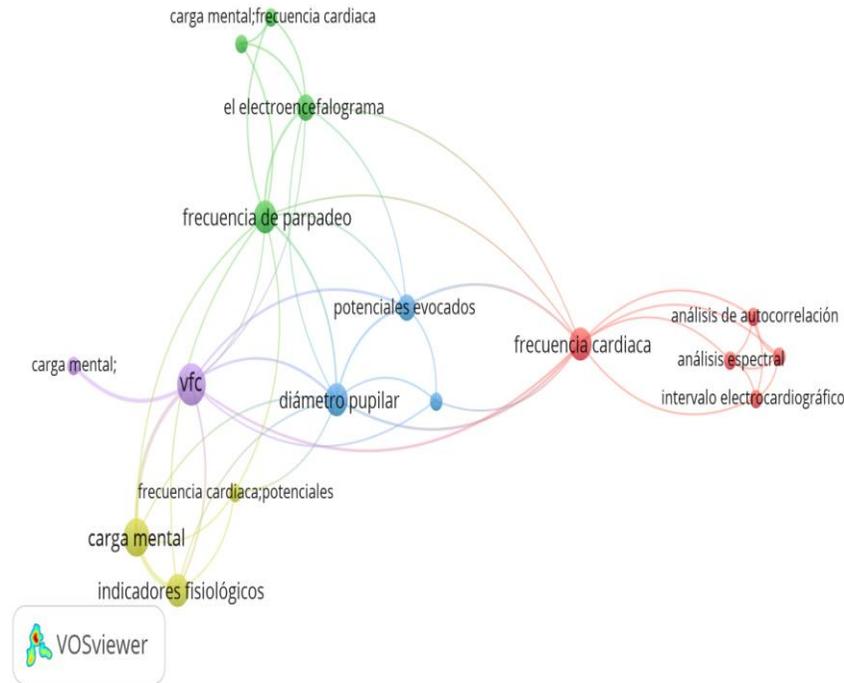
Búsqueda en: indicadores fisiológicos y carga mental de trabajo	
Años	Conteo
2023	8
2022	36
2021	41
2020	58
2019	44
2018	32
2017	37
Total	256

Fuente: Elaboración propia.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 2

Mapa bibliométrico de concurrencia de palabras clave más utilizadas en la bibliografía analizada.

Las tablas de la 2 a la 6 describen las características de los indicadores fisiológicos más empleados en el contexto internacional que se muestran en las fichas confeccionadas.

Tabla 2

Ficha del indicador fisiológico variabilidad de la frecuencia cardíaca

Nombre del indicador	Identificador
Variabilidad de la frecuencia cardíaca	VFC
Principio de funcionamiento	
<p>La variabilidad de la frecuencia cardíaca es la variación en el intervalo de tiempo entre latidos cardíacos consecutivos como consecuencia de eventos eléctricos, mecánicos y nerviosos que confluyen en el corazón.⁽¹⁾</p> <p>El aumento o la disminución de la variabilidad de la frecuencia cardíaca están relacionados con la respuesta del sistema nervioso simpático (SNS) y parasimpático (SNP); en otras palabras, su</p>	



variación está producida por la interacción del sistema nervioso autónomo (SNA) con el sistema cardiovascular.⁽¹¹⁾

El equilibrio existente entre el SNS y SNP incide en el tiempo que se produce entre latidos. El SNP participa en la regulación del aparato cardiovascular. Entre sus funciones se encuentra la gestión del reflejo barorreceptor y la liberación de acetilcolina en el nodo sinusal mediada por el nervio vago. La acción de este neurotransmisor produce una disminución en la frecuencia cardíaca (FC) que provoca o mantiene el estado de reposo tras un estímulo estresante. Por el contrario, el SNS es el encargado de aumentar la FC tras la liberación de adrenalina y noradrenalina en el torrente sanguíneo, con el fin de preparar al organismo ante una situación de estrés físico y/o psicológico.⁽¹²⁾

Los reflejos circulatorios son el origen fisiológico de la disminución de VFC. Otra razón son los distintos reflejos vasomotores, que como consecuencia de variación en el tono vagal, pueden ser la causa de la arritmia sinusal y sugieren que dichas variaciones pueden ser originadas por una ataxia de Sistema Nervioso Central, tal vez influenciada por la acción de la formación reticular.⁽¹³⁾

Forma de evaluación	Interpretación de los resultados
<p>Para medir la VFC se utilizan distintos métodos, el más común es el electrocardiograma. Esta técnica según Salgado⁽¹⁴⁾ muestra gráficamente cada una de las ondas R que se generan con cada latido, permitiendo el análisis del tiempo en milisegundos que hay entre los intervalos R-R y las pequeñas variaciones que se pueden detectar entre intervalos consecutivos. Para ello se emplea un electrocardiógrafo. Se realizan mediciones antes comenzar la actividad cognitiva y al culminarla. Otra forma de medir la VFC es mediante los aparatos portátiles POLAR que permiten cuantificar los intervalos R-R de una persona. Permiten comparar VFC de una persona antes y después de exponerlo a los estimuladores del SNA.⁽¹⁵⁾</p>	<p>Ante situaciones de estrés de acuerdo a Veloza y otros,⁽¹¹⁾ ocurre una disminución de la VFC (arritmia inusual), el valor final de la VFC disminuye con respecto al inicial. La unidad de media de este indicador es en porcentaje (%).</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Ficha del indicador fisiológico electroencefalografía

Nombre del indicador	Identificador
Electroencefalograma	EEG
Principio de funcionamiento	
<p>El electroencefalograma es una prueba que se emplea para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, específicamente de la actividad de la corteza del cerebro. Esta prueba permite</p>	



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

explorar y registrar la actividad eléctrico-cerebral y realizar un seguimiento de las ondas cerebrales.⁽¹⁶⁾

Según Ferrer y Lozano⁽¹⁷⁾ en la actividad cortical se han identificado cuatro diferentes ritmos de frecuencia:

- *Beta*: entre 14 y 30 Hz
- *Alpha*: entre 8 y 13 Hz
- *Theta*: entre 4 y 7 Hz
- *Delta*: entre 0,5 y 3,5 Hz

Forma de evaluación	Interpretación de los resultados
<p>Es una técnica no invasiva que registra la actividad cerebral mediante de unos electrodos en colocados en el cuero cabelludo del individuo, a través dos entradas eléctricas y un amplificador diferencial que capta la señal como la diferencia entre estas señales eléctricas. Las ondas obtenidas representan la corriente generada por las neuronas de la corteza cerebral. Posteriormente, esta información es procesada por computadoras, teniendo en cuenta la ubicación de los electrodos para obtener una representación espacial.⁽¹⁸⁾ Cabe recalcar que es necesario contar con un sistema informático muy complejo.</p>	<p>Cuando una tarea exige gran cantidad de información a procesar, la actividad celebrar aumenta, las ondas <i>Alpha</i> disminuyen e incluso desaparecen cuando el sujeto tiene una actividad mental y aumentan cuando entra en un estado de relajación próximo a la somnolencia.⁽¹⁷⁾ Ferrer y Lozano⁽¹⁷⁾ afirma que la onda <i>Delta</i> aparece cuando el trabajo está vinculado a una situación de hipovigilia. Su validez no es muy alta por lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No siempre está disminuido durante tareas mentales. A veces aumenta. • Los diferentes niveles de carga mental no quedan establecidos. • Las variaciones a largo plazo son difíciles de interpretar.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Ficha del indicador fisiológico potenciales evocados

Nombre del indicador	Identificador
Potenciales evocados	EPRs
Principio de funcionamiento	
<p>Los potenciales relacionados con eventos,⁽¹⁴⁾ derivados de la electroencefalografía representa las respuestas eléctricas cerebrales asociadas temporalmente al procesamiento de eventos específicos que evocan algún tipo de respuesta de tipo sensorial, cognitiva o motor.⁽¹⁹⁾</p>	



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Para evaluar la carga de trabajo mental o examinar el error humano según Fedota y Parasuraman,⁽²⁰⁾ citados por Martín,⁽²¹⁾ las formas de onda de ERP se examinan en busca de cambios en la amplitud y latencia de diferentes componentes de ERP, generalmente definidos como actividad pico positiva o negativa (como los componentes P3 y N1) o una actividad que aumenta lentamente, como el potencial de preparación lateralizado.

Al examinar el impacto de la demanda cognitiva sobre la capacidad física, algunos estudios han atribuido la disminución de la resistencia muscular en presencia de una situación cognitivamente estresante a una menor motivación o interferencia neuronal en la corteza prefrontal que está involucrada en el procesamiento cognitivo y las contracciones motoras isométricas.⁽²²⁾

Forma de evaluación	Interpretación de los resultados
<p>Al sujeto de prueba se le colocan unos electrodos en el cuero cabelludo y pabellones auditivos y/o en hombro, cuello, columna. Posteriormente recibe estímulos que requieran una atención y concentración significativas, los electrodos registran la actividad eléctrica del cerebro en respuesta al estímulo que se analiza para determinar cómo procesa el cerebro la información sensorial.⁽¹⁸⁾</p>	<p>La carga mental de trabajo se puede determinar según Ferrer y Lozano⁽¹⁷⁾ por la amplitud y la latencia de los potenciales evocados, ya que cuanto mayor sea la carga mental de trabajo, mayor será la amplitud y más larga será la latencia de los potenciales evocados.</p> <p>Según Sirevaag y otros,⁽²³⁾ el potencial P300 es el más empleado por su alta sensibilidad para detectar las variaciones en carga mental en situaciones tanto de tarea simple como multitarea.⁽²⁴⁾ Estudios realizados por Isreal y otros,⁽²⁵⁾ han demostrado que el P300 está sujeto a las variaciones que afectan a los recursos de procesamiento perceptivo-central, ya sea en procesos verbales/espaciales o visuales/auditivos, y no indica ser muy sensible a factores relacionados con el procesamiento motor.⁽²⁴⁾</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Ficha del indicador fisiológico espectroscopia funcional de infrarrojo

Nombre del indicador	Identificador
Espectroscopia funcional de infrarrojo	fNIRS
Principio de funcionamiento	
<p>Lucas⁽²⁶⁾ afirma que la espectroscopia funcional del infrarrojo cercano es una técnica no invasiva que se utiliza para medir la actividad cerebral mediante la detección de cambios en la absorción de la luz infrarroja cercana. Esta técnica utiliza longitudes de onda de luz específicas para proporcionar medidas de hemoglobina cerebral oxigenada y desoxigenada que se correlacionan con la señal fMRI.</p> <p>Las luces son emitidas por una fuente de luz y se dirigen hacia el cerebro a través de fibra óptica.</p>	



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuando la luz alcanza el cerebro, parte de ella es absorbida por la hemoglobina en la sangre que fluye a través de las arterias y venas del cerebro. La hemoglobina es una proteína que se encuentra en los glóbulos rojos y es responsable de transportar el oxígeno en la sangre. Cuando las áreas del cerebro se activan, hay un aumento en el flujo sanguíneo y, por lo tanto, un aumento en la cantidad de hemoglobina que absorbe la luz infrarroja cercana. La fNIRS detecta estos cambios en la absorción de luz y los convierte en una señal que se puede utilizar para medir la actividad cerebral.⁽²⁷⁾

Forma de evaluación	Interpretación de los resultados
<p>Autores como López y Pérez⁽¹⁸⁾ afirman que su aplicación implica la colocación de sensores en el cuero cabelludo del sujeto y la medición de los cambios en la concentración de oxígeno en la sangre en diferentes regiones del cerebro mientras realiza una tarea cognitiva. Los datos recopilados se analizan para determinar la actividad neuronal y se comparan con los resultados de otras herramientas y métodos de evaluación para obtener una evaluación más completa de la carga mental de trabajo.</p>	<p>Se considera que una mayor actividad cerebral y una mayor oxigenación de la sangre en el cerebro indican una mayor carga mental de trabajo. Por otro lado, una menor actividad cerebral y una menor oxigenación de la sangre en el cerebro indican una menor carga mental de trabajo.⁽²⁷⁾</p> <p>Los resultados también pueden ser comparados con las mediciones previas del mismo trabajador o con los datos de referencia para determinar si la carga mental de trabajo ha aumentado o disminuido en el tiempo.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Ficha del indicador fisiológico imagen por resonancia magnética

Nombre del indicador	Identificador
Imagen por resonancia magnética	fMRI
Principio de funcionamiento	
<p>Las imágenes por resonancia magnética permiten realizar mediciones sobre las partes más internas del cerebro, persiguen entender el funcionamiento cerebral ante las prácticas motivacionales. Mide los cambios en el flujo sanguíneo en el cerebro, que están asociados con la actividad neuronal lo que permite crear imágenes detalladas de las áreas del cerebro que están activas durante tareas específicas.⁽²⁸⁾</p> <p>De acuerdo a Marrero⁽²⁸⁾ la fMRI utiliza un campo magnético fuerte y ondas de radio para crear imágenes detalladas del interior del cuerpo. El principio de funcionamiento se basa en la propiedad de los átomos de hidrógeno presentes en el cuerpo humano de tener un momento magnético, es</p>	



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

decir, un pequeño campo magnético propio.

Cuando se coloca al paciente en el interior del escáner de resonancia magnética, los átomos de hidrógeno se alinean con el campo magnético fuerte. Luego, se emiten pulsos de ondas de radio que hacen que los átomos de hidrógeno cambien su orientación y emitan su propia señal de radio. Esta señal es detectada por antenas dentro del escáner, que la convierten en una imagen, La fMRI se registra mientras el sujeto realiza alguna tarea, y mide las diferencias magnéticas entre la sangre oxigenada empleada por las neuronas activas y la desoxigenada de las inactivas.⁽²⁸⁾

Forma de evaluación	Interpretación de los resultados
<p>Esta técnica implica la colocación del sujeto en un escáner de resonancia magnética y la medición de los cambios en el flujo sanguíneo en diferentes regiones del cerebro mientras realiza una tarea cognitiva.⁽¹⁸⁾</p> <p>Se registra mientras el sujeto realiza alguna tarea, y mide las diferencias magnéticas entre la sangre oxigenada empleada por las neuronas activas y la desoxigenada de las inactivas.</p>	<p>La actividad neuronal desencadenada por los procesos cognitivos incrementa el consumo de oxígeno y glucosa en las zonas activas del cerebro (es lo que se conoce como acoplamiento neurovascular). Los cambios en el nivel de oxígeno en sangre provocan variaciones en el magnetismo de la hemoglobina que son captadas con la resonancia magnética.⁽¹⁸⁾</p>

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los indicadores para evaluar carga mental de trabajo se utilizan con la premisa de que una tarea se puede valorar a partir del nivel de activación fisiológico. A pesar de la fiabilidad y exactitud en la valoración que ofrecen estas pruebas, su uso es limitado por las condiciones experimentales que necesita su aplicación, lo invasivo que son sus procedimientos para el ser humano y lo costoso de los equipos y el nivel de capacitación que se debe tener para su aplicación.⁽²⁴⁾

La medida de variabilidad de la frecuencia cardíaca puede verse afectada por factores individuales, externos y la dificultad de su medición, siendo esto el origen más probable de los controvertidos resultados encontrados a pesar de ser el indicador fisiológico más asociado al esfuerzo mental

Varios autores han corroborado la sensibilidad de la VFC al esfuerzo mental y según recientes investigaciones puede llegar a reflejar, antes de cualquier otro indicador, la intensidad del esfuerzo mental, incluso momentáneamente.^(13,29,30)



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

A pesar de esto, según Ferrer y Lozano,⁽¹⁷⁾ la VFC presenta limitaciones en su uso, debido a que depende del valor de la FC y variables como la temperatura, lo que le resta especificidad. También por ser necesario obtener el espectro de frecuencias de los intervalos R-R mediante el análisis de *Fourier*, que es un método muy costoso.

No todos los parámetros fisiológicos guardan una relación estrecha al comparar los diferentes niveles de carga y la respuesta fisiológica, sin embargo, el más fiel, en investigaciones realizadas ha sido la VFC.^(29,30)

Las técnicas de neuroimágenes como el electroencefalograma, los potenciales evocados, la espectroscopia funcional del infrarrojo cercano y la resonancia magnética tienen en común ser pruebas no invasivas procedentes de la neurociencia cognitiva que han permitido observar el funcionamiento cerebral mientras se somete al individuo a estímulos.

Acosta⁽²⁴⁾ afirma que a través de estas técnicas se realiza una valoración más directa de trabajo mental, la cual se ve limitada por su elevado costo tecnológico y la limitación de su aplicación en el contexto práctico por el nivel de inmovilidad que requiere.

La actividad cerebral medida a través de la fMRI es sensible a la manipulación de la carga mental de trabajo en tareas como memorizar, la atención y el procesamiento de lenguaje; actividades cognitivas como estas aumentan la actividad neuronal que luego es detectada. Una limitante que posee es que solo puede proporcionar información sobre la actividad cerebral, lo que significa que no puede medir otros factores que pueden influir en los resultados como la fatiga o el estrés. Además, solo brinda datos de un momento específico y no se puede apreciar la evolución de la carga mental de trabajo con el tiempo.

La espectroscopia funcional del infrarrojo cercano es un indicador de fácil uso debido a su portabilidad lo que hace posible su empleo en el mundo real, además de ideal para estudios de carga mental de trabajo en situaciones cotidianas. Mide la actividad cerebral en zonas profundas del cerebro, pero solo en las zonas cubiertas por los sensores y puede verse afectada por la sudoración y el movimiento.

La resonancia magnética y la espectroscopia funcional del infrarrojo cercano ofrecen una buena resolución espacial, pero peor resolución temporal que las derivadas de la actividad eléctrica, ya que dependen de procesos metabólicos desencadenados tras la activación neuronal.⁽²⁸⁾

El electroencefalograma es una prueba que registra la actividad eléctrica superficial del cerebro y no puede detectar la actividad de regiones más profundas.⁽³¹⁾



La interpretación de los resultados del EEG puede ser subjetiva y depende en gran medida de la experiencia del especialista que realiza la lectura. También puede ser difícil obtener resultados precisos si el paciente tiene movimientos involuntarios o si hay interferencia eléctrica externa durante la prueba.

Aunque la resonancia magnética es una técnica segura, no es recomendable para personas con ciertos implantes médicos o dispositivos electrónicos.⁽³¹⁾ Además, puede ser costosa y requiere equipos especializados, lo que limita su disponibilidad. Una de sus principales limitaciones es que la máquina genera un ruido tremendo (de al menos 90-110 Hz), que hace imprescindible la protección auditiva y dificulta la presentación de estímulos sonoros.

En un estudio realizado a controladores de tránsito aéreo se detectó que había un aumento en la activación de la corteza prefrontal a medida que aumentaba el número de aeronaves en su sector. Estos hallazgos sugieren que fNIRS puede proporcionar un índice sensible de carga de trabajo cognitiva en un grupo capacitado que realiza una tarea realista que es altamente representativa de su entorno de trabajo. Se han desarrollado versiones portátiles de fNIRS para su uso en neuroimágenes móviles.⁽²¹⁾

Conclusiones

La sociedad actual se ve afectada en gran magnitud por la carga mental de trabajo producto al ascenso de las demandas cognitivas en los puestos de trabajo. El empleo de técnicas que permitan la evaluación de la carga mental de trabajo es de suma importancia, pues esto tributa a la prevención de riesgos cognitivos que pueden afectar la salud del trabajador y permite ajustar las características de los puestos de trabajo a las capacidades del trabajador.

Se concluye que los estudios sobre los indicadores fisiológicos para evaluar la carga mental de trabajo deben investigar más respecto a las peculiaridades de cada organismo antes de tomarlo como sujeto de prueba, para obtener una mayor viabilidad de la información como resultado de su aplicación. Se demuestra la ausencia de métodos más prácticos y menos costosos para medir la presencia de carga mental de trabajo en las personas.

Se corrobora la necesidad de combinar varios de estos indicadores para lograr resultados más confiables y precisos. No obstante, se ratifica la fiabilidad y validez de estas pruebas a pesar de ser limitadas por la



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

tecnología. Se evidencia que el modelo de ficha de indicador fisiológico utilizado proporciona una información concisa y de fácil comprensión a la hora de analizar el comportamiento del indicador.

Referencias bibliográficas

1. Pedraza EM, González VE, Montes de Oca M, González KN, Muñoz GA, Bueno DJ. Respuesta autonómica cardiovascular al estrés mental inducido por la prueba de cálculo aritmético. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 2020 [acceso 19/10/2023];39(4):3-19. Disponible en: <https://revbiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/625>
2. Acosta JL, Cuello Cuello Y, García J, Barrios YA. Modelos para la valoración de la carga mental de trabajo: una revisión sistemática. Revista San Gregorio. 2023;1(55):158-80. DOI: <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i55.2272>
3. Vargas LD, Coral RC, Barreto RV. Carga mental en personal de enfermería: Una revisión integradora. Revista Ciencia y Cuidado. 2020 [acceso 13/11/2023];17(3):108-21. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7732356>
4. Gallardo MI, Herrán JW, Carrera GJ. Carga mental y desempeño laboral en los trabajadores de una empresa industrial. Revista Científica Retos de la Ciencia. 2019 [acceso 20/10/2023];3(6):26-44. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/229097987.pdf>
5. González YL, Ceballos PA, Rivera F. Carga mental en profesores y consecuencias en su salud: una revisión integrativa. Cuadernos Brasileiros de Terapia Ocupacional. 2021;29:e2808. DOI: <https://doi.org/10.1590/2526-8910.ctoAR21232808>
6. Antón AM. Ergonomía cognitiva en profesores universitarios con sobrecarga laboral [Tesis de pregrado]. Ecuador: Universidad San Gregorio de Portoviejo. 2021 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: <http://repositorio.sangregorio.edu.ec/handle/123456789/2053>
7. Rubio S, Luceño L, Martín J, Jaén M. Modelos y procedimientos de evaluación de la carga mental de trabajo. EduPsykhé: Revista de Psicología y Educación. 2007 [acceso 22/11/2023];6(1):85-108. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2267138>
8. Kitchenham B. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University. 2004 [acceso 20/11/2023];33:1-26. Disponible en:



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=29890a936639862f45cb9a987dd599dc9759bf5>

9. Okoli C, Schabram K. A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. 2015;10(26):10-26. Disponible en: <https://doi.org/10.2139/ssrn.1954824>

10. Crisol E, Herrera LB, Montes R. Educación virtual para todos: una revisión sistemática. Education in the knowledge society: EKS. 2020 [acceso 20/11/2023];21:13. Disponible en: <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/201043>

11. Veloza L, Jiménez C, Quiñones D, Polanía F, Pachón LC, Rodríguez CY. Variabilidad de la frecuencia cardiaca como factor predictor de las enfermedades cardiovasculares. Revista Colombiana de Cardiología. 2019;4:206-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.01.006>

12. Ortigosa JM, Reigal RE, Carranque GA, Hernández A. Variabilidad de la frecuencia cardíaca: investigación y aplicaciones prácticas para el control de los procesos adaptativos en el deporte. Revista iberoamericana de psicología del ejercicio y el deporte. 2018 [acceso 16/11/2023];13(1):121-30. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6195000>

13. de Jo JN, García JA. Tecnología para la valoración del trabajo mental en profesores de la Educación Superior. Caso Facultad de Derecho de Ipatinga, Brasil [Tesis doctoral]. Brasil: Facultad de Derecho de Ipatinga. 2011 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: <https://rein.umcc.cu/handle/123456789/29>

14. Salgado M. Revisión bibliográfica: Interpretación del electrocardiograma, una herramienta para la detección de cardiopatías. [Tesis de pregrado]. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. 2021 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26548>

15. Baraja MS. Transformada de Fourier para obtener el dominio de la frecuencia en la variabilidad de la frecuencia cardíaca en mujeres. Res. Comput. Sci. 2020 [acceso 20/11/2023];149(2):71-9. Disponible en: https://rcs.cic.ipn.mx/2020_149_2/Transformada%20de%20Fourier%20para%20obtener%20el%20dominio.pdf

16. Delgado K, Ledesma S, Rostro H. Análisis de electroencefalograma usando redes neuronales artificiales. Acta universitaria. 2019;29. DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2019.1672>

17. Ferrer FV, Lozano GM. Carga y fatiga mental. En: Manual de Ergonomía. España: Fundación Mapfre; 2006 [acceso 30/10/2023]:473-611. Disponible en: <https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/151099.do>



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

18. López RB y Pérez RP. Lo que el electroencefalograma esconde. Reporte de caso. *Pediatría*. 2022;55(2):98-100. DOI: <https://doi.org/10.14295/rp.v55i2.199>
19. Huerta V, Rivera S, Ramos J. Los Potenciales Relacionados a Eventos (PREs): una técnica para estudiar el funcionamiento del cerebro durante el procesamiento de información. *e-CUCBA*. 2022;19(10):183-94. DOI: <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi19.278>
20. Fedota J, Parasuraman R. Neuroergonomic and human error. *Ergonomic Science*. 2010;11:402–21. DOI: <https://doi.org/10.1080/14639220902853104>
21. Martín LL. Propuesta de procedimiento para evaluar puestos de trabajo con elevada demanda cognitiva en el Ministeria de Trabajo, Municipio Cárdenas [Tesis de pregrado]. Cuba: Universidad de Matanzas. 2021[acceso 30/10/2023]. Disponible en: <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/938>
22. Ahmadi M, Schoenfeld MA, Hillyard SA, Quiroga RQ. A simple metric to study the mechanisms generating event-related potentials. *Journal of Neuroscience Methods*. 2021;360:109230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2021.109230>
23. Sirevaag EJ, Kramer AF, Coles MGH, Donchin E. Resource reciprocity: An event-related brain potentials analysis. *Acta psychologica*. 1989;70(1):77-97. DOI: [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(89\)90061-9](https://doi.org/10.1016/0001-6918(89)90061-9)
24. Acosta JL. Análisis del comportamiento de indicadores relacionados con la carga mental en estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas [Tesis de pregrado]. Cuba: Universidad de Matanzas. 2022 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/2323>
25. Isreal JB, Wickens CD, Chesney GL, Donchin E. The event related brain potential as an index of display-monitoring workload. *Human factors*. 1980;22(2):211-24. DOI: <https://doi.org/10.1177/001872088002200210>
26. Lucas I. Funciones ejecutivas, emoción y personalidad: Actividad de la corteza prefrontal a través de espectroscopia funcional de infrarrojo cercano (fNIRS) [Tesis doctoral].España: Universidad de Lérida. 2020 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/669196>
27. Rivas FJ. Espectroscopia funcional de infrarrojo cercano en pacientes con y sin enfermedad de Parkinson: estudio piloto [Tesis de pregrado]. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2023 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/8190>



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

28. Marrero V. Aportación de las investigaciones con neuroimagen funcional a los estudios lingüísticos. *Estudios de lingüística del español*. 2022 [acceso 23/11/2023];45:159-83. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/Elies/article/view/403743>
29. Almirall PJ. Ergonomía cognitiva apuntes para su aplicación en trabajo y salud. Cuba : Instituto nacional de salud de los trabajadores. 2000 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/download/50066962/ergonomia_cognitiva_apuntes_para_su_aplicacion_en_trabajo_y_salud.pdf
30. Acosta JL, García J, Almeda Y, Monzón Y. Análisis de indicadores relacionados con el estrés académico en estudiantes universitarios. *Revista Médica Electrónica*. 2023 [acceso 30/10/2023];45(2):206-22. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242023000200206&script=sci_arttext
31. Mesa SM, Ortega G, Ramírez LT. La neuroseguridad laboral y el neuroliderazgo como estrategias eficaces para disminuir la accidentalidad y el ausentismo laboral en Colombia [Tesis de pregrado]. Colombia: Universidad ECCI. 2021 [acceso 30/10/2023]. Disponible en: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1324>

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Juan Lázaro Acosta-Prieto.

Investigación: Juan Lázaro Acosta-Prieto, Daniela Abrante-Leal, Yilena Cuello-Cuello.

Metodología: Joaquín García-Dihigo.

Software: Yilena Cuello-Cuello.

Supervisión: Joaquín García-Dihigo.

Visualización: Daniela Abrante-Leal.

Redacción – borrador original: Juan Lázaro Acosta-Prieto, Yilena Cuello-Cuello.

Redacción- revisión y edición: Juan Lázaro Acosta-Prieto, Yilena Cuello-Cuello.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)