

Comportamiento del indicador “variabilidad de la frecuencia cardíaca” en la carga mental de estudiantes universitarios

Behavior of the indicator “heart rate variability” in the mental workload of university students

Juan Lázaro Acosta-Prieto^{1*}  <https://orcid.org/0000-0003-1390-2380>

Yilena Cuello-Cuello¹  <https://orcid.org/0000-0003-4589-8670>

Edian Dueñas-Reyes¹  <https://orcid.org/0000-0002-6332-0752>

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

Ana Laura Matos-Guerrero¹  <https://orcid.org/0009-0000-6330-8422>

Rocío de la Caridad Casas-Ojito¹  <https://orcid.org/0009-0005-9685-3159>

¹ Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba.

* Autor para la correspondencia: acostaprietojuanlázaro@gmail.com

RESUMEN

Introducción: La investigación sobre la fatiga mental de trabajo se enfrenta a desafíos importantes debido a la complejidad del objeto de estudio. La aplicación de indicadores relacionados con el comportamiento de la carga mental de trabajo posibilita inferir si la exigencia cognitiva puede provocar trastornos a la salud mental, de ahí la importancia de su estudio bajo condiciones experimentales.



Objetivo: Evaluar el comportamiento del indicador “variabilidad de la frecuencia cardíaca” en la carga mental de estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas.

Métodos: Se desarrolló un procedimiento que consta de tres etapas: preparatoria, experimental —donde se crearon dos grupos de muestra bajo el supuesto de presencia y ausencia de exigencias cognitivas y se evalúan los indicadores fisiológicos y psicofisiológicos seleccionados antes y después del desarrollo de la actividad experimental—, y resultados, donde se analizó el comportamiento de los indicadores mediante el *software* Statgraphic Centurion.

Resultados: Los resultados mostraron que existen diferencias significativas entre el antes y el después de los indicadores empleados para la muestra que realizó el examen, no así en la muestra con ausencia de exigencias cognitivas. Se demostró la correlación entre el indicador “variabilidad de la frecuencia cardíaca” y los indicadores psicofisiológicos aplicados.

Conclusiones: A partir del análisis del comportamiento de los indicadores entre el grupo control y el grupo experimental se confirma la fiabilidad del indicador “variabilidad de la frecuencia cardíaca” para la evaluación de la carga mental ante la presencia de exigencias cognitivas.

Palabras clave: carga mental, variabilidad de la frecuencia cardíaca, salud mental.

ABSTRACT

Introduction: Research on mental work fatigue faces significant challenges due to the complexity of the object of study. The application of indicators related to the behavior of the mental workload makes it possible to infer whether cognitive demand can cause mental health disorders, hence the importance of its study under experimental conditions.

Objective: To evaluate the behavior of the indicator “heart rate variability” in the mental workload of Industrial Engineering students of the University of Matanzas.

Methods: A procedure was developed consisting of three stages: preparatory, experimental —where two sample groups were created under the assumption of presence and absence of cognitive demands and the indicators selected before and after the development of the experimental activity are evaluated—, and results, where the behavior of the indicators was analyzed using the Statgraphic Centurion software.

Results: The results showed that there were significant differences between the before and after indicators used for the sample that performed the test, but not for the sample without cognitive demands. The correlation between the indicator “heart rate variability” and the applied psychophysiological indicators was demonstrated.



Conclusions: From the analysis of the behaviour of the indicators between the control group and the experimental group, the reliability of the indicator "heart rate variability" for the evaluation of mental workload in the presence of cognitive demands is confirmed.

Key words: mental workload, heart rate variability, mental health.

Recibido: 16/04/2025.

Aceptado: 16/09/2025.

Revisores: Silvio Faustino Soler-Cárdenas, Annet Estrada-Vaillant y María Sotolongo-Sánchez.

INTRODUCCIÓN

El trabajo del siglo XXI se caracteriza por una creciente demanda de actividad mental, con una disminución de la actividad física tradicional. El procesamiento de información, la interacción con clientes y el manejo de equipos son cada vez más importantes, y crean nuevos desafíos para la salud del trabajador.⁽¹⁾

Aunque estas nuevas formas de trabajo ofrecen ciertas ventajas, también presentan riesgos desconocidos para la salud, a la vez que dificultan la gestión de la seguridad laboral. La humanización del trabajo en este contexto sigue siendo un objetivo a alcanzar.⁽²⁾

La carga mental, que depende de las exigencias del trabajo y la capacidad de respuesta del trabajador, se relaciona con la presión y la tensión mental. Esta carga puede llevar a enfermedades como trastornos cardiovasculares, hipertensión, diabetes, problemas digestivos, asma, trastornos psiquiátricos, cáncer y estrés.⁽³⁻⁵⁾

Una disciplina que estudia la interacción entre el ser humano y el sistema de trabajo es la ergonomía cognitiva, que se centra en la carga mental, la toma de decisiones, el rendimiento, la interacción persona-computadora, la fiabilidad humana y el estrés.⁽⁶⁾ Esta ciencia, según la Asociación Internacional de Ergonomía (IEA por sus siglas en inglés), se enfoca en los procesos mentales como la percepción, la memoria, el razonamiento y la respuesta motora, que influyen en las interacciones humanas con el sistema de trabajo.⁽⁷⁾

La investigación sobre la carga mental de trabajo se enfrenta a desafíos importantes debido a la complejidad del objeto de estudio. La variabilidad individual, la falta de una teoría unificada sobre el esfuerzo mental y la inconsistencia en la medición de algunos indicadores, junto a la falta de reconocimiento de ciertos indicadores por parte de instituciones como MAPFRE, dificultan la obtención de resultados consistentes.



A pesar del empleo de los indicadores biomoleculares, fisiológicos, psicofisiológicos y psicológicos en investigaciones,⁽⁸⁻¹¹⁾ la respuesta a la carga mental en diferentes profesiones como profesores, controladores, profesionales de la salud, conductores, entre otras, no ha sido homogénea, con variaciones tanto significativas como despreciables en la variabilidad de los indicadores.

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) como indicador fisiológico valorativo del esfuerzo mental, data de principio de siglo XX,⁽¹²⁾ pero se ha retomado su estudio por numerosos científicos en la década de los noventa. Tal interés se debe, en parte, a su potencialidad de poder ser una herramienta no invasiva, confiable y de valoración cualitativa-cuantitativa, por un lado, de la actividad del sistema nervioso autónomo, y por otro, de la función y control del sistema cardiovascular en una escala de tiempo de segundos a minutos, además de que es capaz de revelar la intensidad del esfuerzo mental mucho antes que cualquier deterioro en el rendimiento o en la ejecución de la tarea, lo que lo convierte en un indicador de capacidad funcional en los sujetos expuestos a exigencias mentales.

Es necesario realizar estudios controlados que exploren la sensibilidad de los indicadores de carga mental en poblaciones con características homogéneas, como edad, nivel educativo, género, experiencia y aptitudes, controlando las condiciones ambientales con el propósito de minimizar el error y obtener resultados fiables. Esto permitirá avanzar hacia una mejor comprensión y evaluación de la carga mental de trabajo, validando el comportamiento de indicadores como VFC.

La población de estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas brinda las facilidades definidas para el estudio del comportamiento de los indicadores relacionados con carga mental, sobre todo en el período de exámenes, que es el momento de mayor sobrecarga académica. En la entidad no hay precedentes sobre este tipo de investigación, donde existe la posibilidad de aplicar y analizar el comportamiento de indicadores para valorar el trabajo mental bajo exigencias cognitivas, por lo que resulta interesante su desarrollo.

El objetivo del estudio es evaluar el comportamiento de indicador VFC en la carga mental de estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas.

MÉTODOS

El estudio que se presenta es de enfoque cuantitativo; se fundamenta en la medición de indicadores relacionados con la carga mental en puestos de trabajo con exigencias cognitivas. Su alcance es descriptivo, debido a que pretende especificar las características del grupo objeto de estudio: estudiantes de la carrera Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas.

Asimismo, es un estudio experimental de tipo transeccional, el cual describe el comportamiento de la carga mental en dos grupos a través de la evaluación del indicador fisiológico VFC e indicadores psicofisiológicos.



La población objeto de estudio en la investigación fueron los estudiantes universitarios continuantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas.

Se incluye en el estudio a los que cumplieron los siguientes criterios:

- Ser estudiantes universitarios de años continuantes con experiencia en el sistema evaluativo de la Educación Superior.
- Familiarizados con los equipos que se emplean para la medición de los indicadores relacionados con carga mental de trabajo, al presentar dominio de la asignatura de Ergonomía ya recibida.
- Edad comprendida entre los 20 y 22 años.
- Aprobados en la evaluación física.

Se divide la muestra seleccionada en dos grupos; el grupo 1, considerado el grupo de control y el grupo 2, el experimental, fue sometido a un examen final con exigencias cognitivas.

La muestra quedó constituida por 54 estudiantes de la carrera Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas en período de exámenes finales del curso 2019-2020. Fueron divididos en dos grupos, a juicio de los investigadores: 16 estudiantes que no realizan examen final y 38 estudiantes que sí lo realizan.

En la investigación se consideraron las siguientes variables en la muestra:

- Edad y sexo.
- Nivel de escolaridad.
- Conocimiento y experiencia en la actividad a desarrollar.
- Aptitudes físicas y psicológicas.
- Examen físico general: información general y por aparatos, con énfasis en el sistema cardiorrespiratorio. Se revisa: piel, mucosa, abdomen, tejido celular cutáneo; sistemas osteomio articular y nervioso central, así como los aparatos respiratorio y cardiovascular.

Técnicas y procedimientos de obtención de la información

A partir del análisis de los procedimientos empleados en la medición y análisis de indicadores por Acosta Prieto⁽¹³⁻¹⁵⁾ y Cuello Cuello et al.,⁽¹⁶⁾ se propone para el desarrollo de la presente investigación el procedimiento que se muestra en la figura 1. El mismo difiere de los anteriores en que se controlan las condiciones ambientales como ruido, iluminación y microclima laboral, eliminando, de esta manera, variables ajenas que puedan afectar los valores de los indicadores. Se crearon dos grupos de muestra bajo el supuesto de presencia y ausencia de exigencias cognitivas, lo cual posibilita la comparación del grupo experimental con el grupo de control, de manera que se pueda hacer un correcto análisis del comportamiento de los indicadores relacionados con carga mental. Además, se propone determinar el modelo de regresión que más se ajuste al comportamiento de la variación de los indicadores y definir una ecuación que responda al modelo de regresión lineal múltiple empleando el indicador VFC como variable dependiente.



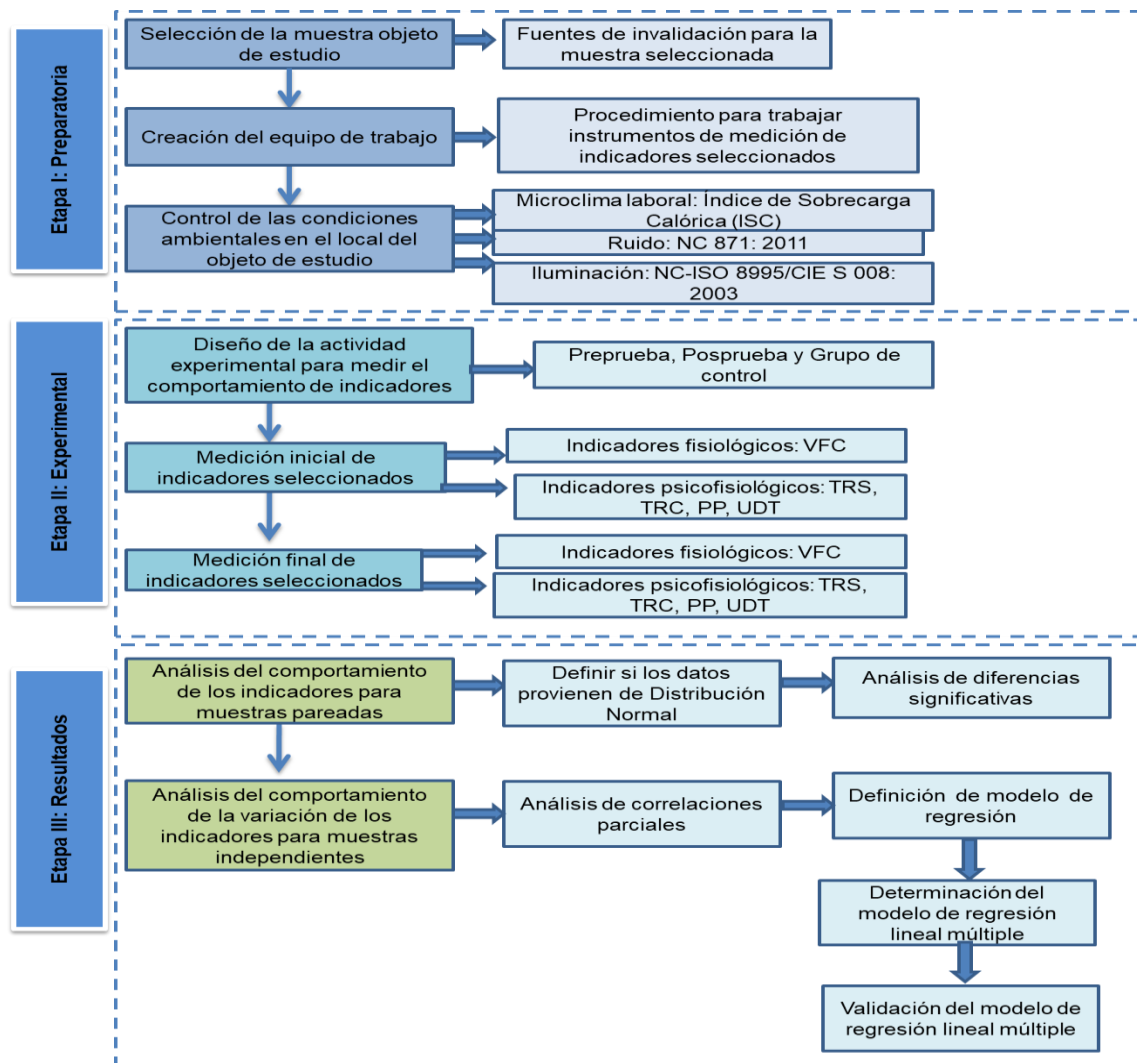


Fig. 1. Metodología propuesta para el análisis del comportamiento de los indicadores relacionados con carga mental de trabajo.

La Etapa I consta de tres pasos fundamentales: selección de la muestra objeto de estudio, creación del equipo para la medición de los indicadores seleccionados y el control de las condiciones ambientales en los locales donde se desarrollará la actividad experimental.

Paso 1. Selección de la muestra objeto de estudio

Con el objetivo de que la muestra seleccionada sea apta físicamente, es necesario utilizar un examen físico general, que permite excluir los individuos que no cumplan con los requisitos exigidos, como sigue:

Para la realización del examen físico general se cuenta con los médicos de los consultorios donde conviven los individuos objeto de estudio. El examen físico brinda información general y por aparatos, con énfasis en el sistema cardiorrespiratorio, en él se revisa: piel, mucosa, abdomen, tejido celular cutáneo, sistemas osteomio articular y nervioso central, así como los aparatos respiratorio y cardiovascular. Con este modelo se garantiza que la muestra a participar en el experimento se encuentra apta físicamente.

Se eliminan de la experiencia los aspirantes que presentaron algún trastorno del funcionamiento cardiovascular, enfermedad crónica o aguda.

A las personas que iban a formar parte de la investigación se les explicó los objetivos del estudio y la importancia de su participación. Se garantizó la confidencialidad de la información que aportarían y la posibilidad de abandonar el estudio si así lo deseaban.

Paso 2. Creación del equipo de trabajo

El equipo de trabajo lo integran los investigadores y equipo de apoyo que auxilian en la medición de los indicadores, a partir del entrenamiento recibido, previo al desarrollo de la actividad experimental.

Indicadores fisiológicos:

VFC: Se cuenta con un electrocardiógrafo que facilita la medición del mismo, el cual se encuentra en óptimas condiciones. La VFC tiende a disminuir ante la fatiga mental.

Indicadores psicofisiológicos:

Tiempo de reacción simple (TRS) y tiempo de reacción complejo (TRC): Para la aplicación del indicador se emplea el *software* AMIS, que determina el tiempo transcurrido en segundos entre la aparición del estímulo visual o sonoro y la reacción del sujeto, por lo que posibilita que la actividad sea rápida y dinámica a la hora de recopilar la información. El TRS y el TRC tienden a aumentar ante la presencia de la fatiga mental.

Umbral de discriminación táctil (UDT): El investigador dispone del instrumento para la medición del indicador, el cual ha mostrado diferencias significativas ante la presencia de carga mental. Es una prueba sencilla que posibilita que la actividad sea rápida y dinámica a la hora de recopilar la información. El UDT, o la agudización del tacto, disminuye ante la carga mental, aumentando la distancia mínima en que dos estímulos se distinguen de forma independiente.

Percepción de profundidad (PP): Se cuenta con el equipo Caja Gover para realizar las mediciones. Es una prueba sencilla que posibilita que la actividad sea rápida y dinámica



a la hora de recopilar la información. La PP disminuye ante la fatiga mental, aumentando la distancia de percepción de alineación.

Paso 3. Control de condiciones ambientales en los locales donde se desarrollará la actividad experimental

Condiciones microclimáticas: Se aplicó el índice de sobrecarga calórica, para evaluar las condiciones microclimáticas y definir las implicaciones fisiológicas e higiénicas según el valor que se obtenga en el índice.

Control del ruido: Se midió el nivel de presión sonora existente en los locales objeto de estudio con un sonómetro tipo I promediador-integrador, y la evaluación de las condiciones según la normativa establecida en el país.

Control de la iluminación: El procedimiento de medición se contó con un luxómetro para la medición de la intensidad de la luz, con el cual se realizó el registro de los niveles de iluminación en los locales objeto de estudio.

En la etapa II - Experimental, se realiza la medición inicial de los indicadores seleccionados a la muestra. Consiste en la medición de los indicadores seleccionados antes de iniciar la actividad cognitiva diseñada al individuo. En la presente investigación el examen final al que se somete los estudiantes, abarca los niveles fisiológicos, psicofisiológicos y psicológicos, con el objetivo de poder contar con los valores del estado de reposo. El control de las variables ajenas a la experimentación, como las condiciones del local donde se desarrollan las pruebas, la calibración de los equipos y la calificación de los experimentadores, son factores a los que deben prestarse atención. Las pruebas se realizan una hora antes del inicio de la actividad cognitiva.

Para la medición final de los indicadores seleccionados se realiza el mismo procedimiento experimental de la etapa inicial, solo que en este caso la medición se efectúa al culminar la actividad experimental, siguiendo exactamente los mismos criterios experimentales de la medición inicial.

En la etapa III se realiza un análisis del comportamiento de los indicadores, tanto para muestras pareadas (antes y después para ambos grupos) como en muestras independientes (variaciones de cada grupo), y por último se procede a la discusión de los resultados.

Con el propósito de analizar las correlaciones parciales entre el comportamiento de la variación de los indicadores seleccionados se agrupan los valores obtenidos para ambas muestras y se emplea el *software* STARGRAFIPHC Centurion. El análisis de correlaciones parciales permite definir qué conjunto de indicadores presentan una correlación significativa, si tienen valores-P por debajo de 0,05.

Se pretende determinar si existe relación en el comportamiento de la variación de los indicadores seleccionados en las muestras objeto de estudio, a partir de definir indicadores independientes e indicador dependiente desde los resultados obtenidos en las correlaciones parciales. A fin de elegir el modelo de regresión que más se ajusta a la relación entre las variables (indicadores), se accede en el STRAGRAFICS Centurion para



seleccionar dicha opción. Este análisis permite definir los indicadores a tener en cuenta, a fin de ajustar una ecuación que responda al modelo de regresión lineal múltiple que permite describir la relación entre el indicador dependiente que se define VFC y los indicadores independientes TRS, TRC, PP y UDT.

Se valida el modelo a partir de la décima F-total, donde al analizar el valor-P en la tabla ANOVA, pueden tomarse una de las siguientes decisiones:

- Si el valor-P es mayor que 0,05, se acepta la hipótesis nula, con lo que el promedio de las observaciones de la variable dependiente sería un mejor estimador que el modelo de regresión.
- Si el valor-P es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula, con lo que se tiene que la ecuación de regresión es mejor estimador que el promedio de las observaciones de la variable dependiente.

En el caso de que se afirme que existe una relación estadísticamente significativa, el modelo obtenido permite predecir el comportamiento de la variable dependiente definida, siempre que se cumpla que los valores de las variables independientes y se ajusten en el rango las características de la muestra y las condiciones de la investigación.

RESULTADOS

Durante la aplicación de la situación experimento se tomaron mediciones de los indicadores seleccionados antes (A) y después (D) del desarrollo de la actividad experimental en ambos grupos. En la tabla 1 se muestra el comportamiento de los indicadores fisiológicos y psicofisiológicos empleados en el objeto de estudio.

Tabla 1. Comportamiento del valor promedio de los indicadores antes y después de la aplicación de la situación experimental a la muestra

Clasificación de la muestra	Indicadores psicofisiológicos								Indicador fisiológico	
	UDT promedio (cm)		PP promedio (mm)		TRS promedio (seg)		TRC promedio (seg)		VFC promedio (%)	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
Estudiantes sin examen final (grupo de control)	2,06	1,5	5,16	3	0,36	0,34	0,63	0,52	23,94	27,29
Estudiantes con examen final (grupo experimental)	1,79	2,85	1,48	7,46	0,34	0,44	0,48	0,62	19,95	10,33



En la figura 2 se expone el comportamiento de los valores máximos, mínimos y promedios por indicador en ambas muestras, donde se pudo definir que el comportamiento superior de cada una de las variaciones de los indicadores empleados fue en la muestra que realizó el examen.

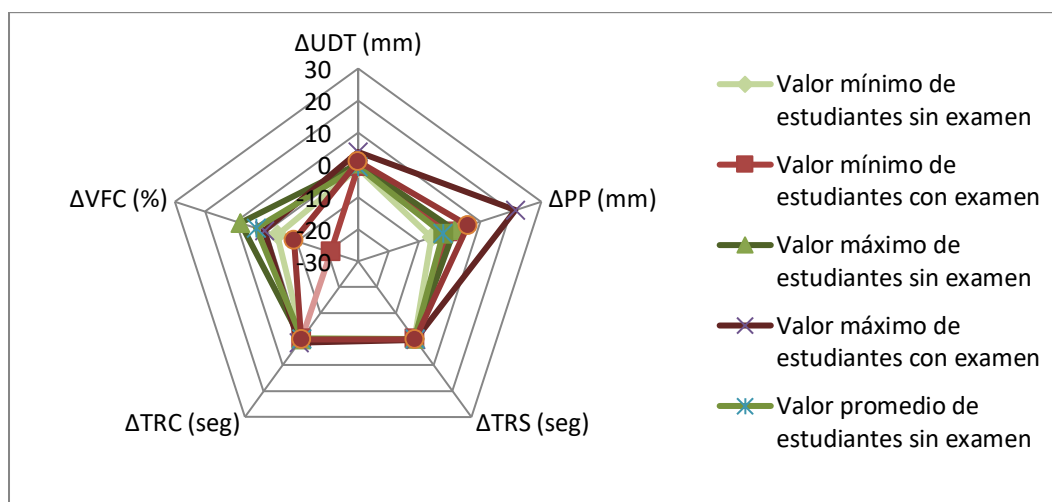


Fig. 2. Comportamiento de valores máximos, mínimos y promedio para indicadores en muestras objetos de estudio.

La tabla 2 muestra los coeficientes de correlación parcial entre la variación de cada par de indicadores analizados en las muestras de control y experimental.

Tabla 2. Correlaciones parciales entre la variación de los indicadores en la muestra

Indicador	PP	TRC	TRS	UDT	VFC	Correlación
PP	-	0,0534	0,1188	0,1329	-0,4228	
	-	(54)	(54)	(54)	(54)	(Tamaño de muestra)
	-	0,7099	0,4062	0,3524	0,0020	Valor-P
TRC	0,0534	-	0,3614	0,0586	-0,3152	Correlación
	(54)	-	(54)	(54)	(54)	(Tamaño de muestra)
	0,7099	-	0,0092	0,6828	0,0424	Valor-P
TRS	0,1188	0,3614	-	0,3662	-0,0468	Correlación
	(54)	(54)	-	(54)	(54)	(Tamaño de muestra)
	0,4062	0,0092	-	0,0082	0,7443	Valor-P
UDT	0,1329	0,0586	0,3662	-	-0,3025	Correlación
	(54)	(54)	(54)	-	(54)	(Tamaño de muestra)
	0,3524	0,6828	0,0082	-	0,0310	Valor-P
VFC	-0,4228	-0,3152	-0,0468	-0,3025	-	Correlación
	(54)	(54)	(54)	(54)	-	(Tamaño de muestra)
	0,0020	0,0424	0,7443	0,0310	-	Valor-P

Para comprender la relación existente entre el indicador fisiológico aplicado VFC y los indicadores psicofisiológicos PP, UDT, TRS y TRC se analizó el comportamiento de la variación de los indicadores, con el objetivo de definir el modelo de regresión que más se ajustó a su comportamiento.

A partir del análisis para la selección del modelo de regresión que se ajustó a la situación objeto de estudio se definieron las siguientes condiciones:

Variable dependiente: VFC

Variables independientes: A = PP; B = TRC; C = TRS; D = UDT

En la figura 3 se observa la gráfica de R-Cuadrada ajustada para la variación de la VFC.



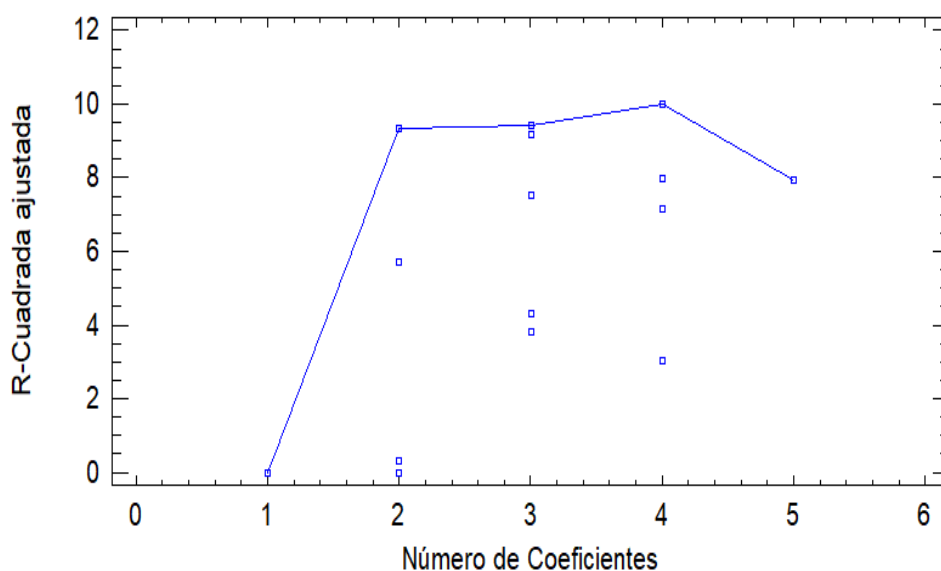


Fig. 3. Gráfica de R-Cuadrada ajustada para VFC.

Por la importancia que se le concedió al empleo de indicadores fisiológicos en el análisis del comportamiento de la carga mental y la fiabilidad que ha mostrado el indicador en VFC en investigaciones anteriores, se pretendió ajustar un modelo de regresión lineal múltiple, con el objetivo de describir la relación entre la variable dependiente VFC y las tres variables independientes que mayor correlación presentaron, definidas en el análisis anterior (PP, UDT y TRC). A continuación, en la tabla 3 se muestra la salida del *software* STRAGRAPHICS Centurion.

Tabla 3. Regresión múltiple para VFC como variable dependiente

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
Constante	-1,98269	1,00061	-1,98148	0,0530
PP	-0,553444	0,163456	-3,3859	0,0014
UDT	-2,23387	0,862607	-2,58967	0,0126
TRC	-1,58059	0,65579	-2,444512	0,0458



La salida mostró los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple, a fin de describir la relación entre VFC y las tres variables independientes PP, UDT y TRC. La ecuación 1 representó el modelo ajustado: , la cual se definió a continuación:

$$\text{VFC} = -1,98269 - 0,553444 * \text{PP} - 2,23387 * \text{UDT} - 1,58059 * \text{TRC}$$

VFC (%), PP (mm), UDT (cm), TRC (seg).

DISCUSIÓN

La carga mental de trabajo ha sido objeto de numerosas investigaciones en el campo de la ergonomía. La evaluación de esta es crucial para optimizar el rendimiento humano y prevenir la fatiga mental de trabajo. Sin embargo, este campo presenta desafíos significativos debido a las complejidades inherentes en la medición de un constructo tan multifacético.

En este sentido, la VFC es uno de los indicadores fisiológicos más asociado al esfuerzo mental, aunque también ha sido controvertido. La VFC es una alteración en el grado de excitabilidad de los tejidos cardíacos producto de una variación en el origen del estímulo eléctrico excitado o en su condición.

El origen fisiológico de la disminución de VFC ante esta situación es debido a diversos reflejos circulatorios. Otra de las causas 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 del sistema nervioso central, tal vez influenciada por la acción de la formación reticular. La magnitud de su variación está comprometida, en buena medida, por factores individuales y externos, y la dificultad de medirla, lo cual probablemente sea la causa de los controvertidos resultados encontrados.⁽¹⁷⁾

Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con la frecuencia cardíaca, existe un consenso general de que la VFC es sensible al esfuerzo mental. Aunque parecen no existir normas o niveles de decrecimiento fijos o estables para considerar una respuesta típica de los efectos del esfuerzo mental, al menos en magnitudes de decrecimiento de la VFC. A partir de investigaciones empíricas, algunos autores han propuesto límites sobre cuánto se debe considerar una disminución significativa de este indicador.⁽¹⁸⁻²¹⁾

Kalsbeek,⁽²²⁾ en sus estudios sobre el comportamiento de la VFC en condiciones experimentales, comprobó que la disminución de más del 10 % respecto al reposo, correspondía a los más altos niveles de complejidad del estímulo utilizado durante su experimento y, por tanto, a las mayores exigencias neuropsíquicas para la solución de la tarea.⁽²³⁾

Hyndman y Gregory⁽²⁴⁾ concluyen que una disminución del 40 o el 50 % de la VFC es representativa de extremas exigencias mentales, aunque consideran que más del 20 % refleja un esfuerzo de esta índole.^(25,26)



Recientes investigaciones han sugerido que la VFC puede llegar a reflejar, antes que cualquier otro indicador, la intensidad del esfuerzo mental, incluso momentáneamente. Entre sus instrumentos de medición se encuentra el electrocardiógrafo.

Según Ferrer Velazquez y Lozano Minaya⁽²¹⁾ existen limitaciones en el uso de la VFC, pues depende del valor de la frecuencia cardíaca y de la temperatura, entre otros factores, por lo que se elimina su especificidad. Además, es una técnica muy costosa por necesitarse obtener el espectro de frecuencias de los intervalos R-R mediante el análisis de Fourier.

Al analizar el indicador fisiológico VFC en la presente investigación para la muestra sin examen, solo el 37,5 % experimenta presencia de carga mental, mientras que la muestra con el examen el 94,73 %, lo cual representa que la mayoría experimenta presencia de carga mental; por lo tanto, el indicador se comporta como lo esperado y coincide con el comportamiento analizado de los indicadores psicofisiológicos.

Es importante destacar el comportamiento de los valores promedios, máximos y mínimos de los indicadores empleados en la investigación para cada muestra objeto de estudio, donde se confirmó que los estudiantes que desarrollaron el examen presentan valores superiores en el 100 % de los indicadores, por lo que los mismos reflejan de manera acertada, en las muestras estudiadas, la existencia de exigencias cognitivas, y se pone de manifiesto en la mayoría de los casos en la muestra que desarrolló el examen carga mental.

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.⁽²⁷⁾

El presente estudio presenta un hallazgo novedoso, pues, a diferencia de otras investigaciones, se enfoca en la medición de la VFC y en establecer una relación cuantitativa entre esta y otros indicadores relacionados con la carga mental. Este método no requiere de tecnologías sofisticadas o costosas, dado que resulta un parámetro fácil de obtener y esto lo convierte en una herramienta viable y asequible para una amplia gama de aplicaciones, desde el ámbito clínico hasta la investigación de la ergonomía.

Se debe resaltar la eficiencia de los indicadores seleccionados, o sea, su sensibilidad, al menos en condiciones experimentales, que reflejan el comportamiento esperado ante situaciones en presencia de exigencia cognitiva, lo cual permite lograr una evaluación del comportamiento de los indicadores empleados bajo condiciones experimentales. Esto ha permitido establecer correlaciones entre los indicadores y un modelo de regresión múltiple que responde al comportamiento del indicador VFC.

La ecuación obtenida representa un recurso útil, a fin de entender y predecir la respuesta fisiológica a la carga mental. Tiene el potencial de ser aplicada en diversos campos como la evaluación del estrés laboral, la monitorización del estado mental en tiempo real y el desarrollo de intervenciones para mejorar el bienestar psicológico.



CONCLUSIONES

El procedimiento diseñado para evaluar el comportamiento de indicadores de carga mental, con dos grupos sometidos a diferentes niveles de exigencias cognitivas, demostró la sensibilidad y eficacia de los indicadores seleccionados. Se evidenció una mayor variabilidad en el grupo experimental, lo que confirma la capacidad de los indicadores que reflejan el comportamiento esperado bajo condiciones estandarizadas. Además, el análisis de regresión lineal múltiple reveló una correlación significativa entre la VFC y los indicadores PP, UDT y TRC, lo que permitió generar una ecuación válida para la muestra estudiada. Estos resultados corroboran la validez del indicador VFC para evaluar la carga mental, abriendo posibilidades a futuros estudios con poblaciones más amplias y diversas condiciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernández-Moreno N. Carga mental de trabajo en auxiliares de enfermería y trabajadores/as sociales [tesis en Internet]. Santa Cruz de Tenerife: Universidad de La Laguna; 2022 [citado 04/01/2025]. Disponible en: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/27624>
2. Rodríguez Y. Ergonomía y salud pública: creando entornos de trabajo saludables y seguros. Rev Fac Nac Salud Pública. 2024;42:e358206. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.e358206.
3. Castilla-Gutiérrez S, Colihuil-Catrileo R, Bruneau-Chávez J, et al. Carga laboral y efectos en la calidad de vida de docentes universitarios y de enseñanza media. Rev Chakiñan Cienc Soc Humanid [Internet]. 2021 [citado 04/01/2025];(15):166-79. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2550-67222021000300166&script=sci_abstract&tlng=en
4. Tapia-Bajaña EL. Análisis sobre efecto de estrés por exceso de trabajo en las profesionales de enfermería de un Hospital de Guayaquil, 2021 [tesis en Internet]. Piura: Universidad César Vallejo; 2021 [citado 04/01/2025]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78186>
5. Tijani B, Jin X, Osei-Kyei R. PESTEL analysis of mental health management practitioners (PMPs) in architecture, engineering and construction (AEC) project organization. Smart Sustain Built Environ. 2022;12(5):1002-30. DOI: 10.1108/SASBE-04-2022-0074.
6. Padrón Sardiña J, Pancorbo Camacho I, Acosta Prieto JL, et al. Bibliometric analysis on current ergonomic trends in the international labor context. DYNA. 2024;91(234):70-5. DOI: 10.15446/dyna.v91n234.116012.



7. Acosta-Prieto JL, García-Dihigo J, Almeda-Barrios Y, et al. Diseño de equipos para medir indicadores psicofisiológicos valorativos de carga mental de trabajo. Univ Soc [Internet]. 2023 [citado 04/01/2025];15(S1):366-80. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3772>
8. Acosta Prieto JL, Abrante Leal D, García Dihigo J, et al. Análisis bibliométrico sobre la aplicación de indicadores fisiológicos para valorar trabajo mental. Rev Cubana Salud Trab [Internet]. 2024 [citado 04/01/2025];25(2). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1991-93952024000200010&script=sci_abstract&lng=es
9. Eidman L, Basualdo Felleau SE. Adaptación y validación de la escala RED-tecnoestrés en población de estudiantes universitarios argentinos. Academo. 2021;8(2):178-88. DOI: 10.30545/academo.2021.jul-dic.7.
10. Venegas-Tresierra CE, Leyva-Pozo AC. La fatiga y la carga mental en los teletrabajadores: a propósito del distanciamiento social. Rev Esp Salud Pública [Internet]. 2020 [citado 04/01/2024];94. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7721498>
11. Acosta-Prieto JL, Domínguez-Rivera DdLC, Cuello-Cuello Y. Valoración del comportamiento de indicadores de carga mental de trabajo en la succursal BANDEC del municipio Martí. Rev Cubana Adm Pública Empres [Internet]. 2023 [citado 04/01/2025];7(1). Disponible en: <https://apye.esceg.cu/index.php/apye/article/download/260/292>
12. Lazo de la Vega Pérez MP, Hernández Almirall PJ, Amador Romero FJ. Un programa para evaluar las exigencias mentales. Rev Cuban Salud Trabajo [Internet]. 2024 [citado 04/01/2025];13(3):3-6. Disponible en: <https://revsaludtrabajo.sld.cu/index.php/revsyt/article/view/594>
13. Acosta-Prieto JL. Análisis del comportamiento de indicadores relacionados con la carga mental en estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas [tesis en Internet]. Matanzas: Universidad de Matanzas; 2022 [citado 04/01/2025]. Disponible en: <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/2323>
14. Acosta-Prieto JL. Tecnología para la gestión de la carga mental en puestos de trabajo con demandas cognitivas. Aplicación en entidades cubanas [tesis en Internet]. Matanzas: Universidad de Matanzas; 2023 [citado 04/01/2025]. Disponible en: <http://rein.umcc.cu/handle/123456789/2188>
15. Acosta-Prieto JL, García-Dihigo J, Pérez Hernández MA. Software para evaluar el Indicador Tiempo de Reacción en estudios de trabajo mental. Avances [Internet]. 2023 [citado 04/01/2025];25(2):239-55. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8953064>
16. Cuello-Cuello Y, Acosta-Prieto JL, Dueñas-Reyes E, et al. Modelo para evaluar carga mental de trabajo en puestos con altas demandas cognitivas. Rev Ergonomía Investig Desarro. 2024;6(2):35-45. DOI: 10.29393/EID6-11MEYJ40011.



17. Jo-de-Carvalho J, García-Dihigo JA. Tecnología para la valoración del trabajo mental en profesores de la Educación Superior. Caso Facultad de Derecho de Ipatinga, Brasil [tesis en Internet]. Matanzas: Universidad de Matanzas; 2011 [citado 04/01/2025]. Disponible en: <https://rein.umcc.cu/handle/123456789/29>
18. Almirall Hernández P. Efectos negativos del esfuerzo mental. Aspectos teóricos y metodológicos. Un método para su evaluación [tesis en Internet]. La Habana: Instituto de Medicina del Trabajo; 1986 [citado 04/01/2025]. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-80813>
19. García-Dihigo JA. La ergonomía del personal dedicado a tareas intelectuales vinculadas a la industria azucarera [tesis]. Matanzas: Instituto Superior Agroindustrial "Camilo Cienfuegos"; 1988.
20. Defranc Balanzategui PO, Arellano Valdiviezo AI. Consideraciones sobre ergonomía física y cognitiva en el ámbito laboral. Más Vita. 2024;6(3):106-18. DOI: 10.47606/ACVEN/MV0244.
21. Ferrer-Velazquez F, Lozano-Minaya G. Manual de Ergonomía [Internet]. Madrid: Fundación Mapfre; 2006 [citado 04/01/2025]. Disponible en: <https://docer.com.ar/doc/s5xs0>
22. Kalsbeek JWH. Do you believe in sinus arrhythmia? Ergonomics. 1973;16(1):99-104. DOI: 10.1080/00140137308924485.
23. Torres Y, Rodríguez Y. Surgimiento y evolución de la ergonomía como disciplina: reflexiones sobre la escuela de los factores humanos y la escuela de la ergonomía de la actividad. Rev Fac Nac Salud Pública. 2021;39(2):1-9. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.e342868.
24. Hyndman BW, Gregory JR. Spectral analysis of sinus arrhythmia during mental loading. Ergonomics. 1975;18(3):255-70. DOI: 10.1080/00140137508931460.
25. Hayano J, Yuda E. Pitfalls of assessment of autonomic function by heart rate variability. J Physiol Anthropol [Internet]. 2019 [citado 04/01/2025];38(1). Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40101-019-0193-2>
26. Li K, Rüdiger H, Ziemssen T. Spectral analysis of heart rate variability: time window matters. Front Neurol [Internet]. 2019 [citado 04/01/2025];10:545. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2019.00545/full>
27. Almirall-Hernández PJ. Ergonomía cognitiva apuntes para su aplicación en trabajo y salud [Internet]. La Habana: Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores; 2000 [citado 04/01/2025]. Disponible en: https://www.academia.edu/download/50066962/ergonomia_cognitiva_apuntes_para_su_aplicacion_en_trabajo_y_salud.pdf



Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses entre los autores.

Contribución de autoría

Juan Lázaro Acosta-Prieto: investigación, metodología, visualización y redacción del borrador original.

Yilena Cuello-Cuello: investigación, redacción, revisión y edición.

Edian Dueña-Reyes: curación de datos, metodología, supervisión, validación y recursos.

Joaquín García-Dihigo: conceptualización, investigación y metodología.

Ana Laura Matos-Guerrero: análisis formal, revisión y edición.

Rocío de la Caridad Casas-Ojito: investigación y redacción.

CÓMO CITAR EL ARTÍCULO

Acosta-Prieto JL, Cuello-Cuello Y, Dueñas-Reyes E, García-Dihigo J, Matos-Guerrero AL, Casas-Ojito RC. Comportamiento del indicador "variabilidad de la frecuencia cardíaca" en la carga mental de estudiantes universitarios. Rev Méd Electrón [Internet]. 2025 [citado: fecha de acceso];47:e6546. Disponible en: <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/6546/6361>

