

Cognitask: BCI System based on P300 for Cognitive Therapies

Facundo S. Barreto, L. Carolina Carrere and Carolina. B. Tabernig

Abstract— Brain-computer interfaces can be used within a therapy rehabilitation of cognitive functions such as attention and working memory. This paper presents the design, implementation and preliminary evaluation of *Cognitask*, a BCI for cognitive rehabilitation. It consists of a modified version of the P300-based speller BCI that allows the presentation of different cognitive tasks. During a task, the patient must complete a certain pattern by ordering a set of images presented disorderly in a visual stimulation matrix. The selection of each image is recognized using the P300 elicited when the patient looks at the matrix where images are flashing and selects one by attending to it. *Cognitask* consists of four modules. The first acquires and conditions the electroencephalography signal from six electrodes positioned at the fronto-central and parieto-occipital regions. The second processes the signals and translates them into a control signal. The third consists of a user-interface that presents the cognitive task to the patient. The last module consists of a graphical interface for the professional that allows configuration of the session parameters. Two evaluations of *Cognitask* were performed. The first evaluated the operational functioning of the system using input signals generated by a software. The second evaluated the performance of the system in three healthy volunteers. The results showed that *Cognitask* had a correct functioning and a maximum average success rate of 92%. These results suggest that *Cognitask* can be transferred to the clinical setting for evaluation in adults with cognitive deficits.

Index Terms— Attention, BCI2000, Brain-Computer Interface, cognitive therapy, P300, Python, working memory.

I. INTRODUCCIÓN

La atención y la memoria de trabajo son funciones cognitivas fundamentales para procesar la información entrante relevante, desestimando señales intrascendentes a la tarea que se está llevando a cabo. Sus deficiencias son parte del deterioro cognitivo presente en los adultos mayores y en personas con patologías como esclerosis múltiple, accidentes cerebro-vasculares, entre otras. Alcanzan una prevalencia del 19% a nivel global, y del 11% en América Latina para adultos mayores de 65 años [1][2]. Este deterioro dificulta la

realización de tareas y la concentración en entornos ruidosos u ocupados y puede afectar otras funciones cognitivas como el lenguaje y velocidad de procesamiento.

Los tratamientos actuales suelen implicar el uso de psicoestimulantes o la realización de tareas o ejercicios cognitivos. Si bien estos tratamientos suelen ser eficaces, sus beneficios siguen siendo parciales, lo que vuelve clara la necesidad de desarrollar nuevas soluciones [3].

El avance tecnológico de los últimos años ha permitido desarrollar nuevas estrategias basadas en Interfaces Cerebro-Computadoras (BCI por sus siglas en inglés, Brain-Computer Interfaces) para la rehabilitación de una amplia variedad de afecciones, entre las cuales se encuentran las alteraciones en funciones cognitivas tales como la atención [3]. Con ese fin, el usuario se entrena en modular su actividad cerebral y desarrollar estrategias mentales que eventualmente mejoran habilidades específicas [4]. Esto se logra con la utilización de dispositivos que proporcionan información al individuo sobre el estado de su actividad cerebral mientras se desarrolla una tarea de atención [3]. La forma más común de registrar la actividad cerebral es mediante electroencefalografía (EEG) debido a su alta resolución temporal, bajo costo, portabilidad, no invasividad y seguridad.

Las BCI son sistemas a lazo cerrado que registran la actividad eléctrica cortical a través del EEG, extraen sus principales características y las transforman en señales de comando para controlar un dispositivo que brinda realimentación al usuario [5]. Implementar un sistema BCI que permita mejorar funciones cognitivas, principalmente la atención, implica una tarea desafiante debido a la complejidad en la representación neuronal de estos procesos [6].

Uno de los paradigmas más utilizados en BCIs es el basado en el P300, potencial relacionado a un evento poco frecuente que se manifiesta como una desviación positiva en el EEG aproximadamente a los 300 ms de sucedido dicho evento. Constituye una herramienta valiosa para la evaluación de funciones cognitivas como la atención y la velocidad de procesamiento [7][8]. Ha sido utilizado por primera vez en una BCI en 1988 por Farwell y Donchin quienes lo propusieron para implementar un deletreador [9]. En dicha BCI, una serie de estímulos visuales repetitivos son presentados al usuario de manera que, al atender a un único elemento deseado e ignorar el resto, se genera un P300 cuando el elemento atendido es iluminado, permitiendo al sistema BCI determinarlo [10].

Si bien las BCI basadas en P300 presentan numerosas ventajas [7], también algunos desafíos como que la modulación del P300 depende no solo de funciones cognitivas sino también de la motivación, la fatiga mental, la frustración y la ansiedad causada por errores en el rendimiento [8]. Esto vuelve necesario el desarrollo de BCI que sean fáciles de usar y mantengan la

F. S. Barreto is with the Laboratory of Rehabilitation Engineering and Neuromuscular and Sensory Research (LIRINS), Faculty of Engineering, National University of Entre Ríos, Oro Verde, E. R., Argentina. (e-mail: facubrt@outlook.com).

L. C. Carrere is with the Laboratory of Rehabilitation Engineering and Neuromuscular and Sensory Research (LIRINS), Faculty of Engineering, National University of Entre Ríos, Oro Verde, E. R., Argentina. (e-mail: carolina.carrere@uner.edu.ar).

C. B. Tabernig is with the Laboratory of Rehabilitation Engineering and Neuromuscular and Sensory Research (LIRINS), Faculty of Engineering, National University of Entre Ríos, Oro Verde, E. R., Argentina. (e-mail: carolina.tabernig@uner.edu.ar).

motivación del usuario. En este sentido, en los últimos años ha surgido un creciente interés en el desarrollo de nuevos formatos, como el uso de este tipo de BCI para el control de juegos o actividades recreativas [11][12][13]. Sin embargo, su empleo para rehabilitación de funciones cognitivas aun no ha sido explorado. En este trabajo se presenta el diseño, desarrollo y evaluación preliminar de un sistema BCI basado en P300 para rehabilitación cognitiva de adultos con déficit de atención, llamado *Cognitask*.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Potenciales Relacionados con Eventos

Los correlatos electrofisiológicos de la atención se suelen analizar a través de diferentes representaciones en los registros de EEG, entre las cuales se encuentran los potenciales relacionados a eventos, particularmente el componente P300, tal como se muestra en la Fig. 1. El P300 se genera durante un paradigma de evento poco frecuente (oddball paradigm, por su expresión en inglés), donde al sujeto se le presenta una secuencia de eventos que se pueden clasificar en dos clases, de modo que una de ellas ocurre con una probabilidad muy baja [14]. Este evento poco frecuente provoca la generación del componente P300 registrado en el EEG aproximadamente 300 ms después del inicio de un estímulo (que puede ser sonoro, visual, etc), aunque a menudo su latencia puede variar entre 250 ms y 750 ms [15]. Por otro lado, está ampliamente documentado que la amplitud del P300 varía directamente con la relevancia de los eventos desencadenantes e inversamente con la probabilidad de los estímulos [9]. Esta amplitud puede verse afectada por diferentes factores tales como la cantidad de tiempo transcurrido entre la presentación de dos estímulos, los efectos de habituación, los problemas de atención y motivación y la dificultad de la tarea [16]. Estas alteraciones en la amplitud y la latencia del P300 también pueden suceder durante el curso de diversas enfermedades neurológicas, tales como los trastornos por déficit de atención e hiperactividad, esclerosis múltiple, accidentes cerebro-vasculares o como consecuencia del deterioro cognitivo en adultos mayores [17][18][19].

B. Requisitos de Diseño

Los requisitos de diseño para el desarrollo de *Cognitask*, teniendo en cuenta su finalidad terapéutica y los requerimientos técnicos para implementarla se establecieron luego de consultar la bibliografía existente y a profesionales en el área de rehabilitación cognitiva. En función de ello se definió que el sistema:

- Permita el entrenamiento de la memoria de trabajo y la atención mediante la oferta de un conjunto de tareas o ejercicios cognitivos que el terapeuta podría elegir y diseñar.
- Proponga tareas para el ordenamiento de imágenes visuales presentadas de manera desordenada en una matriz.
- Registre el EEG con electrodos ubicados en las regiones corticales adecuadas para el registro de P300.
- Permita graduar las dificultades: unas relacionadas a la detección del P300 y otras al tipo de tarea a realizar por parte del paciente.

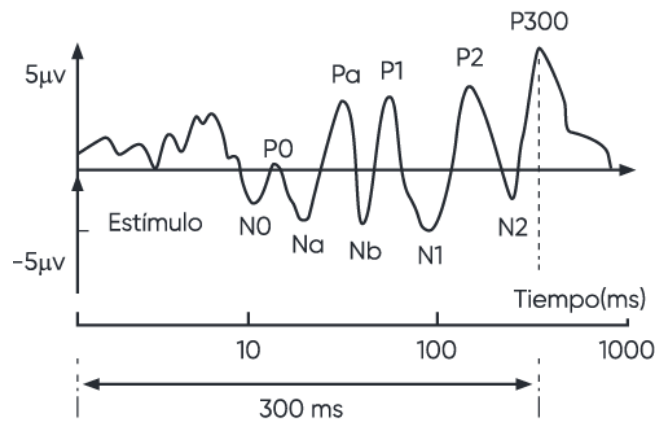


Fig. 1. Componentes de potenciales relacionados a eventos. La línea de puntos vertical indica la aparición del 300 ms luego de aplicado el estímulo.

- Permita graduar la dificultad relacionada con la detección del P300 brindando al menos tres opciones de cantidad de épocas necesarias para promediar e informar una respuesta.
- Permita que la dificultad relacionada con la tarea pueda ser propuesta por el terapeuta.
- Realice registros de calibración en un tiempo mínimo para evitar el cansancio visual del paciente.
- Ofrezca tres tipos de tareas: *Palabras*, *Sucesiones* y *Rompecabezas*.
- Brinde la opción de previsualizar el orden correcto de las imágenes, antes de comenzar con la tarea.
- Proporcione al paciente información con respecto a su progreso durante la realización de la tarea.
- Brinde al paciente mensajes que informen si su selección es correcta / incorrecta o si la tarea ha finalizado.
- Permita hasta tres intentos incorrectos de selección de imagen. Una vez superado dicho número, avance a la siguiente imagen de manera de evitar la frustración del paciente.
- Visualice y almacene información relevante sobre el desempeño del paciente.

C. Descripción del Diseño

Cognitask consta de 4 módulos, tal como se muestra en la Fig. 2. El primero adquiere y acondiciona las señales de electroencefalografía de seis electrodos ubicados en la zona fronto-central y parieto-occipital. El segundo procesa las señales, extrae los componentes P300, y genera las señales de control para el siguiente módulo. El tercero consiste en una interfaz de usuario que presenta al paciente la tarea que debe realizar. El cuarto consiste en una interfaz de usuario para el profesional, la cual permite configurar todos los parámetros de la sesión.

1) Módulo de adquisición y acondicionamiento

El módulo de adquisición y acondicionamiento comprende dos grandes bloques: uno de sensado y pre-amplificación, constituido por el amplificador; y otro de adquisición y almacenamiento, basado en la plataforma BCI2000 [20].

La adquisición de las señales de EEG se realiza a través de seis electrodos ubicados en Fz, Cz, Pz, Oz, PO7 y PO8 según el sistema internacional extendido 10-20. La elección de esta configuración responde a la distribución del P300 visual, cuya

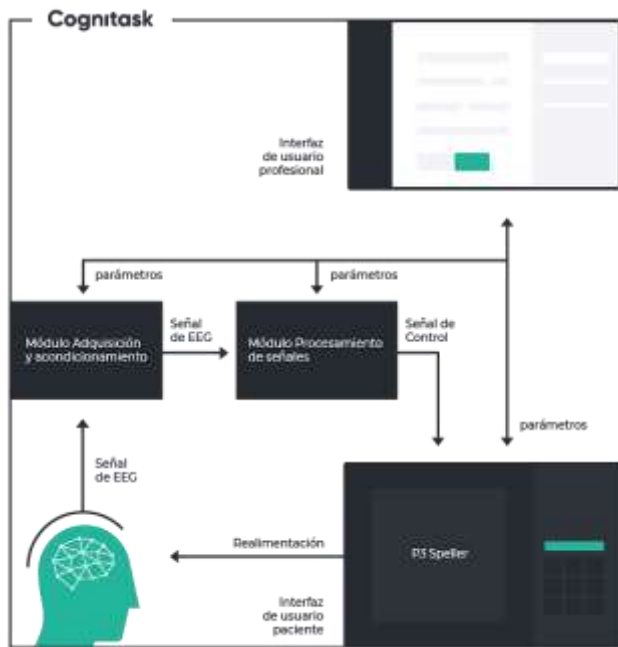


Fig. 2. Diagrama de los módulos que componen el sistema *Cognitask*.

actividad se encuentra principalmente en la región parieto-occipital y se extiende hasta regiones frontales [21]. Los electrodos de tierra y referencia se ubican en AFz y mastoides derecho, respectivamente.

Las señales de EEG son adquiridas y pre-amplificadas con una frecuencia de muestreo superior o igual a 250 Hz, y se acondicionan mediante un filtro pasa banda con frecuencias de corte inferior en 0.1 Hz y frecuencia de corte superior en 30 Hz. Un filtro notch es aplicado para eliminar el ruido de línea, el cual es de 50 Hz en Argentina.

2) Módulo de procesamiento de señales

El módulo de procesamiento de señales realiza la extracción de características y clasificación. Está constituido por la aplicación P3 Signal Processing de BCI2000.

La etapa de extracción de características filtra la señal espacial y temporalmente, dando como resultado matrices de características (una para cada fila y cada columna de la matriz de estimulación visual). El filtrado espacial se realiza mediante la aplicación de un filtro de Referencia Media Común para la eliminación del ruido común en todos los canales. El filtrado temporal se logra a través de la promediación coherente de las épocas para cada fila y columna de la matriz de estimulación visual. La promediación coherente consiste en la promediación de las muestras alineadas en el tiempo de una determinada cantidad de épocas (registros de EEG sincronizados con los estímulos visuales) [22].

La longitud de cada época para este diseño se estableció en 750 ms, a partir del instante de inicio del estímulo visual. La cantidad de épocas necesarias para promediar e informar el resultado se establecieron en 15, 10 y 7 épocas, según los niveles de dificultad relacionada con la detección del P300 propuestos en los requerimientos (inicial, intermedio y avanzado, respectivamente).

La clasificación consiste en la determinación de la celda atendida en la matriz de estimulación visual. Esta

determinación se logra identificando la columna y la fila con mayores valores de probabilidades en el vector $vect_prob$, el cual se estima a partir de la ecuación lineal (1):

$$vect_prob_k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M entrada_{ij} clasificador_{ijk} \quad (1)$$

donde $entrada$ corresponde a la matriz de características, $clasificador$ a la matriz obtenida previamente a partir de los registros de calibración y $vect_prob$ es un vector columna de probabilidades [20]. En dicha ecuación, N es igual a 6 y corresponde al número de canales de registro de EEG y M es el número de muestras de las épocas. El subíndice k es igual a la suma del número de filas y columnas de la matriz de estimulación. [20]

La matriz $clasificador$ está conformada por un conjunto de pesos que se estiman en la etapa de calibración utilizando el método Análisis Discriminante Lineal Paso por Paso (SWLDA por sus siglas en inglés, Stepwise Linear Discriminant Analysis) [20]. En un estudio realizado donde se compararon varias técnicas de clasificación, el método SWLDA resultó tener un desempeño significativamente mejor comparado con otros métodos [23].

3) Interfaz de usuario paciente

La interfaz de usuario paciente está constituida por la aplicación P3 Speller de BCI2000 y por funciones adicionales desarrolladas en Python. A través de la misma, se ofrece al paciente la posibilidad de entrenar diferentes funciones cognitivas tales como la memoria de trabajo y la atención a través de la realización de un conjunto de tareas que el profesional puede elegir y diseñar. Estas tareas son presentadas como un conjunto de imágenes ubicadas de forma aleatoria sobre la matriz de estimulación visual que el paciente debe ordenar correctamente. Para evitar el cansancio visual y la desmotivación del paciente, la matriz de estimulación posee una dimensión de 3 x 3, permitiendo de esta manera un número máximo de nueve elementos o imágenes por tarea. Las iluminaciones de cada fila y columna de la matriz poseen una duración de 62.5 ms con un intervalo entre iluminaciones de 175 ms. Esta configuración permite un mejor desempeño, según un estudio realizado donde se midieron los efectos de distintos parámetros [10].

4) Interfaz de usuario profesional

La interfaz de usuario profesional permite la comunicación con la plataforma BCI2000 para iniciar, detener, suspender, reanudar o reconfigurar el funcionamiento del sistema de manera remota. Se desarrolló utilizando el lenguaje de programación Python.

Este módulo permite al profesional ingresar el nombre del paciente y la ubicación donde se desean almacenar los datos, realizar registros de calibración utilizando tareas preestablecidas y realizar registros de terapia. De esta manera es posible graduar la dificultad relacionada con la detección del P300 a través de tres opciones de niveles (inicial, intermedio y avanzado); seleccionar entre tres tipos de tareas (*Palabras*, *Sucesiones* y *Rompecabezas*) y cargar las imágenes desde una carpeta externa. Se permite así la creación de nuevas tareas según se requiera; la previsualización del orden correcto de las

imágenes; y la carga de una matriz de clasificación obtenida previamente durante la calibración.

D. Modo de Funcionamiento

El funcionamiento de *Cognitask* implica dos etapas: la calibración y el funcionamiento con realimentación.

Durante la etapa de calibración el paciente realiza tres tareas de tipo *Palabras* de forma consecutiva. Durante la realización de estas tareas no se brinda ninguna realimentación al paciente. Una vez que estas tareas son completadas, los registros obtenidos se utilizan para entrenar el clasificador del sistema.

Durante la etapa con realimentación, el paciente puede realizar tareas de tipo *Palabras*, *Sucesiones* o *Rompecabezas*. Para esto, las filas y columnas de la matriz de estimulación son iluminadas en orden aleatorio, de manera que un P300 es evocado cuando el paciente atiende una determinada imagen de la matriz y ésta es iluminada. Si el paciente no logra seleccionar la imagen correctamente según el orden que le corresponde (por ejemplo, al comienzo de una tarea de tipo *Palabras* debe elegir la imagen que corresponde a la primera letra, luego la imagen correspondiente a la segunda, y así hasta finalizar), luego de tres intentos incorrectos consecutivos, la imagen se selecciona automáticamente y se avanza a la siguiente, de manera de evitar la frustración del paciente. En esta etapa se proporciona al paciente mensajes sobre su desempeño (por ejemplo, si la selección es correcta o no), promoviendo de esta manera la motivación y alentando el esfuerzo para completar las tareas.

Una vez que la sesión finaliza, se genera un archivo de texto (.txt) con la información más relevante de la misma (tipo de tarea realizada, fecha de sesión, duración, tasa de aciertos, etc) y se lo almacena en la carpeta correspondiente al paciente.

E. Evaluación de Funcionamiento y de Desempeño

Se realizaron dos tipos de evaluaciones: de funcionamiento y de desempeño. La primera tuvo como objetivo comprobar el funcionamiento operativo de *Cognitask* utilizando señales de entrada generadas mediante la aplicación Signal Generator de BCI2000. La segunda tuvo como objetivo evaluar de manera preliminar el desempeño de *Cognitask* en voluntarios sin déficit cognitivo.

Se instaló la aplicación de *Cognitask* en una computadora con Windows 10 y se ejecutó según las instrucciones de su manual de usuario (disponible en el Apéndice). Se utilizó el amplificador g.Nautilus Research de la empresa g.tec medical engineering [24].

Para la primera evaluación, se observó el funcionamiento del sistema y se relevó el cumplimiento de los requerimientos de diseño establecidos.

Para la evaluación de desempeño, se convocó a tres voluntarias con edades entre 18 y 43 años sin déficit cognitivo, quienes brindaron su consentimiento informado para participar del estudio.

Se instruyó a cada voluntaria sobre el modo de funcionamiento de *Cognitask* y las actividades que deberían realizar. Posteriormente, se ubicó a la voluntaria frente a una pantalla que presentaba la *Interfaz de usuario paciente*, y se realizó una sesión de evaluación por cada voluntaria. La sesión consistió en dos etapas: una de calibración y otra con

realimentación. Antes de comenzar se le dio a la voluntaria la consigna de que centre su mirada en la celda que desee escoger para completar la tarea asignada. También se le indicó que pestañee lo mínimo posible durante las tareas, no se mueva y no hable.

Durante la etapa de calibración, cada voluntaria realizó los registros de calibración indicados en el manual de usuario (disponible en el Apéndice). Luego se generó el archivo de calibración necesario para la etapa con realimentación.

Durante la etapa con realimentación, cada voluntaria realizó una serie de pruebas con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema ante situaciones diferentes. Las pruebas que se realizaron consistieron en:

Prueba 1: realizar dos veces una misma tarea utilizando diferentes niveles de dificultad relacionada con la detección del P300. El objetivo fue observar el impacto en el desempeño del sistema cuando se utilizan niveles de dificultad diferentes.

Prueba 2: realizar dos tareas de diferente tipo utilizando el mismo nivel de dificultad relacionada con la detección del P300. El objetivo fue observar el impacto en el desempeño del sistema cuando se utilizan diferentes tipos de tarea.

Prueba 3: realizar dos veces una misma tarea utilizando el mismo nivel de dificultad relacionada con la detección del P300 mientras se provocan interrupciones. El objetivo fue simular una atención disminuida y observar su impacto en el desempeño del sistema.

Prueba 4: realizar dos veces una misma tarea, primero de manera correcta, y luego concentrándose en una imagen diferente a la que debe elegir, con el objetivo de observar la importancia de la atención visual y participación del paciente para realizar correctamente las tareas.

Como indicador de desempeño del sistema, en ambas etapas, se estimó la tasa de aciertos [25].

III. RESULTADOS

A. Evaluación de Funcionamiento

Como primer resultado, se comprobó la correcta instalación y ejecución de *Cognitask* y su comunicación con BCI2000. Un video donde se muestra el funcionamiento operativo del sistema puede encontrarse accediendo al enlace de la página web (disponible en el Apéndice). Una vez iniciado el sistema, lo primero que se observa es la *Interfaz de usuario profesional*.

La página *Nueva sesión* presenta la opción de iniciar una sesión indicando el paciente y la carpeta donde se desean guardar todos los datos (Fig. 3).

La página *Calibración* permite realizar tres registros de calibración con tareas preestablecidas para entrenar el clasificador.



Fig. 3. Página Nueva sesión de la Interfaz de usuario profesional.

La página *Terapia* presenta al profesional los parámetros que pueden ser configurables para realizar una terapia de rehabilitación cognitiva utilizando P300.

Se verificó la correcta comunicación y funcionamiento de la *Interfaz de usuario paciente* (Fig. 4), la cual se presenta cuando se inicia una determinada tarea.

Se verificó que el sistema respondiera adecuadamente según las selecciones realizadas por el paciente (en este caso, las selecciones realizadas por un dispositivo de entrada). También se verificó que fuera posible configurar y llevar a cabo una sesión completa sin inconvenientes.

Esta evaluación se realizó tanto para la calibración como también para para cada uno de los tipos de tarea posibles en la etapa con realimentación: *Palabras*, *Sucesiones* y *Rompecabezas*.

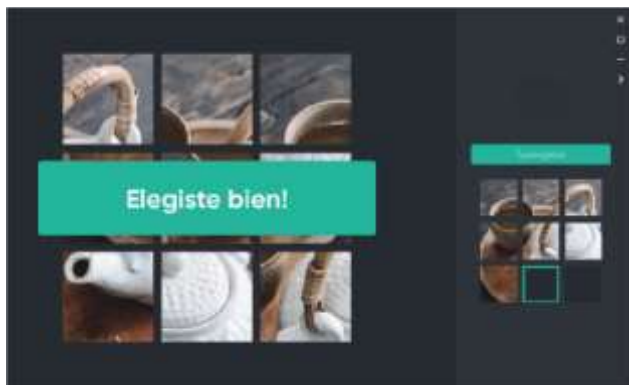


Fig. 4. Interfaz de usuario paciente con el tipo de tarea *Rompecabezas*.

B. Pruebas de Desempeño

En la Fig. 5 se observa una de las voluntarias utilizando *Cognitask* durante la realización de una de las pruebas de la evaluación de desempeño. Un video donde se muestra el funcionamiento del sistema durante la realización de una prueba por parte de una voluntaria puede encontrarse accediendo al enlace de la página web (disponible en el Apéndice).

La Tabla I muestra la tasa de acierto como indicador de desempeño obtenida para cada una de las voluntarias durante la etapa de calibración.

La Tabla II muestra los indicadores de desempeño obtenidos para cada una de las voluntarias durante la etapa con realimentación.



Fig. 5. Fotografía de una de las voluntarias durante la realización de una tarea. (A) Amplificador g.Nautilus Research (B) Monitor con la Interfaz de usuario paciente. (C) estación base g.Nautilus conectada a la computadora portátil vía USB. (D) Computadora portátil con la Interfaz de usuario profesional.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se presentó el diseño, desarrollo y evaluación preliminar de un sistema BCI basado en P300, llamado *Cognitask*, para ser utilizado en una terapia de rehabilitación cognitiva de pacientes adultos con déficit cognitivo. El mismo es una versión modificada del deletreador basado en P300 propuesto por Farwell y Donchin en 1988 [9] y fue desarrollado utilizando la plataforma BCI2000 y el lenguaje de programación Python. Permite presentar una gran variedad de tareas para el entrenamiento de la atención y la memoria de trabajo. Durante la realización de una tarea, el paciente debe ordenar un conjunto de imágenes presentadas de forma desordenada en una matriz de estimulación visual para completar una palabra, secuencia o figura determinada según el tipo de tarea utilizado.

Si bien en los últimos años han surgido diferentes diseños basados en el deletreador BCI por P300, muy pocos han sido utilizados para la rehabilitación de funciones cognitivas [8]. La finalidad de entrenar la atención y la memoria de trabajo a través del paradigma P300 de *Cognitask* constituye un aspecto novedoso con respecto a estos trabajos. Además, *Cognitask* incorpora elementos de juegos y permite la utilización de diferentes tipos de tareas completamente personalizables para motivar al paciente durante la rehabilitación de sus funciones cognitivas, algo que hasta ahora no se ha hecho.

La evaluación de funcionamiento operativo mostró resultados positivos. Se cumplieron todos los requerimientos de diseño establecidos y el sistema funcionó de acuerdo a lo esperado. Permitted una correcta comunicación con la plataforma BCI2000 a través de una interfaz agradable para el usuario profesional y la configuración de todos los parámetros necesarios para llevar a cabo una sesión de rehabilitación.

Se realizó la evaluación de desempeño en voluntarias sin déficit cognitivo simulando distintas situaciones de desconcentración y fue preliminar dado el reducido tamaño de la muestra. Comprendió dos etapas: una etapa de calibración y una con realimentación. Los modelos de clasificación entrenados para V2 y V3 utilizando los registros de calibración lograron un desempeño elevado (V2: 100% y V3: 92%), mientras que para V1 el desempeño fue inferior (V1: 50%).

La etapa con realimentación, si bien se trató de una evaluación preliminar, permitió observar resultados interesantes para cada una de las pruebas que se realizaron.

En la Prueba 1 el desempeño promedio fue de 92% para el nivel inicial (con 15 estimulaciones de filas / columnas), y 84% para el nivel avanzado (con 7 estimulaciones de filas / columnas). Estos resultados se encuentran en línea con los obtenidos por otros autores [8][10]. Los resultados de V1 indicaron una disminución en el desempeño cuando el nivel de dificultad para detección del P300 fue superior (es decir, cuando la cantidad de estímulos necesarios para promediar e informar un resultado fue menor). El desempeño de V2 y V3, por otro lado, no cambió cuando los niveles se modificaron. Esto puede deberse al buen desempeño que estas voluntarias obtuvieron durante la calibración, comparado con el desempeño inferior obtenido por V1 (50%). Es de destacar la importancia de lograr una buena calibración para alcanzar resultados óptimos durante el funcionamiento del sistema con realimentación.

En la prueba 2 el desempeño promedio fue de 100% para el

TABLA I
DESEMPEÑO DE *COGNITASK* DURANTE LA ETAPA DE CALIBRACIÓN.

Calibración	V1	V2	V3
% aciertos	50	100	92

los estímulos visuales, o atender los estímulos equivocados afectan en gran medida el desempeño.

Es importante destacar también que a partir del procesamiento de los registros generados por el uso de *Cognitask* se podrían obtener biomarcadores basados en el EEG, como la amplitud o latencia del P300, los cuales podrían ser utilizados para evaluar los efectos de una intervención terapéutica basada en *Cognitask* o como herramienta diagnóstica complementaria.

Los resultados obtenidos mostraron que *Cognitask* cumple con los requerimientos de diseño establecidos, por lo cual como

TABLA II
TASA DE ACIERTO (% ACIERTOS) DURANTE LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE DESEMPEÑO

		V1		V2		V3		Promedio	
Prueba 1	Nivel	Inicial	Avanzado	Inicial	Avanzado	Inicial	Avanzado	Inicial	Avanzado
	% aciertos	86	62	90	90	100	100	92	84
Prueba 2	Tipo de tarea	<i>Palabras</i>	<i>Sucesiones</i>	<i>Palabras</i>	<i>Sucesiones</i>	<i>Palabras</i>	<i>Sucesiones</i>	<i>Palabras</i>	<i>Sucesiones</i>
	% aciertos	62	100	-	-	56	100	59	100
Prueba 3	Distracción	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
	% aciertos	100	75	90	41	56	56	82	57.3
Prueba 4	Atencion visual	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
	% aciertos	100	13	-	-	56	12	78	12.5

tipo de tareas *Sucesiones*, mientras que para el tipo de tareas *Palabras* se obtuvo un desempeño de 59%. Tanto los resultados de V1 como los de V3 parecen indicar una mayor dificultad relacionada con la tarea cuando es de tipo *Palabras*, comparada con las tareas de tipo *Sucesiones*. Estos resultados, lejos de brindar un orden o comprensión de las dificultades según el tipo de tarea, permiten observar el hecho de que utilizar diferentes tipos de tarea puede resultar beneficioso para el profesional ya que su complejidad puede variar según su extensión, tipo, campo semántico, etc.

En la prueba 3 el desempeño promedio cuando no se realizaron interrupciones fue de 82%, mientras que cuando se realizaron interrupciones fue de 57.3%. Los resultados obtenidos por V1 y V2 indican que la atención es fundamental para evocar un P300 y así obtener un buen desempeño del sistema. Esto reviste especial importancia si se tiene en cuenta que una disminución de la atención debido a un déficit cognitivo o bien debido a distracciones externas pueden afectar en gran medida el desempeño. El desempeño de V3 no presentó cambios a pesar de las interrupciones.

En la prueba 4 el desempeño promedio fue de 78% y 12.5% cuando se atendía a la tarea y cuando no, respectivamente. Estos resultados indican que la atención visual es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema, mientras que no observar

trabajos futuros se propone llevar a cabo evaluaciones de funcionamiento y desempeño del sistema más exhaustivas que incluyan un número mayor de voluntarios, de modo que los resultados puedan ser generalizados. Por otra parte, también realizar pruebas en pacientes adultos con déficit cognitivo para su transferencia al ámbito de salud.

APÉNDICE

[Página web *Cognitask*](#) [Manual de usuario *Cognitask*](#)

REFERENCIAS

- [1] R. Pais, L. Ruano, O. P. Carvalho, and H. Barros, "Global cognitive impairment prevalence and incidence in community dwelling older adults—a systematic review," *Geriatrics (Switzerland)*, vol. 5, no. 4. MDPI AG, pp. 1–16, Dec. 01, 2020.
- [2] C. Zurique Sánchez et al., "Prevalence of dementia in the elderly in Latin America: A systematic review," *Revista Espanola de Geriatria y Gerontologia*, vol. 54, no. 6. Ediciones Doyma, S.L., pp. 346–355, Nov. 01, 2019.
- [3] M. Ordikhani-Seyedlar and M.A. Lebedev, "Controlling attention with neurofeedback". In *The Physics of the Mind and Brain Disorders*, Springer, Cham, pp. 545-572, 2017.
- [4] B. Zoefel, R. J. Huster, and C. S. Herrmann, "Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance". *NeuroImage*, vol. 54(2), pp. 1427–1431, 2011.

- [5] J. R. Wolpaw, J. del R. Millán, and N. F. Ramsey, "Brain-computer interfaces: Definitions and principles," *Handb. Clin. Neurol.*, vol. 168, pp. 15–23, 2020.
- [6] M. Ordikhani-Seyedlar, M. A. Lebedev, H. B. D. Sorensen, and S. Puthusserypady, "Neurofeedback therapy for enhancing visual attention: State-of-the-art and challenges," *Front. Neurosci.*, vol. 10, no. AUG, 2016.
- [7] E. W. Sellers, Y. Arbel, and E. Donchin, "BCIs That Use P300 Event-Related Potentials," *Brain-Computer Interfaces Princ. Pract.*, May 2012.
- [8] M. Arvaneh, I. H. Robertson, and T. E. Ward, "A P300-Based Brain-Computer Interface for Improving Attention," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 12, Jan. 2019.
- [9] L. A. Farwell and E. Donchin, "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials," *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 70, no. 6, pp. 510–523, 1988.
- [10] E. W. Sellers, D. J. Krusienski, D. J. McFarland, T. M. Vaughan, and J. R. Wolpaw, "A P300 event-related potential brain-computer interface (BCI): The effects of matrix size and inter stimulus interval on performance," *Biol. Psychol.*, vol. 73, no. 3, pp. 242–252, 2006.
- [11] G. Pires, M. Torres, N. Casaleiro, U. Nunes, and M. Castelo-Branco, "Playing Tetris with non-invasive BCI," 2011 IEEE 1st Int. Conf. Serious Games Appl. Heal. SeGAH 2011, 2011.
- [12] A. Y. Kaplan, S. L. Shishkin, I. P. Ganin, I. A. Basyul, and A. Y. Zhigalov, "Adapting the P300-based brain-computer interface for gaming: A review," *IEEE Trans. Comput. Intell. AI Games*, vol. 5, no. 2, pp. 141–149, 2013.
- [13] J. I. Münbinger et al., "Brain painting: First evaluation of a new brain-computer interface application with ALS-patients and healthy volunteers," *Front. Neurosci.*, vol. 4, no. NOV, 2010.
- [14] E. Donchin and M. G. H. Coles, "Is the P300 component a manifestation of context updating?," *Behav. Brain Sci.*, vol. 11, no. 3, pp. 357–374, 1988.
- [15] M. Kutas, G. McCarthy, and E. Donchin, "Augmenting mental chronometry: The p300 as a measure of stimulus evaluation time," *Science (80-)*, vol. 197, no. 4305, pp. 792–795, 1977.
- [16] P. Cipresso et al., "The use of P300-based BCIs in amyotrophic lateral sclerosis: From augmentative and alternative communication to cognitive assessment," *Brain Behav.*, vol. 2, no. 4, pp. 479–498, Jul. 2012.
- [17] R. Dinteren, M. Arns, M. L. A. Jongsma, and R. P. C. Kessels, "P300 development across the lifespan: A systematic review and meta-analysis," *PLoS One*, vol. 9, no. 2, Feb. 2014.
- [18] M. Zwecker, I. Sarova, M. Lavie, G. Zeilig, and A. Achiron, "Detection of Cognitive Impairment in Multiple Sclerosis Based on P300 Event-Related Potential," *Int. J. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 06, no. 04, 2018.
- [19] S. Jiang et al., "Using event-related potential P300 as an electrophysiological marker for differential diagnosis and to predict the progression of mild cognitive impairment: a meta-analysis," *Neurol. Sci.*, vol. 36, no. 7, pp. 1105–1112, Jul. 2015.
- [20] G. Schalk and J. Mellinger. *A practical guide to brain-computer interfacing with BCI2000: General-purpose software for brain-computer interface research, data acquisition, stimulus presentation, and brain monitoring*. Springer-Verlag London, 2010.
- [21] D. J. Krusienski, E. W. Sellers, D. J. McFarland, T. M. Vaughan, and J. R. Wolpaw, "Toward enhanced P300 speller performance," *J. Neurosci. Methods*, vol. 167, no. 1, pp. 15–21, 2008.
- [22] R. C. Acevedo, G. G. Gentiletti, J. A. Aldonate, Y. V. Atum, J. B. Manresa, C. E. Bonell, ... & M. A. Richard, "Técnicas para Detección y Estimación Eficiente de Potenciales Evocados". *Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento*, vol. 8, no. 8, Dec. 2018
- [23] D. J. Krusienski et al., "A comparison of classification techniques for the P300 Speller," *J. Neural Eng.*, vol. 3, no. 4, Dec. 2006.
- [24] "g.NAUTILUS RESEARCH | Wearable EEG Headset | g.tec medical engineering GmbH." <https://www.gtec.at/product/gnautilus-research/> (accessed Jul. 20, 2021).
- [25] F. Barreto, "Desarrollo de una BCI para rehabilitación cognitive en adultos con deficit de atención," tesis de grado, Universidad Nacional de Entre Ríos, Oro Verde, Argentina, 2021.



Facundo S. Barreto received the B.S. degree in Bioengineering from National University of Entre Ríos, Argentina, in 2021.



L. Carolina Carrere received the B.S. degree in Bioengineering and, then, the Master degree in Biomedical Engineering from the National University of Entre Ríos, Argentina. She is currently pursuing the Ph.D. degree in engineering at National University of Entre Ríos. She is Researcher at Rehabilitation Engineering and Neuromuscular Research Lab and

Assistant Professor of Multivariable Calculus and Differential Equations and Solids Mechanics at the graduate program in Bioengineering at the Faculty of Engineering, National University of Entre Ríos. She has published several scientific articles in bioengineering.



Carolina B. Tabernig received the B.S. degree in Bioengineering; the Master degree in Biomedical Engineering and the Ph.D. degree in engineering from the National University of Entre Ríos, Argentina. In 2018, she earned the price of better doctoral thesis from Argentinean Society of Bioengineering. She is currently Researcher at Rehabilitation Engineering

and Neuromuscular Research Lab and Professor of Rehabilitation and Therapy Equipment at the graduate program in Bioengineering at the Faculty of Engineering, National University of Entre Ríos. She has published many scientific articles in bioengineering and she is reviewer of many international journals of biomedical engineering.