

COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS AUTORREGRESIVO, DE LOMB-SCARGLE Y DE LA TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER EN LA ESTIMACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA DURANTE EL SUEÑO.

COMPARISON OF AUTOREGRESSIVE METHODS, LOMB-SCARGLE AND RAPID
FOURIER TRANSFORMATION IN THE ESTIMATION OF HEART RATE VARIABILITY
DURING SLEEP.

*Erik Leonardo Mateos Salgado, *Fructuoso Ayala Guerrero, **Carlos Alberto
Gutiérrez Chávez, *Karen Arisbeth Pontones Pérez

*Universidad Nacional de México, México

**Universidad Autónoma del Estado de México

Correspondencia: cagutierrezc@uaemex.mx

RESUMEN

Entre los métodos del dominio de frecuencia del análisis de la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) se encuentran la transformada rápida de Fourier (TRF), el método autorregresivo (AR) y el periodograma de Lomb-Scargle (LS). Aunque en los estudios del sueño predomina el empleo de la TRF, no se han realizado comparaciones entre los métodos mencionados ni tampoco se justifica su uso. El objetivo de este estudio fue determinar si existían diferencias en algunas medidas calculadas con los métodos TRF, AR y LS durante el sueño. Se obtuvo la polisomnografía de 24 voluntarios sanos durante dos noches consecutivas. LS mostró valores diferentes a los otros dos métodos en varias de las medidas. Aunque los tres métodos mostraron diferencias entre ellos, todos fueron sensibles en detectar cambios asociados con las fases de sueño. En la elección entre los métodos la TRF presenta ventajas sobre AR y LS.

Palabras clave: Sueño, Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, Transformada Rápida de Fourier, método Autorregresivo, Periodograma de Lomb-Scargle

ABSTRACT

In the analysis of the frequency domain of the heart rate variability (HRV) the following methods are usually utilized the fast Fourier transform (FFT), the Autoregressive method (AR) and the Lomb-Scargle periodogram (LS). The use of the FFT is predominant in sleep studies, however no comparison to justify this choice has been made between the mentioned methods. The objective of this study was to determine if there were differences in some measures calculated by means of FFT, AR and LS methods during sleep. Polysomnography of 24 healthy volunteers was obtained for two consecutive nights. The three used methods were sensitive to detect heart rate variability associated to the sleep phases. However, LS showed different values to the other two methods in several of the measures. Due to its predominant use the FFT has advantage over AR and LS.

Key words: Sleep, Heart Rate Variability, Fast Fourier Transform, Autoregressive method, Lomb-Scargle periodogram.

INTRODUCCIÓN

El sistema nervioso autónomo (SNA) contribuye con el mantenimiento de la homeostasis al regular la actividad de los órganos internos. Desde el ámbito de la psicofisiología se han establecido interacciones entre la actividad autonómica con emociones (Kreibig, 2010; Levenson, 2014), cogniciones (Öhman, Hamm, y Hugdahl, 2000), estrés (Pereira, Campos y Sousa, 2017) y sueño (Lanfranchi, Pépin y Somers, 2017). Respecto a la regulación autonómica de la actividad cardíaca, el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) proporciona un método confiable de evaluación de esta regulación (Hayano, 2017; Task Force, 1996).

La VFC es el fenómeno fisiológico asociado a la variación en los intervalos entre cada latido cardíaco y se ha relacionado con la capacidad de regulación emocional (Castillo, Anelo y Fernández-Berrocal, 2013), con estados emocionales positivos y negativos (Lane *et al.* 2009) y con conductas de involucramiento social (Porges, 2007). También, se ha usado para estudiar

trastornos como el insomnio y la apnea de sueño (O’Driscoll y Morrell, 2005; Tobaldini *et al.* 2013).

El análisis de la VFC se puede realizar con diversos métodos, los cuales se han categorizado en dominios de tiempo, de frecuencia y no lineales (Task Force, 1996). En el dominio de frecuencia se consideran a los intervalos entre cada latido cardiaco como una oscilación periódica y se utilizan análisis que descomponen y cuantifican dicha oscilación en sus partes más simples. Se han encontrado los siguientes componentes o bandas de frecuencia: frecuencia muy baja (FMB) de 0.0033-0.04 Hz, que se relaciona con regulación de la temperatura y fluctuaciones hormonales; frecuencia baja (FB) de 0.04-0.15 Hz, relacionada con actividad simpática y de barorreceptores; frecuencia alta (FA) de 0.15-0.4 Hz, relacionada con actividad parasimpática.

Actualmente existen varios métodos dentro del dominio de frecuencia, entre los que se encuentran la transformada rápida de Fourier (TRF), el método autorregresivo (AR) y el periodograma de Lomb-Scargle (LS). Al realizar una búsqueda sobre el método del dominio de frecuencia más usado en estudios de sueño de personas sanas, se encontró que predominó la TRF, que no se justificó la elección del método usado y que no hubo comparaciones entre diferentes métodos (tabla 1).

Tabla 1. Estudios del dominio de frecuencia de la VFC durante el sueño

Autor	Método de análisis	Duración de la muestra	Medidas calculadas	Justificación del método usado
Toscani <i>et al.</i> (1996)	AR	3 min	FA, FB, FB/FA	No
Versace, Mozzato, De Min Tona, Cavallero y Stegagno (2003)	TRF	30 s	FA, FB	No
Takase <i>et al.</i> (2004)	TRF	2 min	FB, FA, PT	No
Brandenberger, Buchheit, Ehrhart, Simon y Piquard, (2005)	TRF	5 min	FB, FA, PT	No
Bušek, Vaňková, Opavský, Salinger y Nevšimalová, (2005)	TRF	5 min	FMB, FB, FA, PT	No
Jurysta <i>et al.</i> (2005)	TRF	2 min	FA, FB, FB/FA	No

Autor	Método de análisis	Duración de la muestra	Medidas calculadas	Justificación del método usado
Yoshino y Matsuoka, (2009)	TRF	10 min	FA, FMB, PT	No
Patra y Telles, (2010)	TRF	5 min	FB, FA	No

**NOTA: FMB= Frecuencia Muy Baja, FB= Frecuencia Baja,
FA= Frecuencia Alta, PT= Poder Total.**

Fuente: Elaboración propia

Por lo anterior, creemos es importante sistematizar el uso de la VFC en la investigación del sueño, respecto al dominio de frecuencia consideramos que es necesario saber si las medidas de los componentes de frecuencia obtenidas con diferentes métodos son similares. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar si existían diferencias en medidas del dominio de frecuencia calculadas con los métodos TRF, AR y LS durante el sueño.

METODO

Participantes

Participaron 24 voluntarios sanos (14 mujeres con 23.9 ± 3.3 años de edad y 10 hombres con 26.2 ± 4.3 años), los criterios de inclusión fueron que no fumaran ni consumieran drogas ilegales, que no tuvieran problemas de sueño, médicos o psiquiátricos lo que se determinó mediante entrevista clínica. En las mujeres los registros se realizaron entre el quinto y el décimo día posterior al inicio de su periodo menstrual. A todos los participantes se les proporcionó información sobre el procedimiento de la investigación y posteriormente firmaron carta de consentimiento informado.

Procedimiento

Se realizaron registros de polisomnografía (PSG) durante dos noches consecutivas en el laboratorio de Neurociencias de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México. La primera noche fue de adaptación y sirvió para detectar la presencia de algún indicador de trastorno del sueño. En ambas noches se obtuvo el EEG con referencias contralaterales a los mastoides F3-M2, F4-M1, C3-M2, C4-M1, O1-M2 y O2-M1, además del electrooculograma (EOG), electromiografía de superficie

(sEMG) del mentón y ECG. Los PSG se llevaron a cabo con un equipo Cadwell Easyll (Kennewick, Washington, USA). El inicio del registro (luces apagadas) fue ajustado para cada participante de acuerdo al horario habitual en que acostumbraban ir a dormir y se dejaron transcurrir aproximadamente 8 horas para terminarlo. La calificación de las fases de sueño se realizó de acuerdo a las normas AASM (American Academy of Sleep Medicine) (Iber, Ancoli-Israel, Chesson y Quan, 2007). Para este estudio sólo se consideraron los datos obtenidos durante la segunda noche de los participantes que no presentaron indicadores de patología del sueño en la noche de adaptación.

Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca.

Se seleccionó una muestra de cinco minutos del ECG de las fases N2 y N3 del sueño sin movimientos oculares rápidos (NMOR) y del sueño con movimiento oculares rápidos (MOR) del segundo ciclo NMOR-MOR, la selección fue en el siguiente orden: primero N2, luego N3 y finalmente MOR. Cada muestra tenía que tener cinco minutos consolidados de cada fase, sin microdespertares ni movimientos dos minutos antes y después de la muestra elegida. Las muestras seleccionadas se exportaron en formato EDF y se convirtieron en formato ASCII para procesarlas posteriormente. Para obtener los intervalos entre cada latido cardiaco se usó el software QRSTool versión 1.2.2 (Allen, Chambers y Towers, 2007). Posteriormente, para calcular las medidas del dominio de frecuencia de la VFC se usaron los programas Kubios HRV (Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-aho y Karjalainen, 2014) y HRVAS (Ramshur, 2010). De los métodos de Lomb-Scargle (LS), autoregresivo (AR) y de la Transformada Rápida de Fourier (TRF) se calcularon las siguientes medidas: poder absoluto y relativo de las bandas de frecuencia muy baja 0-0.04 Hz (FMB), frecuencia baja 0.04-0.15 Hz (FB), frecuencia alta 0.15-0.4 Hz (FA) y el poder total. Para la TFR se utilizó el periodograma de Welch y para el AR se utilizó un modelo de orden 16.

Análisis estadísticos

Como no todas las medidas tuvieron una distribución normal se optó por realizar pruebas no paramétricas. En cada fase de sueño se compararon

los métodos por pares TRF-AR, TRF-LS y AR-LS usando la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. Además, por cada método se evaluó si había diferencias entre las fases de sueño N2, N3 y MOR por medio de la prueba de Friedman.

Como las fases N2, N3 y MOR se analizaron por cada método (TRF, AR y LS) además de incluir comparaciones por pares, se decidió corregir el nivel de significancia considerando el cociente entre el valor de 0.05 y el producto del total de mediciones por el número de métodos usados, quedando el nivel de significancia $p < 0.002$. De la misma forma, al comparar los valores entre las fases de sueño N2, N3 y MOR por cada método el nivel corregido quedó en $p < 0.002$.

RESULTADOS

Las medidas obtenidas por cada método se presentan en la tabla 2, se puede observar que los valores de poder absoluto de la TRF y AR estuvieron sesgados ya que las desviaciones estándar en algunos casos fueron más grandes que el valor de la media, con el LS la representación del valor absoluto fue con números decimales y no se presentó sesgo. También, la representación por medio de porcentaje (poder relativo) evitó el sesgo en los tres métodos.

TABLA 2. Media y desviación estándar de cada uno de los métodos

VFC	N2			N3			MOR		
	TRF	AR	LS	TRF	AR	LS	TRF	AR	LS
FMB PA (ms ²)	99 ± 84	130 ± 90	0.004 ± 0.003	77 ± 65	115 ± 110	0.002 ± 0.002	175 ± 162	275 ± 238	0.01 ± 0.002
FB PA (ms ²)	641 ± 736	609 ± 629	0.008 ± 0.006	613 ± 481	532 ± 407	0.01 ± 0.005	1549 ± 1385	1385 ± 1258	0.01 ± 0.004
FA PA (ms ²)	1441 ± 1444	1621 ± 1741	0.012 ± 0.005	1428 ± 1046	1478 ± 1096	0.01 ± 0.005	1512 ± 1794	1596 ± 2080	0.01 ± 0.01
FMB PR (%)	6 ± 6	7 ± 4	15 ± 10	4 ± 3	5 ± 2	11 ± 6	7 ± 5	10 ± 4	23 ± 10
FB PR (%)	30 ± 17	30 ± 17	29 ± 15	30 ± 15	27 ± 14	27 ± 12	51 ± 18	47 ± 15	41 ± 12
FA PR (%)	64 ± 21	63 ± 21	56 ± 21	66 ± 17	68 ± 15	62 ± 15	42 ± 19	43 ± 16	36 ± 16
Poder Total (ms ²)	2182 ± 1864	2362 ± 2121	0.02 ± 0.01	2119 ± 1375	2125 ± 1449	0.02 ± 0.01	3243 ± 2985	3259 ± 3351	0.03 ± 0.01

Nota: PA= poder absoluto, PR= poder relativo

Fuente: Elaboración propia

Por medio de la prueba de rangos de Wilcoxon se encontró que los métodos TRF y AR fueron similares en la fase N2 y en el sueño MOR. En la fase N3 sólo en la medida del poder absoluto de la FMB fueron distintos. Asimismo, el método LS fue diferente a los otros dos métodos en la mayoría de las medidas calculadas durante las fases N2, N3 y sueño MOR, siendo las diferencias consistentes en las estimaciones del poder absoluto y del poder total (tabla 3).

TABLA 3. Comparación entre los métodos por fase de sueño.

VFC	N2			N3			MOR		
	TRF-AR	TRF-LS	AR-LS	TRF-AR	TRF-LS	AR-LS	TRF-AR	TRF-LS	AR-LS
FMB PA	Ns	.001*	.001*	.001*	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*
FB PA	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*
FA PA	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*
FMB PR	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*
FB PR	Ns	Ns	Ns	Ns	.001*	Ns	Ns	.001*	.001*
FA PR	Ns	.001*	.001*	Ns	Ns	.001*	Ns	.001*	.001*
Poder Total	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*	Ns	.001*	.001*

Nota: Ns= no significativo. * Valores $p < .002$ se consideraron significativos

Fuente: Elaboración propia

En la comparación entre las fases N2, N3 y sueño MOR por medio de la prueba de Friedman, los 3 métodos coincidieron al no encontrar diferencias en el poder absoluto de la FA y al encontrar diferencias en las medidas del poder absoluto de la FB y poder relativo de las FB y FA (tabla 4).

Tabla 4. Comparación entre N2, N3 y MOR.

Medida	TRF	AR	LS
FMB PA	Ns	Ns	.001*
FB PA	.001*	.001*	.001*
FA PA	Ns	Ns	Ns
FMB PR	Ns	.001*	.001*
FB PR	.001*	.001*	.001*
FA PR	.001*	.001*	.001*
Poder Total	Ns	Ns	.001*

Nota: Ns= no significativo. * Valores $p < .002$ se consideraron significativos.

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

En la literatura sobre la implementación del análisis de la VFC durante el sueño de personas sanas, encontramos que predominó el uso del método de la TRF y que no se justificaba su uso (tabla 1). Esta dominancia puede deberse a que la TRF es un algoritmo que se puede implementar fácilmente, incluso mediante programas computacionales que son gratuitos o de bajo costo (Friedman, Allen, Christie y Santucci, 2002). De manera general, el método LS mostró valores diferentes a los obtenidos por los otros dos métodos en varias de las medidas calculadas. En la potencia absoluta la representación de los datos como valores decimales pudo influir en estos resultados, aunque en la potencia relativa también hubo diferencias, en la literatura no encontramos estudios que compararan estos tres métodos (tabla 1), en vigilia se ha reportado que difieren entre sí (Schaffer, Hensel, Weigand, Schüttler y Jelezcov, 2014).

Es posible que las diferencias encontradas se deban a las características de procesamiento de cada método, ya que la TRF y AR requieren modificar las muestras de los intervalos entre latidos cardiacos originales por medio de interpolación y remuestreo (Pichon, Roulaud, Antoine-Jonville, Bisschop y Denjean, 2006). Respecto a la comparación entre TRF y AR se ha planteado que tienden a ser similares (Boardman, Schlindwein, Rocha y Leite, 2002), no obstante se han reportado diferencias entre ellos cuando la evaluación se realiza en posición supina (Baldini, Maison-Blanche y Coumel, 1998), nosotros encontramos diferencias entre estos dos métodos solo en el componente de FMB de la fase N3 y MOR del sueño.

En psicofisiología del sueño, la VFC se emplea para conocer el tipo de regulación autonómica presente en el sueño NMOR y MOR (Stein y Yachuan, 2012). En el caso del dominio de frecuencia, interesan principalmente los valores de los componentes de FA y FB para tener un estimado de regulación autonómica (tabla 1). Por esta razón decidimos usar la prueba de Friedman para comparar la efectividad de los métodos en diferenciar a las fases N2, N3 del sueño NMOR y el sueño MOR.

Encontramos que los tres métodos son similares en las medidas de potencia relativa de la FA y FB, lo que concuerda con estudios previos (Bušek *et al.* 2005, Toscani *et al.* 1996; Versace *et al.* 2003). La falta de diferencias en la representación en potencia absoluta de la FA calculada por la TRF y AR podrían estar influidas por la presencia de sesgo. Resulta importante evaluar con precisión la FA, ya que se ha considerado como un índice confiable de actividad parasimpática (Hayano, 2017; Porges, 2007; Taks Force, 1996), por lo que sería recomendable usar la representación como poder relativo o normalizar los datos de la PA, por ejemplo transformandolos por medio del logaritmo natural.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede establecer que los tres métodos no son intercambiables, la elección del método a utilizar en la evaluación del sueño se tendría que realizar considerando los requisitos que cada método requiere para su implementación, así como los resultados que cada método proporciona, en este estudio los tres métodos fueron eficaces en detectar cambios asociados con las fases de sueño. Considerando lo anterior sería recomendable elegir el método de la TRF, siempre y cuando se cumplan los requisitos de estacionariedad (Friedman, Allen, Christie y Santucci, 2002). Su principal ventaja sobre los otros dos métodos es que hay más estudios que lo usan (tabla 1), lo que proporciona datos sobre el nivel de actividad de cada componente de frecuencia que se pueden usar para comparaciones entre diferentes estudios.

En estudios futuros sería recomendable incrementar el tamaño de la muestra, para evitar realizar correcciones en el nivel de significancia que puedan influir en cometer error tipo beta, así como solo utilizar una forma de representar los datos, por ejemplo en poder relativo.

REFERENCIAS

- Allen, J.J.B., Chambers, A.S. y Towers, D.N. (2007). The many metrics of cardiac chronotropy: A pragmatic primer and a brief comparison of metrics. *Biological Psychology*, 74 (2), pp. 243-262.

- Baldini, F., Maison-Blanche, P. y Coumel, P. (1998). Heart rate variability in passive tilt test: comparative evaluation of autoregressive and FFT spectral analysis. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 21 (5), pp. 1122-1132.
- Boardman, A., Schlindwein, F.S., Rocha, A.P. y Leite, A. (2002). A study on the optimum order of autoregressive models for heart rate variability. *Physiological Measurement*, 23 (2), pp. 325-336.
- Brandenberger, G., Buchheit, M., Ehrhart, J., Simon, C. y Piquard, F. (2005). Is slow wave sleep an appropriate recording condition for heart rate variability analysis? *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 121 (1-2), pp. 81-86.
- Bušek, P., Vaňková, J., Opavský, J., Salinger, J. y Nevšimalová, S. (2005). Spectral Analysis of Heart Rate Variability in Sleep. *Physiological Research*, 54 (4), pp. 369-376.
- Castillo, R., Anelo, J. y Fernández-Berrocal, P. (2013). Emotional Regulation and Heart Rate Variability in Healthy Male Managers. *Revista Española de Cardiología*, 66, (9), pp. 744-754.
- Friedman, B.H., Allen, M.T., Christie, I.C. y Santucci, A.K. (2002). Validity concerns of common heart-rate variability indices. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 21(4), pp. 35-40.
- Hayano, J. (2017). Introduction to heart rate variability. En S. Iwase, J. Hayano y S. Orimo (eds.) *Clinical assessment of the autonomic nervous system* (pp. 109-127) Japan: Springer.
- Iber, C, Ancoli-Israel, S., Chesson, A.L. y Quan, S.F. (2007). *The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications*. Westchester, IL: American Academy of Sleep Medicine.
- Jurystaa, F., Van de Borneb, P., Lanquarta, J.P., Migeottec, P.F., Degauteb, J.P., Dumontd, M. y Linkowskia, P. (2005). Progressive aging does not alter the interaction between autonomic cardiac activity and delta EEG power. *Clinical Neurophysiology*, 116, (4), pp. 871-877.

- Kreibig, S. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biological Psychology*, 84(3), pp. 394-421.
- Lane, R., McRae, K., Reiman, E., Chen, K., Ahern, G. y Thayer, J. (2009). Neural correlates of heart rate variability during emotion. *NeuroImage*, 44 (1), pp. 213-222.
- Lanfranchi, P.A., Pépin, J. y Somers, V.K. (2017). Cardiovascular physiology: autonomic control in health and in sleep disorders. En M. Kryger, T., Roth y W.C. Dement (eds.) *Principles and practice of sleep medicine* (pp. 142-154) Philadelphia: Elsevier.
- Levenson, R.W. (2014). The autonomic nervous system and emotion. *Emotion Review*, 6(2), pp. 100-112.
- Öhman, A., Hamm, A., y Hugdahl, K. (2000). Cognition and the autonomic nervous system: orienting, anticipation, and conditioning. En J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary y G. G. Berntson (eds.) *Handbook of psychophysiology* (pp. 533-575) New York: Cambridge University Press.
- O'Driscoll, D.M. y Morrell, M. J. (2005). The interaction between respiratory and autonomic function during sleep-related changes in pharyngeal airway patency. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 120 (1-2), pp. 18-25.
- Patra, S. y Telles, S. (2010). Heart Rate Variability During Sleep Following the Practice of Cyclic Meditation and Supine Rest. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35 (2), pp.135-140.
- Pereira, V.H., Campos I. y Sousa N. (2017). The role of autonomic nervous system in susceptibility and resilience to stress. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 14, pp. 102-107.
- Porges, S.W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological Psychology*, 74 (2), pp. 116-143.

- Pichon, A., Roulaud, M., Antoine-Jonville, S., Bisschop C., y Denjean, A. (2006). Spectral analysis of heart rate variability: interchangeability between autoregressive analysis and fast Fourier transform. *Journal of Electrocardiology*, 39 (1), pp. 31-37.
- Ramshur, J.T. (2010). Design, evaluation, and application of heart rate variability analysis software (HRVAS) (Tesis de Maestría). Recuperado de http://iweb.dl.sourceforge.net/project/hrvas/Documents/ramshur_thesis.pdf
- Schaffer, T., Hensel, B., Weigand, C., Schüttler, J. y Jeleazcov, C. (2014). Evaluation of techniques for estimating the power spectral density of RR-intervals under paced respiration conditions. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 28 (5), pp. 481-486.
- Stein, P.K., y Yachuan, P. (2012). Heart rate variability, sleep and sleep disorders. *Sleep Medicine Reviews*, 16(1), pp. 47-66.
- Takase, B., Akima, T., Satomura, K., Ohsuzu, F., Mastui, T., Ishihara, M. y Kurita, A. (2004). Effects of chronic sleep deprivation on autonomic activity by examining heart rate variability, plasma catecholamine, and intracellular magnesium levels. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 58 (suppl1), pp. 35-39.
- Tarvainen, Niskanen, Lipponen, Ranta-aho y Karjalainen, (2014). Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113 (1), pp. 210-220.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability: standards of measurements, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93 (5), pp. 1043-1065.
- Tobaldini, E., Nobili, L., Strada, S., Casali, K.R., Braghiroli, A. y Montano, N. (2013). Heart rate variability in normal and pathological sleep. *Frontiers in Physiology*, 16 (4), pp. 1-11.

Toscani, L., Gangemi, P.F., Parigi, A., Silipo, R., Ragghiantin, P., Sirabella, E., Morelli, M., et al. (1996). Human heart rate variability and sleep stages. *Italian Journal of Neurological Sciences*, 17(6), pp. 437-439.

Versace, F., Mozzato, M., De Min Tona, G., Cavallero, C. y Stegagno, L. (2003). Heart rate variability during sleep as a function of the sleep cycle. *Biological Psychology*, 63(2), pp.149-162.

Yoshino, K. y Matsuoka, K. (2009). Effect of mood during daily life on autonomic nervous activity balance during subsequent sleep. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*. 150 (1-2), pp. 147-149.

Envío a dictamen: 31 de octubre de 2017

Reenvío: 5 de diciembre de 2017

Aprobación: 18 de enero de 2018

Erik Leonardo Mateos Salgado. Facultad de Psicología, UNAM.

Fructuoso Ayala Guerrero. Dr. en Ciencias, Investigador Titular, Tiempo completo y Jefe de Laboratorio de Neurociencias de la Facultad de Psicología, UNAM.

Carlos Alberto Gutiérrez Chávez. Facultad de Ciencias de la Conducta. UAEMex.

Karen Arisbeth Pontones Pérez. Facultad de Psicología, UNAM.