

Estabilidad de los parámetros cuantitativos del Electroencefalograma en atletas de boxeo

Stability of electroencephalographic quantitative parameters in boxing athletes

Marta Brown Martínez^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-1740-2359>

Rafael Lerena Nápoles¹ <https://orcid.org/0000-0002-4847-2643>

Víctor Hugo González Acevedo¹ <https://orcid.org/0000-0001-9439-5952>

Raúl Mendoza Quiñones² <https://orcid.org/0000-0003-0692-1145>

¹Instituto de Medicina del Deporte, Subdirección de Control Médico. La Habana, Cuba.

²Centro de Neurociencias de Cuba, Departamento de Neurociencias Cognitivas. La Habana, Cuba.

^{1*} Autora para la correspondencia: brownmarta70@gmail.com

RESUMEN

Introducción: La recuperación fisiológica de la lesión cerebral traumática leve relacionada con el deporte puede durar más que las anomalías clínicas, por lo que la posibilidad de cuantificar índices fisiológicos neurometabólicos sería de gran valor para el seguimiento y manejo de estas lesiones. Los métodos cuantitativos del Electroencefalograma (EEG) representan una alternativa al estudio de estas alteraciones. **Objetivo:** Identificar diferencias entre los parámetros cuantitativos del EEG basal obtenidos en atletas de boxeo en dos periodos de tiempo diferentes. **Métodos:** Se obtuvieron los EEG en un grupo de atletas sin antecedentes de lesiones traumáticas cerebrales en dos periodos de tiempo diferentes. Se analizaron las diferencias de los parámetros cuantitativos de modelo banda ancha (Poder absoluto, Poder relativo y Frecuencia Media de cada banda de frecuencia) y de banda estrecha (Poder absoluto). Se aplicó prueba estadística T de student con permutaciones para muestras dependientes. **Resultados:** No se encontraron diferencias estadísticas significativas en el análisis de banda estrecha. En el modelo de banda ancha no se encontraron diferencias estadísticas significativas globales, solo se observó una diferencia significativa en el análisis univariado del Poder relativo y Frecuencia media en una derivación. **Conclusión:** Estos resultados sugieren una buena estabilidad de los parámetros cuantitativos del EEG, lo que

señala el valor de estos indicadores neurofisiológicos en el seguimiento o monitoreo de la función cerebral en los atletas de boxeo.

Palabras clave: atletas; boxeo; lesión cerebral traumática leve; Electroencefalograma; reproducibilidad.

ABSTRACT

Introduction: Physiological recovery from sport-related mild traumatic brain injury may last longer than clinical abnormalities, so the possibility of quantifying neurometabolic physiological indices would be of great value for the follow-up and management of these injuries. Quantitative Electroencephalogram (EEG) methods represent an alternative to the study of these alterations. **Objective:** To identify differences of quantitative resting state EEG parameters between two sessions in boxing athletes. **Methods:** EEGs were obtained in a group of athletes with no history of traumatic brain injuries in two different time periods. The differences of the quantitative parameters of the broad band model (Absolute Power, Relative Power and Average Frequency of each frequency band) and narrow band (Energy) were analyzed. T student test with permutations for dependent samples was applied. **Results:** No statistically significant differences were found in narrow band analysis. In broad band model, no global significant statistical differences were found, only a significant difference was observed in the univariate analysis of Relative Power and Mean Frequency in one derivation. **Conclusion:** These results suggest a good stability of the quantitative EEG parameters, which indicates the value of these neurophysiological indicators in the follow-up or monitoring of brain function in athletes of these sports.

Keywords: boxing; athletes; mild traumatic brain injury; Electroencefalograma; reproducibility.

Recibido: 8/11/21

Aprobado: 9/12/21

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado la atención sobre las secuelas neurológicas del daño cerebral traumático relacionado con el deporte, en particular sobre la conmoción cerebral. La

misma es referida frecuentemente como Lesión Cerebral Traumática (LCT) leve o benigna y se define como una alteración temporal de la función cerebral de origen traumático, causada por un complejo proceso fisiopatológico¹. Múltiples evidencias sugieren que, para muchos individuos, la LCT es una enfermedad crónica en evolución y quizás una patología de por vida. Este trastorno constituye un riesgo no solo para diversas patologías neurológicas sino también patologías sistémicas, con un aumento asociado de morbilidad y mortalidad, que se extiende durante muchas décadas en estos pacientes, lo que representa un problema de salud significativo².

Investigaciones recientes sugieren consistentemente que la recuperación fisiológica de la LCT aguda puede durar más que las anomalías clínicas³. De esta forma, la posibilidad de cuantificar índices fisiológicos neurometabólicos sería de gran valor para el manejo de estas lesiones, tanto en la fase aguda como en la recuperación.

Estudios en animales y humanos indican que tanto las lesiones primarias como las secundarias causadas por traumatismo craneal afectan mecanismos que apoyan la generación, transmisión y procesamiento de señales electrofisiológicas dentro y entre las regiones cerebrales. Por ello métodos electrofisiológicos como el Electroencefalograma (EEG) pueden aportar información de utilidad en la evaluación del LCT leve^{4,5}.

Tradicionalmente, se han utilizado dos principales tipos de análisis de EEG, aquellos basados en el análisis de frecuencias del EEG (análisis cuantitativo) y el análisis en el tiempo, realizado convencionalmente en el marco clínico. Los métodos cuantitativos de EEG (QEEG) tienen varias ventajas potenciales sobre el análisis en el tiempo. Primero, los métodos de QEEG son completamente objetivos, con resultados generados por computadora. Los datos se someten a una serie de análisis con parámetros derivados evaluados estadísticamente con respecto a una base de datos normativa. Finalmente, los métodos cuantitativos son más fácilmente susceptibles de análisis multivariado y el desarrollo de funciones discriminantes que tienen el potencial de clasificar el estado clínico de cada participante⁶.

De esta forma, el QEEG constituye una herramienta muy valiosa para la detección de alteraciones en la función cerebral. Su propiedad de no invasividad le permite su aplicación en estudios longitudinales y así el monitoreo de la función neurológica en el tiempo⁶.

En este contexto es extremadamente importante la reproducibilidad de los parámetros del QEEG para el desarrollo de índices de cambios que pueden significar deterioro de la función cerebral⁷. Varios estudios han demostrado la validez y reproducibilidad de los métodos del

QEEG, lo que apoya su utilización como herramienta de investigación en estudios longitudinales. No obstante, existe necesidad de continuar las investigaciones sobre este tema, en especial en población atleta, que permita el desarrollo de nuevas metodologías para la detección precoz de lesiones cerebrales traumáticas relacionada con el deporte. Lo anterior motivó la realización de este trabajo, como una primera aproximación a este tipo de análisis. Para ello se propuso como objetivo identificar diferencias entre los parámetros cuantitativos del EEG basal obtenidos en atletas de boxeo en dos periodos de tiempo diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio.

Se realizó un estudio longitudinal para evaluar diferencias de los parámetros del QEEG obtenidos en atletas de boxeo de alto rendimiento. Para ello se obtuvo el consentimiento verbal de todos los atletas a participar en el estudio. Se obtuvieron registros iniciales de EEG en 19 atletas sin antecedentes personales de lesión traumática cerebral, de los cuales solo 9 completaron el 2do estudio. Fueron seleccionados los registros con la calidad requerida para el análisis cuantitativo (trazados libres de artefactos y con duración suficiente para la selección de épocas) en los 2 periodos de tiempo. La muestra final estuvo constituida por 5 sujetos con registros útiles para el procesamiento del EEG. La media de edad de los participantes fue de 23 años. Tres atletas pertenecían a las divisiones de 49, 60 y 64 Kg, respectivamente y dos, a la de 56 Kg. Los estudios fueron realizados en el periodo de marzo/2019 y octubre-diciembre/2019, con un promedio de diferencia de tiempo de 8 meses. Durante este periodo no se reportaron alteraciones neuropsicológicas ni eventos de LTC en los atletas evaluados.

Registro de EEG.

Se obtuvieron registros de EEG de vigilia de 19 canales en el laboratorio del Instituto de Medicina del Deporte (IMD), empleando un equipo de fabricación nacional (Fenix - Neuronic SA), con las condiciones de registro convencionales (ganancia: 10,000 mv, frecuencia de muestreo: 200 Hz y filtros con un ancho de banda de 0,5-30 Hz). Se exploraron los estados funcionales: Ojos Cerrados, Ojos Abiertos, Hiperventilación, Recuperación y Fotoestimulación. Los procedimientos y condiciones estandarizadas

recomendados por la Sociedad Americana de Neurofisiología Clínica fueron utilizados para la obtención del registro de EEG de vigilia⁸.

Procesamiento del EEG.

Para el análisis cuantitativo del EEG los datos registrados en el estado de ojos cerrados fueron inspeccionados visualmente y fragmentados fuera de línea en ventanas de análisis de 2,56 segundos, libres de artefactos, actividad paroxística, y períodos de somnolencia. Posteriormente con el empleo del programa EEG cuantitativo (Neuronic SA) se les aplicó a las ventanas de análisis la transformada rápida de Fourier (FFT), utilizando ventanas de Thompson, para llevar los datos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia en un rango de frecuencias entre los 0,39-19,11 Hz con una resolución de 0,39 Hz, obteniendo así los espectros de frecuencia por cada derivación del Sistema Internacional 10-20 (Fp1, Fp2, F3, Fz, F4, F7, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1 y O2). Se obtuvieron así los parámetros cuantitativos del EEG de los modelos de banda ancha (Poder Absoluto, Poder Relativo y Frecuencia Media de cada banda de frecuencia: delta, theta, alfa, beta) y de banda estrecha (Energía o potencia del espectro). Los mismos fueron expresados en valores crudos, propios del sujeto y valores Z, referenciados a una base de datos cuantitativos de la población cubana obtenidos con anterioridad (valores de desviación con respecto a la norma).

Análisis estadístico.

Los datos cuantitativos del EEG fueron introducidos posteriormente al programa Neuronic Statistic para el análisis estadístico. Con los mismos se crearon 2 grupos de análisis para comparar los datos de los sujetos participantes en los dos periodos de tiempo. Se aplicó prueba estadística T de Student para muestras dependientes con 1000 permutaciones, método no paramétrico que permite el análisis estadístico de los datos de modo fiable, independientemente de la distribución de los datos y el tamaño de la muestra. Se obtuvieron las probabilidades derivadas del análisis univariado y multivariado de los datos, considerando en el primer caso, el efecto de las frecuencias y de las derivaciones de modo individual y en el segundo caso, de manera conjunta. El nivel de significación estadística fijado fue de $p=0,05$.

RESULTADOS

La Tabla I, muestra los valores de probabilidad global que expresan las diferencias estadísticamente significativas observadas entre los parámetros cuantitativos del EEG obtenidos en ambos periodos de tiempo. Este resultado se derivó de un análisis multivariado que explora las posibles diferencias considerando en conjunto el efecto de las derivaciones y las frecuencias del EEG. Dichos valores de probabilidad indican que no se obtuvieron diferencias significativas entre los parámetros del EEG tanto de datos crudos como de datos Z, evaluados en ambos periodos.

Tabla I. Valores de la probabilidad global del análisis multivariado de las diferencias significativas observados entre los parámetros de ambos estudios.

Parámetros	Probabilidad global	
	Datos crudos	Datos Z
Poder absoluto	1	0.97
Poder relativo	0.15	0.19
Frecuencia media	0.39	0.40
Energía	0.86	0.87

Las Figuras 1, 2, 3 y 4, ilustran los gráficos obtenidos con el programa Neuronic Estadística. En los mismos se muestran los resultados del análisis univariado, a través del cual se exploran las posibles diferencias entre los parámetros cuantitativos, considerando el efecto de las distintas bandas de frecuencias (o distintas frecuencias en modelo banda estrecha) y todas las derivaciones o canales del EEG, de manera independiente.

Los gráficos plotean la probabilidad encontrada de las diferencias estadísticamente significativas (eje Y), en cada banda de frecuencia y en cada canal (eje X), de los datos crudos (Figura 1 y Figura 3) y de la transformada Z (Figura 2 y Figura 4). En el modelo de banda ancha no se obtuvieron diferencias significativas al considerar el efecto de las bandas de frecuencia.

Al considerar el efecto de las derivaciones se obtuvieron diferencias significativas en los datos crudos ($p=0,04$) y en los datos de transformada Z ($p=0,03$) del poder relativo, solamente en la derivación T5, y en los datos crudos ($p=0,03$) y en los datos de transformada Z ($p=0,04$) de la frecuencia media, solamente en la derivación T3. En el modelo de banda estrecha no se encontraron diferencias significativas en ninguna derivación ni en las 47 frecuencias del EEG evaluadas.

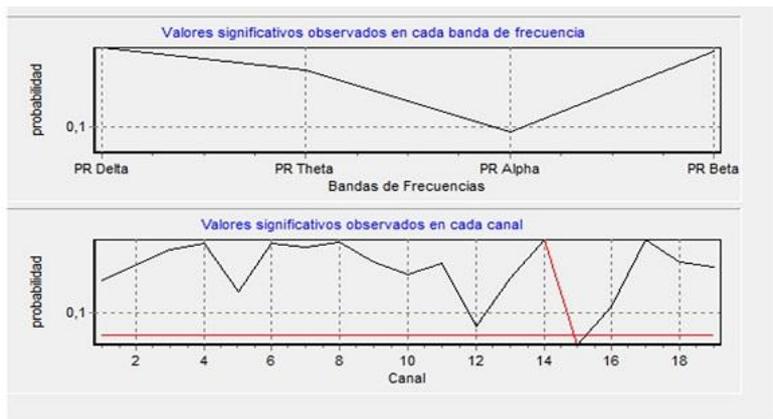


Figura 1. Valores de probabilidad del poder relativo (datos crudos) observados en cada banda de frecuencia y en cada canal (segmento en rojo en T5: $p=0,04$).



Figura 2. Valores de probabilidad del poder relativo (datos transformada Z) observados en cada banda de frecuencia y en cada canal (segmento en rojo en T5: $p=0,03$).

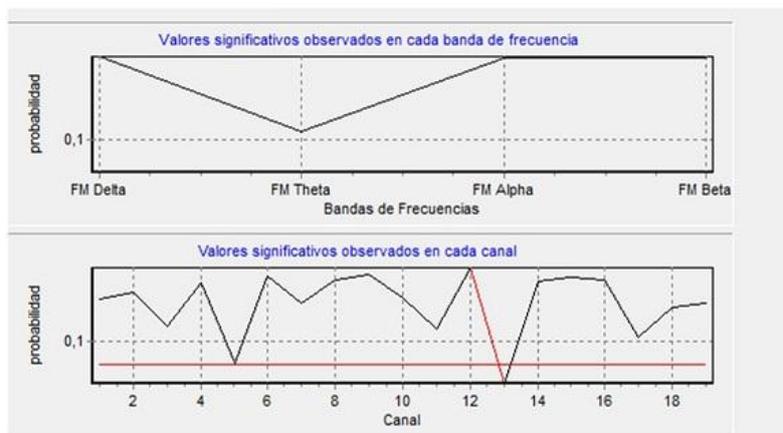


Figura 3. Valores de probabilidad de la frecuencia media (datos crudos) observados en cada banda de frecuencia y en cada canal (segmento en rojo en T3: $p=0,03$).



Figura 4. Valores de probabilidad de la frecuencia media (datos transformada Z) observados en cada banda de frecuencia y en cada canal (segmento en rojo en T3: $p=0,04$).

DISCUSIÓN

El análisis cuantitativo del EEG comprende un grupo de métodos de procesamiento y estadísticos para el análisis de la amplitud y las frecuencias de la señal de EEG. Para poder caracterizar los estados de enfermedad neurológica y su evolución en el tiempo, es necesario que las mediciones resultantes tengan una baja variabilidad entre sujetos y una alta reproducibilidad entre las sesiones de estudio.

En el presente estudio se observó que, de manera general, no existen diferencias significativas entre los parámetros cuantitativos del EEG obtenidos en atletas de boxeo en ambos periodos de tiempo, ya que solo se obtuvo una diferencia puntual del poder relativo y la frecuencia media en derivaciones temporales izquierdas, T5 y T3, respectivamente, en el análisis univariado.

Debe señalarse que el análisis con el modelo de banda estrecha no reveló diferencias entre los estudios. Este modelo de análisis del EEG describe el espectro de potencia del EEG en todo el rango de frecuencias (con una resolución de 0,39 Hz) por lo que describe los distintos componentes del EEG de modo más fino, mientras que el modelo de banda ancha representa una promediación de los mismos en bandas de frecuencia, lo que representa una aproximación al espectro. Los resultados de este estudio, sin ser un análisis propiamente dicho de reproducibilidad, sugieren una concordancia adecuada de las mediciones obtenidas con el análisis cuantitativo del EEG en ambos periodos de tiempo.

Al respecto, varias investigaciones sobre la fiabilidad de las mediciones del EEG, reportan una reproducibilidad general de buena a muy buena en condiciones de reposo, en especial para el poder absoluto de las bandas alfa y theta, siendo menor en las bandas delta y beta, en la condición de reposo⁹⁻¹⁵. También se han reportado un alto grado de reproducibilidad de estas mediciones durante la realización de tareas cognitivas¹⁶.

De manera similar a estos resultados, un estudio reportó bajos indicadores de reproducibilidad del índice de fase (relación entre electrodos) en electrodos individuales, afectando la reproducibilidad general de esta medición⁹. Esto fue atribuido en primer lugar al efecto de artefactos sutiles sobre este indicador, lo cual, de manera similar, puede ser la causa de las diferencias puntuales encontradas en nuestro estudio.

Es importante destacar que la corteza cerebral, en particular la corteza motora, es susceptible a cambios plásticos debido al efecto del entrenamiento¹⁷. Varios estudios han demostrado cambios estructurales y funcionales en sujetos entrenados, dependientes de la naturaleza de la actividad física¹⁸⁻²⁰, de esta manera no es adecuado extrapolar los resultados de las mediciones del EEG obtenidas en la población general a sujetos entrenados. No obstante, estos resultados son coherentes con los reportados en la literatura, sin embargo, la metodología empleada fue diferente, lo que limita la comparación entre los estudios.

El método usual para evaluar la reproducibilidad de las mediciones del EEG entre las sesiones, es la determinación del coeficiente de correlación intraclase, el cual expresa la correlación de los parámetros obtenidos en cada electrodo entre las distintas sesiones de estudio⁷. La carga computacional y el número de contrastes estadísticos necesarios para este tipo de análisis (que incluye datos de todas frecuencias en todas las derivaciones), imposibilitaron la realización del mismo en este estudio, lo cual será el centro de atención para futuras investigaciones.

La estabilidad de la actividad eléctrica cerebral resulta de gran interés para el desarrollo de biomarcadores que contribuyan al diagnóstico de la LCT leve y que permitan además la evaluación de su evolución. Para ello es necesario considerar, además, el pre-procesamiento de la señal (filtraje, interpolación de canales defectuosos, entre otros) como un paso crítico en el análisis del EEG, el cual permite aumentar la relación señal-ruido y remover el efecto indeseado de los artefactos en el análisis^{13,16}. El laboratorio del Instituto de Medicina del Deporte está enfocado en la aplicación de estos procesos, los cuales necesitan de mayor investigación.

CONCLUSIONES

Los resultados no evidenciaron diferencias significativas entre los parámetros cuantitativos del EEG basal obtenidos en dos sesiones de estudio diferentes, en atletas de boxeo, lo cual resulta coherente con la reproducibilidad de las mediciones cuantitativas del EEG en condiciones de reposo reportadas por otros autores. Esto abre la posibilidad de utilizar esas variables en estudios longitudinales que permitan el seguimiento o monitoreo de la función cerebral en los atletas en riesgo de sufrir lesiones cerebrales traumáticas, así como la interpretación de posibles cambios en la actividad eléctrica cerebral relacionados con la práctica deportiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1-Harmon KG, Clugston JR, Dec K, Hainline B, Herring S, Kane SF, et al. American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine*. 2019; 53(4): 213-25.
- 2-Masel BE, DeWitt DS. Traumatic brain injury: a disease process, not an event. *J Neurotrauma*. 2010; 27(8): 1529-40.
- 3-Manley G, Gardner AJ, Schneider KJ, Guskiewicz KM, Bailes J, Cantu RC, et al. A systematic review of potential long-term effects of sport-related concussion. *Br J Sports Med*. 2017; 51(12): 969-77.
- 4-Lewine JD, Plis S, Ulloa A, Williams C, Spitz M, Foley J, et al. Quantitative EEG Biomarkers for Mild Traumatic Brain Injury. *J Clin Neurophysiol*. 2019; 36(4): 298-305.
- 5-Slobounov S, Sebastianelli W. *Foundations of Sport-Related Brain Injuries*; 2006.
- 6-Schomer DL, Lopes da Silva FH. *Niedermeyer's Electroencephalography Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*: Oxford University Press; 2017: 2017-11.
- 7-Gudmundsson S, Runarsson TP, Sigurdsson S, Eiriksdottir G, Johnsen K. Reliability of quantitative EEG features. *Clin Neurophysiol*. 2007; 118(10): 2162-71.
- 8-Halford JJ, Sabau D, Drislane FW, Tsuchida TN, Sinha SR. American Clinical Neurophysiology Society Guideline 4: Recording Clinical EEG on Digital Media. *Journal of Clinical Neurophysiology*. 2016; 33(4): 317-9.

- 9-Cannon RL, Baldwin DR, Shaw TL, Diloreto DJ, Phillips SM, Scruggs AM, et al. Reliability of quantitative EEG (qEEG) measures and LORETA current source density at 30 days. *Neurosci Lett*. 2012; 518(1): 27-31.
- 10-Choi J, Ku B. Resting-state prefrontal EEG biomarkers in correlation with MMSE scores in elderly individuals. 2019; 9(1): 10468.
- 11-Choi J, Lim E, Park MG, Cha W. Assessing the Retest Reliability of Prefrontal EEG Markers of Brain Rhythm Slowing in the Eyes-Closed Resting State. *Clin EEG Neurosci*. 2020; 51(5): 348-56.
- 12-Duez CHV, Ebbesen MQ, Benedek K, Fabricius M, Atkins MD, Beniczky S, et al. Large inter-rater variability on EEG-reactivity is improved by a novel quantitative method. *Clin Neurophysiol*. 2018; 129(4): 724-30.
- 13-Hatz F, Hardmeier M, Bousleiman H, Rüegg S, Schindler C, Fuhr P. Reliability of fully automated versus visually controlled pre- and post-processing of resting-state EEG. *Clin Neurophysiol*. 2015; 126(2): 268-74.
- 14-Ip CT, Ganz M, Ozenne B, Sluth LB, Gram M, Viardot G, et al. Pre-intervention test-retest reliability of EEG and ERP over four recording intervals. *Int J Psychophysiol*. 2018; 134: 30-43.
- 15-Kuntzelman K, Miskovic V. Reliability of graph metrics derived from resting-state human EEG. *Psychophysiology*. 2017; 54(1): 51-61.
- 16-Suarez Revelo J, Ochoa Gomez J, Duque Grajales J, editors. Improving test-retest reliability of quantitative electroencephalography using different preprocessing approaches. 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC); 2016, 16-20 Aug.: 961-4.
- 17-Kumpulainen S, Avela J, Gruber M, Bergmann J, Voigt M, Linnamo V, et al. Differential modulation of motor cortex plasticity in skill- and endurance-trained athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2015; 115(5): 1107-15.
- 18-Ogino Y, Kawamichi H, Takizawa D, Sugawara SK, Hamano YH, Fukunaga M, et al. Enhanced structural connectivity within the motor loop in professional boxers prior to a match. *Scientific Reports*. 2021; 11(1): 9015.
- 19-Lakhani B, Borich MR, Jackson JN, Wadden KP, Peters S, Villamayor A, et al. Motor Skill Acquisition Promotes Human Brain Myelin Plasticity. *Neural Plasticity*. 2016.

20-Seidel O, Carius D, Kenville R, Ragert P. Motor learning in a complex balance task and associated neuroplasticity: a comparison between endurance athletes and nonathletes. *Journal of Neurophysiology*. 2017; 118(3): 1849-60.

Declaración de autoría

Marta Brown Martínez: conceptualización teórica, análisis de datos, metodología, Recursos, Redacción y edición/corrección

Rafael Lerena Nápoles: conceptualización teórica, redacción de borrador original

Víctor Hugo González Acevedo: redacción, recursos, redacción de borrador original

Raúl Mendoza Quiñones: análisis de datos, redacción y edición/corrección

Declaración de Conflictos de Interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.