

Empleo de dispositivos BCI para evaluar funciones cognitivas

Emilio Alejandro Cueva Solís^{1*}

¹ Escuela de Posgrado. Universidad César Vallejo. Perú.

* Autor para correspondencia: Emilio Alejandro Cueva Solís, ecueva5@ucvvirtual.edu.pe

(Recibido: 20-12-2023. Publicado: 05-01-2024.)

DOI: 10.59427/rcli/2024/v24cs.118-125

Resumen

El presente trabajo describe las posibilidades de empleo de tecnología basada en una BCI (Brain Computer Interface) como herramienta para la evaluación de las funciones cognitivas, ya que estas son determinantes para la ejecución de cualquier tarea y son un indicador de las condiciones para que un sujeto consiga con mayor o menor dificultad diversos aprendizajes. El objetivo de este estudio es establecer lo que se conoce sobre el tema, lo investigado sobre ello y los aspectos que aún se desconocen, cuáles generan controversias y, por último, inducir a la introducción y empleo de nuevas tecnologías en el campo educativo. Se llevó a cabo una revisión sistemática cualitativa de artículos localizados en diversas bases de datos bibliográficas como Dialnet, SciELO, Redalyc y Scopus, además se empleó el motor de búsqueda de Google Académico. Se evaluaron 84 artículos y escogieron 68 en total, considerando los siguientes criterios de selección: artículos científicos publicados en idioma español e inglés entre los años 2010 y 2022, donde la BCI sea el objeto de estudio y/o esté incluida en el título de la investigación y a su vez asociada a la variable funciones cognitivas. La revisión sugiere que el empleo de BCI permite una mayor efectividad y objetividad en la evaluación y diagnóstico de las funciones cognitivas asociadas al aprendizaje.

Palabras claves: Interfaz, cerebro, computadora, electroencefalograma, atención, cognición.

Abstract

The present work describes the possibilities of using technology based on a BCI (Brain Computer Interface) as a tool for the evaluation of cognitive functions, since these are determinant for the execution of any task and are an indicator of the conditions for a subject achieves with greater or lesser difficulty various learning. The objective of this study is to establish what is known about the subject, what has been researched on it and the aspects that are still unknown, which generate controversies and, finally, induce the introduction and use of new technologies in the educational field. A qualitative systematic review of articles located in various bibliographic databases such as Dialnet, SciELO, Redalyc and Scopus was carried out, in addition the Google Scholar search engine was used. 84 articles were evaluated and a total of 68 were chosen, considering the following selection criteria: scientific articles published in Spanish and English between 2010 and 2022, where the BCI is the object of study and/or is included in the title of the research and in turn associated with the variable cognitive functions. The review suggests that the use of BCI allows greater effectiveness and objectivity in the evaluation and diagnosis of cognitive functions associated with learning.

Keywords: Interface, brain, computer, electroencephalogram, attention, cognition.

1. Introducción

La investigación, científica o tecnológica, se conceptúa como un proceso riguroso orientado a la producción de conocimientos que resuelvan interrogantes presentadas con antelación. En términos generales, la investigación se orienta a transformar la realidad a partir de un mayor conocimiento y comprensión de esta (Sánchez y Reyes, 2015; Hernández y Mendoza, 2018; Silvestre y Huamán, 2019). Desde la orientación adoptada en la presente revisión sistemática se observa la diferencia entre la investigación científica y la investigación tecnológica; la primera facilita un mayor conocimiento de la realidad mientras que la segunda permite validar la tecnología evidenciando su capacidad para lograr alguna transformación. Así, la investigación científica facilita una mayor comprensión de la realidad mientras que la investigación tecnológica confirma la eficiencia de los métodos, técnicas, procedimientos y sobre todo la efectividad de los instrumentos a los cuales valida permitiendo así su uso y transferencia (Sánchez et al., 2018).

El desarrollo tecnológico ha permitido la producción de un sinnúmero de instrumentos que permiten, entre otros aportes, el análisis de las funciones cognitivas desde diversas perspectivas que incluyen el reconocimiento de imagen, reconocimiento de voz, inteligencia artificial, electroencefalografía, resonancia magnética y cuyo empleo adquiere cada vez importante trascendencia. De estas técnicas y métodos de análisis cognitivo destaca la creciente aplicación que ha logrado la interfaz cerebro-computadora (BCI) que permite optimizar el reconocimiento eficiente y no invasivo de patrones de actividad cerebral (Teulé, 2015; Sánchez, 2017; Mengoni et al., 2022). El electroencefalograma (EEG) ha sido durante mucho tiempo la técnica por excelencia que ha permitido la observación y análisis funcional del sistema nervioso central (SNC) y todavía en la actualidad es un gran soporte para el trabajo clínico en el diagnóstico y monitoreo de algunas entidades patológicas de naturaleza neurofisiológicas y otras asociadas a la fisiología de los procesos cognitivos. (Henríquez, 2014; Cornelio et al., 2011; Garzón et al., 2013; Galeana et al., 2020). Un EEG básico permite, de manera no invasiva, una exploración económica que puede ser determinante en la práctica clínica. Su empleo consiste en adherir a través de un gel conductor un conjunto de electrodos sobre el cuero cabelludo. Estos se ubican siguiendo un patrón estandarizado denominado sistema internacional 10-20. Luego se mide la diferencia de voltaje entre cada par de electrodos denominados derivaciones o canal de registro que habitualmente son en número de 16 a 24 en cada montaje (Tatum et al., 2008). Este mecanismo se sustenta en la función de las neuronas que les permite comunicarse entre ellas empleando impulsos eléctricos de baja intensidad que pueden ser medidos. Esta actividad genera un conjunto de ondas cerebrales de diferentes tipos de frecuencia caracterizados por su mayor o menor velocidad. Estas ondas pueden separarse a través de filtros y son inherentes al funcionamiento del sistema nervioso central (Martínez & Trout, 2006; Fajardo & Guzmán, 2016).

Todas las vivencias que experimenta diariamente un sujeto se grafican paralelamente en la actividad cerebral, entendida como la relación entre las conductas del sujeto y su efecto activador de múltiples circuitos neurales que se integran en un extenso y complejo sistema de células nerviosas relacionadas sinápticamente. Los diversos estados emocionales positivos que acompañan las conductas de una persona generan un conjunto de ondas que pueden sufrir una significativa variación si estas se convierten en estados emocionales negativos, es decir, la magnitud y recurrencia de determinadas emociones como la ira, el miedo, el asco, la tristeza, pueden generar efectos negativos sobre la calidad de vida de las personas y tornarse en una variable de riesgo e impactar significativamente en la salud física y mental. La condición de un sujeto que está sometido a menudo a situaciones de ansiedad que impiden pueda disfrutar de un estado de relajación puede graficarse en un incremento significativo de ondas rápidas Beta 3. El conocimiento que se tiene actualmente sobre la fisiología del sistema nervioso central permite determinar cuándo las ondas se encuentran en una situación de desequilibrio. Estas alteraciones en la condición de las ondas señalan malestar y hasta una condición nosológica que resulta incompatible a una adecuada calidad de vida. Esta dinámica de los estados emocionales puede graficarse a través del mapeo de las ondas cerebrales y su condición permiten información sobre su cantidad y proporción, la velocidad en la conducción del impulso nervioso y la intensidad en la comunicación de la actividad neural (Martínez & Trout, 2006; Ramos et al., 2009; Fajardo & Guzmán, 2016; Papo, 2019; Morales, 2020; Ramírez, 2022). Las diversas ondas que permite observar el EEG y se registran en un mapa cerebral, se pueden clasificar para su mayor conocimiento y análisis a partir de las características de estas. En la Tabla 1 se observa la clasificación general de las ondas cerebrales a partir de su frecuencia (Fajardo & Guzmán, 2016; Morales, 2020).

Tabla 1: Clasificación de las ondas cerebrales.

Tipo de onda	Frecuencia
Delta	0.2 – 4 Hz
Theta	4 – 8 Hz
Alfa	8 – 12 Hz
Beta	12 – 30 Hz
Gamma	30 – 90 Hz

Las ondas Delta se caracterizan por presentar una frecuencia muy lenta y a la vez una mayor amplitud. Se observan cuando el sujeto duerme y se incrementan durante los periodos de sueño. Además, se puede observar la producción de estas ondas en los estados de meditación. La ventaja de la presencia de ritmos Delta radica en la posibilidad de regeneración y restauración del sistema nervioso central. Las ondas Theta, se presentan significativamente durante la función de los sentidos consistente en gestionar información interna induciendo al sujeto a desconectarse de su entorno. Son frecuentes en los estados de meditación profunda. Son fundamentales en los procesos de memoria y aprendizaje. Estas ondas se originan en el periodo de transición de la vigilia al sueño. La necesidad de procesar experiencias traumáticas como miedos y pesadillas puede tener la propiedad de generar estas ondas. Las ondas Alfa son características de los estados de reposo de un sistema nervioso central laxo y que mantiene la atención. La baja de estas ondas determina la incapacidad del sujeto para lograr un estado de relajación. La presencia de esta frecuencia facilita la coordinación mental y el equilibrio entre mente y cuerpo; induce, además, a los estados de calma y alerta. Es interesante observar como el cerebro emite ráfagas de esta frecuencia a manera de gratificación cada vez que logra ejecutar una tarea de manera adecuada. Esto permite experimentar una sensación placentera que lleva a breves estados de relajación cerebral. El exceso de estas ondas puede generar desequilibrio en la atención de los sujetos. Las ondas Beta son evidencia de los estados de vigilia y se caracterizan por su rápida frecuencia y, a diferencia de las ondas Theta, están presentes cuando la atención se dirige a procesos cognitivos del entorno y el sujeto se enfrenta a la exigencia de tomar decisiones o concentrarse para resolver diversas situaciones del día a día. Las ondas Gamma se caracterizan por producirse en ráfagas cortas y de mayor rapidez que las otras frecuencias. Se pueden observar cuando el sistema nervioso central asocia de manera simultánea información proveniente de diversas áreas. Estas ondas están presentes en estados de alta concentración y atención, como cuando se practica un cálculo matemático o el sujeto se mantiene en estados virtuosos como la espiritualidad, el altruismo o el amor. Estas ondas pueden influir en la modulación de la percepción y la actividad consciente, dejándose de observar bajo los efectos de los anestésicos (Martínez & Trout, 2006; Ramos et al., 2009; Fajardo & Guzmán, 2016; Morales, 2020).

El conocimiento de las diversas ondas que evidencian la actividad del sistema nervioso central ha generado una serie de aplicaciones a partir de la tecnología. Una de las aplicaciones más relevantes son los sistemas de interfaz cerebro computadora o BCI (brain computer interface) que permiten el aprovechamiento de información neural para ser procesada a través de una computadora y generar la interacción directa del cerebro de un sujeto con su entorno inmediato. Esta nueva tecnología permite inaugurar nuevos canales de comunicación que permitirán a muchas personas superar limitaciones e interactuar de manera efectiva con su ambiente. La condición de ser vivo exige a las personas generar un conjunto de respuestas frente a la acción de los diversos estímulos que lo rodean para poder adaptarse. Estas respuestas se canalizan a través de la modificación del entorno o por la expresión del pensamiento, es decir, la manifestación de deseos, sentimientos e ideas. Una BCI es definida según Shih (2012) como “un sistema basado en una computadora que adquiere señales eléctricas del cerebro; las analiza y las traduce en comandos que son transmitidos a un dispositivo de salida para llevar a cabo una acción deseada” (p. 268). Es un tipo de tecnología que a partir de la aprehensión de información generada por el cerebro, a partir de su actividad electrofisiológica, la convierte en la posibilidad, a manera de comandos, de control de una diversidad de dispositivos. En otras palabras, se genera un nexo efectivo de control entre el cerebro y una variedad de máquinas de uso frecuente en su entorno. Diversos modelos de BCI, guardan relación directa con los EEG, adquieren importancia al permitir controlar artefactos y facilitar la comunicación teniendo en cuenta que estos diseños obvian el empleo del sistema muscular y las extremidades que conecta con el entorno. Una de las aplicaciones más generalizada está orientada a facilitar la comunicación e interacción de personas con parálisis quienes mediante un dispositivo pueden controlar sillas de ruedas y todos aquellos artefactos que puedan generar una mejor calidad de vida. Estos diseños de BCI captan y evalúan las diversas características de las ondas cerebrales las cuales patentizan determinadas necesidades de la persona y descifra estas variables generando respuestas en tiempo real en función de las intenciones del sujeto. Como se observa, se puede necesitar una gran diversidad de configuraciones de BCI debido al amplio espectro de su empleo, convirtiéndose la necesidad de un prototipo general un anhelo de la tecnología (Henríquez, 2014). En términos generales, un modelo de BCI cuenta con una serie de componentes: a) el sujeto, quien opera el sistema BCI y que procesando la información electrofisiológica del cerebro genera las señales que actuarán controlando el dispositivo; b) los electrodos, que transducen la información electrofisiológica de la actividad del cerebro en señales eléctricas; c) el amplificador, encargado de ampliar las señales eléctricas; d) la digitalización, permite convertir las señales analógicas en señales digitales optimizando su procesamiento; e) la extracción de características, discrimina parámetros de las señales eléctricas amplificadas de las respuestas electrofisiológicas del cerebro; f) la clasificación, se asocian los parámetros anteriores a señales de control generando un espectro de estados posibles; g) interfaz de control, permite que las señales lógicas de control se traduzcan en señales de control adecuadas a determinados dispositivos; h) el controlador del dispositivo, emplea como insumo las señales provenientes de la interfaz de control para producir señales físicas adecuadas que permitan el control de dispositivos. En la Figura 1 se grafica la serie de elementos que conforman un sistema BCI y la relación que se establece entre cada uno de ellos, que parte de las características de la fisiología del sistema nervioso central y culmina, en este caso, en el control de algún dispositivo periférico.



Figura 1: Modelo general de componentes del BCI.

Como se señaló, el empleo de los BCI se han orientado básicamente al control de dispositivos a partir de los comandos que se generan en un sistema BCI. Actualmente se puede observar una serie de artículos que han venido recopilando las diversas aplicaciones que se le ha dado a esta interesante tecnología. La mayoría de estas aplicaciones han recalado en el área clínica de la neurorehabilitación y el área de la asistencia para la comunicación control del movimiento y locomoción. Moore (2003) refiere en un artículo una clasificación de los usos y aplicaciones de esta tecnología en el mundo real. Actualmente hay una tendencia que orienta los sistemas BCI a su empleo por personas sanas como también su uso en el diagnóstico de problemas de aprendizaje en la escuela. Abdulkader (2015), confirma esta observación al señalar diversos campos de incidencia del empleo de los BCI tales como el campo de la medicina, diseño de entornos inteligentes y neuroergonómicos, como herramienta para la publicidad y el neuromarketing, para el control de instrumentos lúdicos y de entretenimiento, para la verificación de la identidad y seguridad, y por último, para el diagnóstico y autorregulación en los entornos educativos (Moreno et al., 2019). Un espacio importante que viene ocupando aceleradamente toda esta tecnología está relacionado con la educación y su interés por conocer aquellas funciones cerebrales que interactúan en el proceso del aprendizaje y la efectividad de metodologías y técnicas que hoy se emplean para lograrlo (Bravo, 2009; Bravo et al., 2009). De la misma manera, motiva el interés de trasladar estos conocimientos del ámbito académico a la práctica misma en las aulas y los hogares ya que es necesario que los diversos agentes educativos, sobre todo las instancias de toma de decisiones del sistema educativo, dispongan de alternativas que permitan una mayor calidad educativa sobre la base de un mayor conocimiento de la fisiología del aprendizaje del cerebro (Bueno, 2017; Bueno & Forés, 2018). Funciones tan básicas como la seriación, clasificación y conservación y tan complejas en su asociación que permite el manejo numérico y otras asociadas al lenguaje, por ejemplo, pueden ser entendidas de mejor manera al igual que otras funciones cognitivas presentes en el proceso de aprendizaje. Alonso, Arreola y Argüello (2020) describen cuatro tipos de interfaces y los caracteriza y relaciona con diversas respuestas cerebrales asociadas de alguna manera con las funciones cognitivas. En la Tabla 2 se observa una síntesis de diversas clasificaciones del uso de los sistemas BCI.

Tabla 2: Clasificación de BCIs y sus características principales.

TIPO	TAREA MENTAL	NEUROMECHANISMO ENDÓGENO
ACTIVOS	Movimientos imaginarios	Potenciales corticales lentos
		Potenciales corticales relacionados a movimientos
		Nivel de sincronización neuronal
		Potencia de las señales EEG en banda sensorio motoras
	Rotación mental de cuerpos en 3D	
	Lingüística mental	
	Musicalización interna	
TIPO	NEUROMECHANISMO EXÓGENO	TIPO DE ESTIMULACIÓN
REACTIVOS	Potenciales evocados en estado estable	Visuales
		Auditivos
		Somato sensoriales
	Potenciales evocados	Visuales
		Auditivo
		Somato sensoriales
	P300	
TIPO	ESTADO A DETECTAR	
PASIVOS	Ansiedad	
	Fatiga	
	Atención	
	Frustración	
TIPO	TIPO DE SISTEMA	EJEMPLO DE SISTEMA
HÍBRIDOS	Combinación de sistemas	Movimientos imaginarios & P300
		Potenciales evocados visuales & tareas mentales
	Combinación de señales	EEG & ECG
		EEG & EMG

Se ha señalado que uno de los campos más prometedores para el desarrollo y aplicación de los sistemas BCI es el educativo. Actualmente se viene empleando exitosamente como parte de la evaluación en diversos trastornos como es el caso del déficit de atención (TDAH). Dicho diagnóstico se elaboraba tradicionalmente a partir de la referencia que hacían familiares y cuidadores sobre la presencia de síntomas conductuales lo que determina un alto componente subjetivo, reforzando la necesidad de contar con indicadores lo más objetivo posibles para poder determinar la presencia del trastorno y establecer las estrategias educativas y clínicas para lograr la evolución y optimizar la adaptación de los estudiantes al entorno escolar mejorando su socialización y calidad de sus aprendizajes (Ortiz & Moreno, 2015; Galiana et al., 2020). Los conocimientos derivados del empleo de dispositivos BCI pueden permitir mejorar la comprensión y hacer más efectivos tanto los ambientes educativos como los mismos aprendizajes. La complejidad de los procesos de aprendizaje exige concertar diversas áreas de la ciencia y sus principios para poder tener un conocimiento más completo de las variables internas y externas que participan en el proceso de aprendizaje (Corona, Altamirano, López & González, 2019; Corona et al., 2019; Grasso et al., 2021).

2. Metodología

Una revisión sistemática al resumir los conocimientos generados en diversas investigaciones previas facilita una evidencia de alta objetividad sobre el tema analizado. Su utilidad radica en poner a disposición una serie de criterios necesarios en diversas instancias, administrativas, educativas, económicas, para la toma de decisiones en cuanto a la elaboración de herramientas, manuales y guías; para la toma de decisiones en las diversas áreas de los sistemas educativos; son fundamentales para el análisis económico. En resumen, lo que se busca es analizar la calidad de diversas tecnologías para que puedan ser empleadas con seguridad y efectividad. Se puede poner en práctica este tipo de revisión desde una orientación cuantitativa o meta-análisis, como desde una orientación cualitativa o de conjunto; lo cual está determinado principalmente por los procedimientos estadísticos que hayan empleado, ya que la revisión sistemática combina y analiza de manera cuantitativa la información generada en las diversas investigaciones en cada estudio (Ortiz, 2005). La presente investigación realizó una revisión cualitativa caracterizada por describir la información analizada y sin la necesidad de procesarla mediante elementos estadísticos. Estas revisiones también son conocidas como revisiones sistemáticas sin meta análisis (Aguilera, 2014). Realizar una revisión sistemática requiere seguir una secuencia ordenada de actividades orientadas a dar la formalidad necesaria a lo analizado. Esta secuencia se inicia con la formulación del problema que puede estar representado también por un objetivo o pregunta de investigación; luego se localiza aquella información en forma de investigaciones y que es necesaria en función a lo establecido en la primera etapa; se evalúa la calidad de los estudios de los que se extraen los datos para luego analizarlos y presentar los resultados; se finaliza haciendo una interpretación de los resultados (Manterola et al., 2013).

La revisión sistemática del presente estudio se realizó principalmente sobre la base de artículos científicos reportados sobre el tema de BCI y funciones cognitivas. Inicialmente se pretendió considerar solo dos criterios en la búsqueda: Interfaz cerebro computador (BCI, siglas en inglés) y funciones cognitivas; sin embargo, se encontró un vacío en esta búsqueda. Por lo cual, se decidió incluir el tema de electroencefalograma (EEG). Esta revisión sistemática se basó en artículos almacenados en diversas bases de datos bibliográficas como Dialnet, SciELO, Redalyc y Scopus, además se empleó el motor de búsqueda de Google Académico. Se evaluaron 84 artículos y escogieron 68 en total, considerando los siguientes criterios de selección: artículos científicos en idioma inglés y castellano, publicados con una data 2010 - 2022, donde la BCI sea el objeto de estudio y/o esté incluida en el título de la investigación y a su vez asociada a la variable funciones cognitivas. En la Figura 2 se puede observar los metadatos de la investigación realizada.

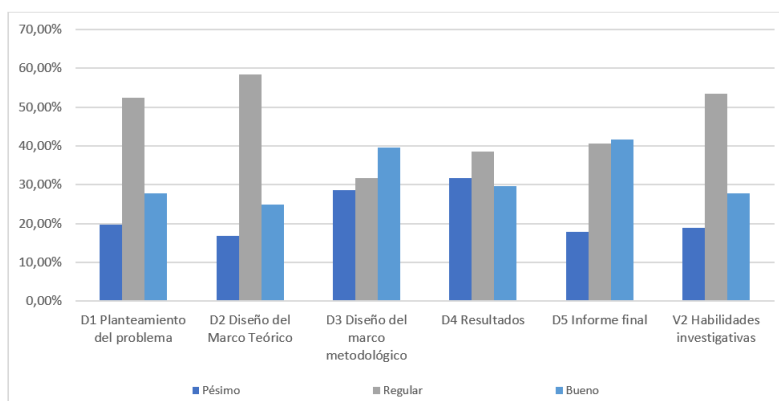


Figura 2: Selección de estudios.

3. Resultados y discusión

El origen de las BCI se ubica en la electroencefalografía (EEG) considerada como una de las principales herramientas de diagnóstico de entidades clínicas asociadas a la fisiología cerebral y el seguimiento de la fisiología cerebral de pacientes. El bajo costo que representa, su fácil acceso y reducido riesgo permiten que este tipo de evaluación se constituya como uno de los más empleados y necesarios en la intervención clínica de los últimos años (Ríos & Álvarez, 2013; Aldana & Buitrago, 2013).

Actualmente, el desarrollo de las neurociencias asociados al empleo de neuroimágenes han permitido el avance de los estudios electroencefalográficos aplicados a diversos trastornos asociados a las funciones cognitivas en niños que eran habitualmente evaluadas a partir de observaciones e informes de carácter subjetivo de familiares y maestros lo cual inducía con mucha frecuencia a evacuar inadecuados diagnósticos contribuyendo a incrementar el resultado de falsos positivos (Ortiz & Moreno, 2015). El EEG se ha venido practicando en los procesos de investigación como también en la evaluación y diagnóstico predominando el empleo del modelo de electrodo único para establecer la actividad cerebral ya que simplifica, facilita y acelera su empleo disminuyendo el nivel de complejidad. Esta característica lo asocia cada vez más a las BCI (Moreno et al., 2020). Una de las aplicaciones del EEG de mayor data se asocia a la evaluación y diagnóstico del TDAH. Se ha podido establecer diversas alteraciones electroencefálicas e incluso se ha llegado a establecer un perfil específico en niños diagnosticados con TDAH (Jeste et al., 2015; Ortiz & Moreno, 2015; Cornelio et al., 2011). Los sistemas BCI, al igual que un EEG, se fundamentan en la fisiología del cerebro que le permite generar señales eléctricas, y que a partir de la captura de estas señales, se producen comandos de computador que permiten el control de periféricos como como sillas de ruedas con motores y otros. Los formatos BCI tienen una gran variedad de aplicaciones, pero principalmente, su finalidad es brindar la posibilidad de transmitir una intención o necesidad a través de la transducción de las señales eléctricas generadas en el cerebro (Moreno et al., 2019).

Muchas personas con discapacidad a nivel motor o cognitivo se enfrentan a diversos inconvenientes en la ejecución de sus responsabilidades diarias y en el proceso de socialización, debido principalmente a que su condición exige de un acompañamiento especializado permanente. En diversas entidades nosológicas que comprometen estructuras centrales y periféricas del sistema nervioso relacionadas con la motricidad como la esclerosis y la parálisis se exige a los pacientes del uso personal y autónomo de diversas herramientas tecnológicas debido al grado de incapacidad motora que pueda presentar, agudizando significativamente el riesgo de desarrollo de la persona. En otras patologías donde la limitación se da en el orden de las funciones cognitivas, síndrome de Down y retardo leve, se genera un gran impedimento para usar de manera autónoma diversas herramientas comunes a las exigencias de la vida diaria. Las limitaciones sociales muchas veces son el obstáculo mayor para llegar a estas personas y el detrimento de sus funciones se agudizan diariamente sin la posibilidad de acceder al empleo de estas nuevas tecnologías (Garzón et al., 2013).

Las investigaciones que actualmente se vienen desarrollando se orientan a establecer los entornos donde sea factible el empleo de los sistemas BCI tanto para la realización de tareas mentales como el uso que se viene dando para potenciar la capacidad cognitiva sobre todo en el campo educativo. Las aplicaciones encontradas resultan prometedoras a pesar del incipiente empleo que se viene dando a los sistemas BCI en el entrenamiento cognitivo y en el deterioro que paulatinamente va caracterizando las funciones mentales a partir del envejecimiento (Hornero et al., 2012). El carácter multidisciplinario que se observa hoy en la investigación científica, de manera particular la ingeniería y las neurociencias, ha permitido el desarrollo de las BCI y que se constituya como una potente herramienta que permitirá mejorar la condición de aquellas personas que adolecen de un amplio espectro de lesiones y limitaciones de orden neurológico, y en especial de niños con algún tipo de discapacidad cognitiva (Alonso et al., 2019).

4. Conclusiones

Se evidencia de manera panorámica el empleo de sistemas BCI para evaluar funciones cognitivas y su potencial de aplicación en los sistemas educativos. Se patentiza la orientación del empleo de los dispositivos BCI para el bienestar de personas con discapacidades motoras. Se observa la tendencia cada vez mayor para su empleo educativo en los casos de TDAH. Es necesario señalar que los BCI a pesar de emplear un número reducido de electrodos se proyecta como una herramienta con potentes posibilidades por su carácter no invasivo, por ser asequibles y económicos y que se puede proyectar su empleo a un gran número de espacios en los sistemas educativos. No se ha evidenciado una incidencia significativa de empleo para que se integran en la cognición humana.

5. Referencias bibliográficas

Abdulkader, S. (2015). Brain Computer Interfacing: Applications and Challenges, *Egyptian Informatics Journal*, vol. 16, pp. 213-230, 2015.

Aguilera, R. (2014). ¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis?. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 21 (6), 359-360.

Aldana, C. y Buitrago, E. (2013). Actualidad en la investigación de electroencefalograma – resonancia magnética funcional simultáneos en el estudio de epilepsia y dolor. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 32(1), 29-47.

Alonso-Valerdi, LM, Arreola-Villarruel, MA, & Argüello-García, J.. (2019). Interfaces cerebro-computadora: conceptualización, desafíos de rediseño e impacto social. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 40 (3), e201912EE3. Epub 2020 21 de septiembre.

Bueno, D. y Forés, A. (2018). 5 principios de la neuroeducación que la familia debería saber y poner en práctica. *Revista Ibero-americana de Educação*, vol. 78 núm 1.

Bueno, D. (2017). Neurociencia para educadores. Octaedro. Bravo, L. (2009). Psicología de las dificultades del aprendizaje. Editorial Universitaria.

Bravo-Valdivieso, L., Milicic-Müller, N., Cuadro, A., Mejía, L., & Eslava, J. (2009). Trastornos del aprendizaje: investigaciones psicológicas y psicopedagógicas en diversos países de sud América. *Ciencias Psicológicas*, 3(2), 203–218.

Corona, A., Altamirano, M., López, M. y González, O. (2019). Analítica del aprendizaje y las neurociencias educativas: nuevos retos en la integración tecnológica. *Revista Iberoamericana de Educación* [(2019), vol. 80 núm. 1, pp. 31-54] - OEI/CAEU.

Cornelio, J., Borbolla, M. y Gallegos, A. (2011). Alteraciones electroencefalográficas en niños con trastorno por déficit de atención/hiperactividad. *Rev Neurol* 2011; 52 (Supl 1): S97-101.

Fajardo, A. y Guzmán, A. (2016). Neurofeedback, aplicaciones y eficacia. *Interdisciplinaria*, 33(1), 81-93.

Garzón, J., Rojas, S. y Sanabria, C. (2013). Uso de una BCI (Brain Computer Interface) como enlace interactivo, terapéutico y de aprendizaje dirigido a personas con discapacidad cognitiva y motora. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013) International Competition of Student Posters and Paper, August 14 - 16, 2013 Cancun, Mexico.

Galiana, A., Vecina, P., Sánchez, P. y Vela, M. (2020). Electroencefalografía cuantitativa como herramienta para el diagnóstico y seguimiento del paciente con alteración por déficit de atención/hiperactividad. *Revista de Neurología* 70(06):197.

Grasso-Cladera, A., Armijo, J., Fernandez-Gomez, M. y Parada, F. (2021). Computación, análisis e interpretación de señales eléctricas del cerebro humano en el dominio del tiempo: 90 años de Electrofisiología Cognitiva. *PSIENCIA*, 2021, 13(2), Julio-Diciembre, ISSN: 2250-5504.

Henríquez, C. (2014). Estudio de Técnicas de análisis y clasificación de señales EEG en el contexto de Sistemas BCI (Brain Computer Interface).

Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Editorial McGraw Hill.

Hornero, R., Corralejo, R. y Álvarez, D. (2012). Brain-Computer Interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento. *Lychnos, Cuadernos de la Fundación General CSIC / Nº 8 / Marzo 2012 / Publicación trimestral*.

Jeste, S.S., Frohlich, J. y Loo, S. K. (2015). Electrophysiological biomarkers of diagnosis and outcome in neurodevelopment disorders. *Current Opinion in Neurology*, 28(2), 110-116.

Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149-155.

- Martínez, M. y Trout, G. (2006). Conceptos básicos de electroencefalografía. Duazary, Revista de la facultad de Ciencias de la salud, 1er semestre 2006, Vol.3 N°1.
- Mengoni, P., Lee, S. y Zhang, H. (2022). Noninvasive Methods for Cognitive Analytics.
- Moreno, I., Batista, E., Serracín, S., Moreno, R., Gómez, L., Serracín Pittí, J., Quintero, J. & Boya, C. (2019). Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones. I+D Tecnológico. 15. 13-26. 10.33412/idt.v15.2.2230.
- Moore, M. (2003). Real world applications for Brain-computer Interface Technology. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering., vol. 11, n° 2, pp. 162-165, 2003.
- Morales, D. (2020). Oscilopatología en Trastornos del Espectro Autista : Las ondas cerebrales en los procesos de lenguaje. Areté, 9-17.
- Moreno, I., Servera, M., Meneses, S. y Lora, J. (2020). Empleo del electroencefalograma de un solo electrodo en la evaluación del trastorno por déficit de atención/hiperactividad. Rev. neurol. (Ed. impr.) ; 70(3): 84-92, 1 feb., 2020.
- Ortiz, A. y Moreno, I. (2015). Perfil electroencefalográfico de niños con TDAH. Revista de Psicología Clínica con Niños y Adolescentes, 2 (2), 129-134.
- Ortiz, Z. (2005). ¿Qué son las revisiones sistemáticas? Publicaciones CIE. Academia Nacional de Medicina, Buenos Aires. Julio 2005.
- Papo, D. (2019). Gauging functional brain activity: From distinguishability to accessibility.
- Ramírez, X. (2022). Monitoreo de la actividad cerebral.
- Ramos, F., Morales, G., Egozcue, S., Pabón, R. y Alonso, M. (2009). Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. Anales del Sistema Sanitario de Navarra, 32(Supl. 3), 69-82.
- Ríos, L. y Álvarez, C. (2013). Aporte de los distintos métodos electroencefalográficos (EEG) al diagnóstico de las epilepsias. Rev. Med. Clin. Condes - 2013; 24(6) 953-957.
- Ron, R. (2005). Retroalimentación en el entrenamiento de una interfaz cerebro computadora usando técnicas basadas en realidad virtual. UM Publicaciones.
- Shih JJ, Krusienski DJ, Wolpaw JR. (2012). Brain-computer interfaces in medicine. Mayo Clin Proc. 2012 Mar;87(3):268-79.
- Sánchez, H. y Reyes, C. (2015). Metodología y Diseños en la Investigación Científica. Editorial Bussines Support.
- Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanista.
- Sánchez, H. (2017). Desafíos de la investigación psicológica en el Perú ante el avance de la ciencia y la tecnología en el siglo XXI. Tradición, Segunda época 2017 N° 16 pp 43-54.
- Silvestre, I. y Huamán, C. (2019). Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria. Editorial San Marcos.
- Tatum WO, Husai AM, Benbadis SR, Kaplan PW. (2008), Normal EEG. Handbook of EEG interpretation. USA: Demos Medical Publishing 2008: 1-50.
- Teulé, J. (2015). Procesos cognitivos relacionados con el aprendizaje de la lectura.