

Desarrollo y aplicaciones de Interfaces Cerebro-Computadora para neuro-rehabilitación

Carolina B. Tabernig; Lucía C. Carrere, Rubén C. Acevedo, Eduardo Filomena, Diana C. Vertiz del Valle

Autores: Grupo de Ingeniería en Rehabilitación - Centro de Ingeniería en Rehabilitación e Investigaciones Neuro-musculares y Sensoriales (CIRINS) - Departamento Bioingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta provincial 11, km 10 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

Contacto: carolina.tabernig@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/ri3pe5bv0>

Resumen:

Las personas con lesiones en el sistema nervioso, tales como con esclerosis múltiple, accidentes cerebrovasculares o con déficit de atención, suelen padecer secuelas motoras o cognitivas que afectan su calidad de vida. Dentro de las estrategias rehabilitadoras para estos pacientes se encuentran los sistemas basados en videojuegos y la estimulación eléctrica funcional (FES) que logra o asiste el movimiento a través de la aplicación de estímulos eléctricos. Las interfaces cerebro-computadora (BCI) constituyen otra alternativa para la neuro-rehabilitación. Una BCI es un sistema que, en tiempo real, registra y procesa el electroencefalograma (EEG) para convertirlo en una salida de comando de un actuador que brinda realimentación sensorial al usuario.

En este proyecto se exploraron los cambios que se producen en la señal de EEG durante un intento motor o cognitivo, a los efectos de identificar características del EEG que reflejan esos cambios y que, por ende, puedan utilizarse para el desarrollo de BCIs o como biomarcadores de intervenciones terapéuticas.

También se desarrollaron y evaluaron 4 BCIs para neuro-rehabilitación. Dos de ellas detectan la desincronización relacionada al evento motor: una es portátil y la otra inalámbrica. Con esta última, y usando un FES como actuador, se comprobó preliminarmente su eficacia para la rehabilitación de la marcha en esclerosis múltiple. Una tercera detecta los cambios en la actividad de las bandas theta y beta, y comanda de manera continua un videojuego serio. Su usabilidad fue evaluada bajo la norma ISO 9241-11:2018 en voluntarios sanos y su uso en voluntarios con déficit de atención, todos adolescentes y de manera exitosa. Por último, se desarrolló una BCI basada en el potencial evocado P300 para rehabilitación cognitiva.

Palabras clave: Interfaces Cerebro-Computadora, Estimulación Eléctrica Funcional, Rehabilitación, Disfunción motora, Déficit cognitivo

Objetivos propuestos y cumplidos

Durante la ejecución del Proyecto de investigación se han propuesto y cumplido los siguientes objetivos:

General:

Desarrollar y evaluar el uso de interfaces cerebro-computadora para neuro-rehabilitación.

Particulares:

- Explorar los cambios que se producen en la señal de EEG en voluntarios con y sin secuelas neurológicas ante consignas motoras o cognitivas.
- Desarrollar una BCI inalámbrica para proveer realimentación intrínseca al usuario por medio de estimulación eléctrica
- Desarrollar una BCI para proveer realimentación extrínseca al usuario por medio de videojuegos realistas
- Evaluar el uso de las BCIs desarrolladas en pacientes con secuelas motoras o cognitivas
- Diseñar, desarrollar y realizar una evaluación preliminar de una BCI portátil para neuro-rehabilitación

- Marco teórico y metodológico (síntesis)

La capacidad de adaptación y aprendizaje del sistema nervioso (SN) ha promovido el desarrollo de tecnologías para neuro-rehabilitación que facilitan la reorganización funcional de personas con déficits cognitivos y atencionales, o luego de una lesión neurológica como las producidas por lesiones medulares, los accidentes cerebrovasculares (ACV) o la esclerosis múltiple (EM), entre otras. Las secuelas de estas patologías pueden ser motoras, sensoriales y/o cognitivas. En este sentido, distintas terapias de rehabilitación generan estímulos sensoriales y motores a través de la repetición de movimientos y su incorporación a las actividades de la vida diaria; favoreciendo la plasticidad del SN dependiente de la actividad. Estas estrategias de rehabilitación pueden ser encaradas desde el SN periférico (SNP) o desde el central (SNC).

Dentro de las estrategias que se encaran desde el SNP se encuentra la estimulación eléctrica funcional (FES, del inglés Functional Electrical Stimulation) que logra o asiste el movimiento del miembro afectado a través de la aplicación de estímulos eléctricos a nervios mixtos eferentes para la activación directa de las unidades motoras o a nervios sensitivos aferentes para evocar el reflejo de retirada. La FES es una técnica de neuro-rehabilitación que se aplica para la restitución de la funcionalidad perdida de miembros paralizados. Plantea el comando voluntario por parte del paciente de un estimulador eléctrico de características especiales para la activación del sistema neuromuscular afectado. En pacientes con secuelas por lesiones del SNC se la usa en miembro superior para restaurar la prensión o liberación de objetos y en miembro inferior para la bipedestación y marcha de lesionados medulares o para asistir la dorsiflexión del pie caído durante la fase de balanceo de la marcha. (Doucet et al., s. f.; Marquez-Chin & Popovic, 2020; Molina et al., 2020).

Para encarar la rehabilitación desde la activación del SNC pueden utilizarse las interfaces cerebro-computadora (BCI, del inglés Brain Computer Interface) (Carrere et al., 2022; Pichiorri & Mattia, 2020), las cuales constituyen "un sistema que registra la actividad del SNC y la convierte en una salida artificial que reemplaza, restaura, aumenta,

suplementa o mejora la salida natural del SNC y por lo tanto cambia las interacciones presentes entre el SNC y su entorno externo o interno” (Wolpaw et al., 2020).

Según Gentiletti, Tabernig, y Acevedo (2007), y tal como se muestra en la Figura 1, los componentes principales de una BCI son:

- **Usuario:** es la persona que controla el dispositivo conectado a la BCI y quien modifica intencionalmente su estado cerebral con el objetivo de generar la señal de comando.
- **Electrodos:** su función es la de sensar la actividad eléctrica cerebral del usuario.
- **Adquisición y acondicionamiento:** en este bloque adquiere, amplifica y filtra la señal de electroencefalografía (EEG) sensada.
- **Extracción de características:** transforma la señal acondicionada en valores de características, intentando captar en sus variaciones al mecanismo neurológico subyacente.
- **Clasificación:** asigna las señales eléctricas registradas (o sus características extraídas) correspondientes a un determinado estado cerebral del usuario, con una determinada salida (usualmente discreta) que será aplicada a la interfaz de control y que constituye la señal de comando.
- **Interfaz de Control:** traduce las señales lógicas de control en señales semánticas de control que son apropiadas para el tipo particular de dispositivo a controlar.
- **Controlador:** traduce las señales semánticas de control provenientes del clasificador/traductor en las señales físicas de control requeridas por el dispositivo.
- **Dispositivo:** es el actuador (software o hardware) que puede producir, asistir o simular un movimiento y/o brindar información sensorial que es realimentada al usuario y cierra el lazo a través de la activación de distintas aferencias sensoriales. Puede ser un estimulador FES, una animación computarizada, un videojuego, un exoesqueleto, etc.

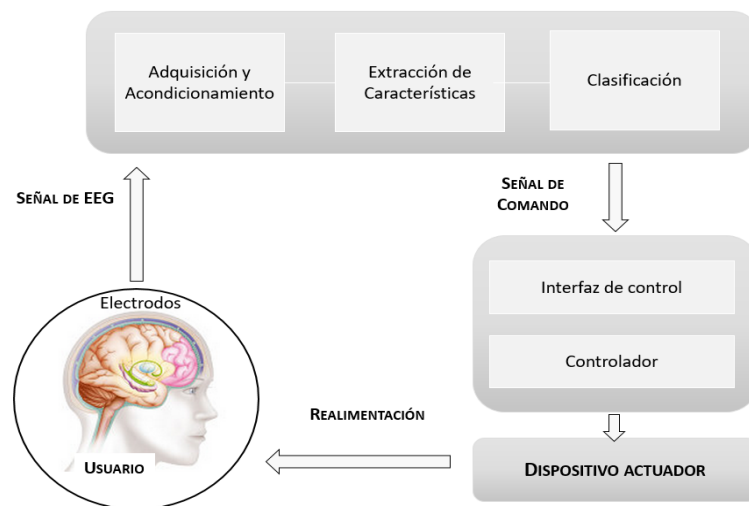


Figura 1: Diagrama en bloques de una BCI. Los electrodos que registran el EEG proveniente de la actividad cerebral del usuario, el bloque de adquisición de adquisición y acondicionamiento, el de extracción de características y el clasificador que genera la señal de comando, la cual es transferida a los bloques que realizan la interfaz y el control con el dispositivo actuador. Éste finalmente brinda realimentación al usuario activando distintas aferencias sensoriales.

Daly y Wolpaw (2012) propusieron dos tipos de estrategias de rehabilitación basadas en BCI para promover la neuroplasticidad desde el SNC y recuperar funciones. Una generalización de dicha propuesta se muestra en la Figura 2. En la primera de ellas (Figura 2 (a)), se clasifican las características extraídas del EEG y se genera la señal de control que activa un dispositivo software (por ejemplo, un avatar animado por realidad virtual o el movimiento del cursor) y se usa esa acción como realimentación para entrenar a los pacientes en lograr una actividad cerebral determinada. La hipótesis es que la plasticidad que induce esta actividad restablecerá la función del SNC y, por lo tanto, mejorará el control motor o la función cognitiva afectada (o tenderá a ello). La realimentación brindada al usuario es del tipo extrínseca.

La segunda estrategia mostrada en la Figura 2 (b), utiliza características específicas de la actividad cerebral, registrada a través del EEG, para activar un dispositivo hardware (por ejemplo, un estimulador FES o un exoesqueleto) que ayuda o produce el movimiento, compensando el deterioro del control neuromuscular del paciente durante las tareas motoras. La realimentación brindada al usuario es intrínseca ya que es generada por las aferencias sensoriales del SNP (táctil, propioceptiva, auditiva y/o visual) presentes durante la ejecución de las tareas motoras por parte del mismo paciente-usuario.

En ambos casos la información sensorial, generada desde el SNP, llega al SNC y cierra el lazo con el usuario. Se busca de esta manera, y con el entrenamiento asiduo y repetitivo, contribuir a la restauración de las funciones neurológicas afectadas, Figura 2 (c).

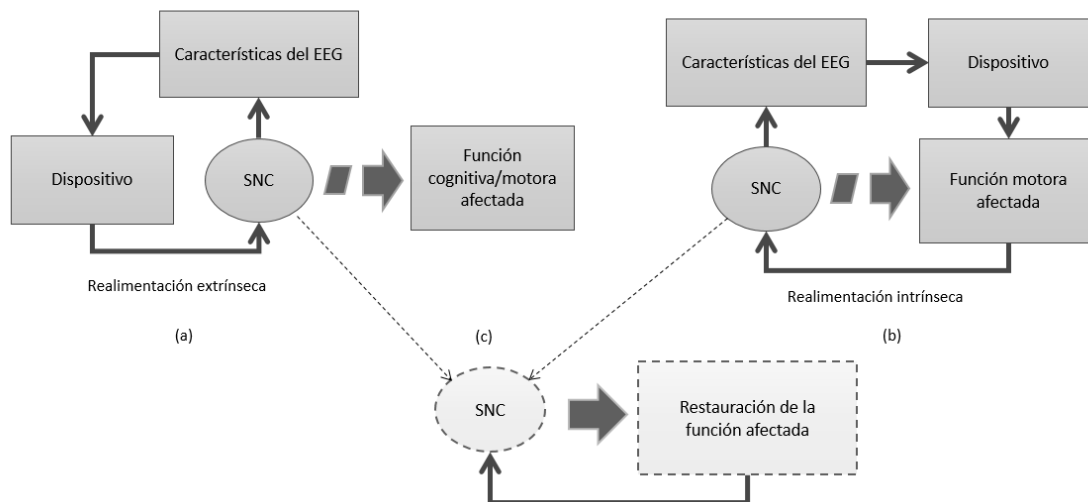


Figura 2: Estrategias basadas en BCI para promover la neuroplasticidad del SNC, a través de información generada en el SNP: (a) el dispositivo brinda información al usuario para que controle su actividad cerebral de manera de cumplir con un objetivo; (b) el dispositivo realiza o asiste la realización del movimiento y es el propio movimiento el que provee de información sensorial al usuario; (c) en ambos casos la información sensorial llega al SNC y cierra el lazo con el usuario, intentando contribuir a la restauración de las funciones neurológicas afectadas. Modificado de Daly y Wolpaw (2012).

Durante una intención motora o cognitiva, se producen cambios en la corteza cerebral manifestados e identificables en la señal de EEG; tales como la desincronización relacionada a evento (ERD, del inglés Event Related Desynchronization o la razón en-

tre la actividad theta y la actividad beta (razón theta/beta, RTB), entre otros. La ERD es la disminución en la potencia de la señal de EEG respecto al estado de reposo, en los ritmos sensoriomotores (μ : 8 a 12 Hz y beta: 13 a 30 Hz) de la señal de EEG. La ERD puede ser identificada incluso en personas con secuelas motoras por un daño en la corteza cerebral (Biasiucci et al., 2018; Leocani et al., 2005; Tabernig, 2018; Tabernig et al., 2018; Vázquez-Marrufo et al., 2019); pero el estudio de su comportamiento en pacientes neurológicos es escaso o nulo al día de hoy, en especial en pacientes con EM, lo cual se ha explorado en este Proyecto.

Muchas de las personas con afecciones del SNC padecen también déficit de atención ya que presentan actividad cerebral disminuida en la región frontal y medial de su corteza cerebral, lo que se manifiesta en el EEG como una menor amplitud del ritmo beta y mayor del ritmo theta, respecto al de las personas sanas. Estos ritmos alterados se manifiestan tanto en el reposo como realizando tareas cognitivas de atención o que conlleven esfuerzos mentales (El-Sayed et al., 2002). Se propuso la RTB como una de las características más discriminativas del EEG ya que permite identificar las señales pertenecientes a personas con déficit de atención, por lo que distintos autores propusieron la RTB como un indicador del procesamiento del SNC (Clarke et al., 2019). El uso de éstos y otros indicadores en sistemas BCI para neuro-rehabilitación cognitiva es incipiente y el análisis de sus comportamientos en distintas patologías casi nulo.

Por otro lado, uno de los primeros paradigmas utilizados en BCIs es el basado en el P300, potencial evocado 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 (Arvaneh et al., 2019; Sellers et al., 2012). Si bien las BCI basadas en P300 presentan numerosas ventajas (Sellers et al., 2012), 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 (Arvaneh et al., 2019). Esto vuelve necesario el desarrollo de BCIs que sean fáciles de usar y mantengan la 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 (Kaplan et al., 2013; MünBinger et al., 2010; Pires et al., 2011). 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 aparición de los estímulos (Farwell&Donchin, 1988). 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 (Cipresso et al., 2012). Las alteraciones en la amplitud y la latencia del P300 también pueden suceder durante el curso de diversas enfermedades neurológicas, tales como en los trastornos por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), EM, ACV o como consecuencia del deterioro cognitivo en adultos mayores (Jiang et al., 2015; van Dinteren et al., 2014; Zwecker et al., 2018). El empleo de BCIs basadas en P300 para rehabilitación de funciones cognitivas fue explorado por primera vez en este Proyecto de investigación.

Aplicaciones de BCI para neuro-rehabilitación

Para la recuperación de la función motora del miembro superior de personas que

han sufrido un ACV, las BCI han sido ampliamente estudiadas. Con realimentación intrínseca por FES, se han reportado los primeros estudios clínicos en pacientes crónicos (Biasiucci et al., 2018; Cervera et al., 2018; Tabernig et al., 2018). Pero poco se ha estudiado el efecto de un estímulo nociceptivo evocado por FES como realimentación intrínseca en un sistema BCI, lo cual fue investigado en este Proyecto (Tabernig et al., 2021).

Respecto a las estrategias de neuro-rehabilitación de pacientes con EM, sólo se han encontrado estudios recientes que reportaron la capacidad de reorganización estructural y funcional del SN de pacientes con EM con intervenciones terapéuticas convencionales (Bonzano et al., 2019; Lipp&Tomassini, 2015), demostrando la factibilidad de inducir plasticidad neuronal en EM. No se han encontrado publicaciones respecto de la aplicación de BCI para la neuro-rehabilitación en EM. Por este motivo, en este Proyecto se desarrolló una BCI basada en ERD con FES para rehabilitación de la marcha de personas con EM y su eficacia se evaluó en un estudio clínico preliminar (Carrere et al., 2021).

Por otro lado, con el objetivo de neuro-rehabilitación cognitiva, en particular para pacientes con TDAH, se han reportado intervenciones terapéuticas que buscan normalizar la actividad cerebral a través de la modulación de los ritmos patológicos del EEG, utilizando la RTB como un indicador del nivel de atención del paciente sobre la tarea que está realizando (Israsena et al., 2015; Leins et al., 2007). En una revisión llevada adelante por Ordikhani-Seyedlar y Lebedev (2018), se describen dos investigaciones de interés. En una de ellas se reportó la aplicación exitosa de una terapia basada en BCI utilizando la RTB del EEG de pacientes con TDAH. En el otro estudio se realizó un análisis de la aplicación de terapias basadas en BCI a 146 pacientes con TDAH, las cuales demostraron una mejora en los síntomas luego de las mismas. En estos casos, la realimentación extrínseca brindada por estos sistemas fue realizada a través de animaciones computarizadas poco realistas. Se sabe que la realimentación influye en la concentración, la motivación del sujeto y además debe estar relacionada con la tarea específica, a fin de promover la plasticidad neuronal y/o la sociabilización y otros objetivos terapéuticos perseguidos (Jeunet et al., 2016). No se han encontrado videojuegos realistas (“seriousgames”) que sean comandados por BCI para rehabilitación cognitiva y que brinden en tiempo real un feedback real relacionado con el nivel de concentración del usuario, por ejemplo a través de la RTB; lo cual fue desarrollado, evaluado y probado durante la ejecución del presente Proyecto (Aguilar Gonzales et al., 2022)

Resumen de la metodología empleada:

Las actividades y metodologías originalmente planteadas sufrieron modificaciones por las restricciones sanitarias impuestas por la pandemia COVID19.

Teniendo en cuenta que los 2 primeros años de ejecución del Proyecto (2020 y 2021) no se habilitaron las actividades presenciales en la Universidad, durante ellos se avanzó en el procesamiento de las señales de EEG ya registradas, en el desarrollo de las BCIs y en la elaboración de artículos para su publicación.

La metodología de desarrollo tecnológico tuvo que adaptarse a las posibilidades del trabajo en el hogar, por lo cual cada tesista o integrante fue desarrollando parte de los módulos de una BCI y probándolos con señales de EEG ya registradas o con un amplificador de biopotenciales que se pudo disponer. Dichas pruebas fueron monitoreadas en forma virtual -utilizando meet- por la directora y/o co-directora del Proyecto. A fines

del 2021, ya se pudieron enlazar todos los módulos y probar de manera preliminar en el laboratorio, siguiendo las recomendaciones sanitarias del momento.

En los 2 últimos años (2022 y 2023), ya con las actividades presenciales habilitadas, las tareas de investigación estuvieron enfocadas a las pruebas de uso y eficacia preliminar en los voluntarios, para lo cual se elaboraron y pusieron a punto los protocolos y los permisos de los Comités de ética correspondientes.

Con el objetivo de evaluar los efectos terapéuticos de las BCIs en EM se trabajó con la Fundación Rosarina de Neurorehabilitación en la rehabilitación de la marcha (usando la BCI-FES, basada en ERD) y en la recuperación del déficit cognitivo que también suelen presentar estos pacientes (usando la BCI "Cognitask, basada en P300). Para las pruebas de usabilidad y de uso de la BCI Atentti-ON (basada en la RTB) se convocaron voluntarios adolescentes con desarrollo cognitivo típico y se interactuó con el Centro de rehabilitación AVIS de la ciudad de Paraná para la prueba de uso en pacientes con TDAH. Para todos los casos, se han tramitado las aprobaciones de los Comités de ética y los consentimientos informados de los voluntarios y se han establecido juntos con los profesionales de la salud los criterios de inclusión y exclusión del protocolo. Asimismo se discutieron con ellos los resultados obtenidos.

Las actividades de registro del EEG en voluntarios sanos para caracterizar la señal de EEG también tuvieron que posponerse hasta el 2022. Durante ese año se le registró entonces el EEG con el objetivo de caracterizar los cambios producidos en el EEG durante el movimiento, el intento motor y/o de concentración, para luego procesar digitalmente las señales, realizar análisis estadísticos y difundir los resultados ya en el último año del Proyecto. También se realizaron las pruebas de uso en voluntarios sanos para la BCI basada en P300.

- **Síntesis de resultados y conclusiones**

El Proyecto alcanzó numerosos e importantes resultados tanto en lo científico, en lo tecnológico como en la formación de recursos humanos de grado y posgrado. Como resultado de ello y de la interacción con Instituciones de salud que demandaban la tecnología, se lo reconoció como Proyecto Tecnológico de Desarrollo Social y se lo incorporó al Banco de PDTs (RS-2022-475-APN-MCT)

Se desarrollaron y evaluaron 4 sistemas BCIs diferentes:

- *BCI-FES*: Interfaz Cerebro-Computadora basada en ERD para rehabilitación motora con conexión inalámbrica a un estimulador eléctrico FES como actuador
- *BCI portátil* basada en ERD y montada en una EDU-CIAA-NXP
- *Atentti-ON*: Interfaz Cerebro-Computadora híbrida basada en la RTB para entrenamiento de la atención
- *Cognitask*: Interfaz Cerebro-Computadora basada en P300 para rehabilitación cognitiva

BCI-FES:

El desarrollo de la *BCI-FES* se basó en la plataforma BCI2000, y empleó un amplificador de 8 canales con conexión bluetooth y un estimulador FES conectado por un módulo inalámbrico a una PC portátil donde se ejecutaba el software. Se la configuró para trabajar en modo síncrono; y para registrar y procesar la señal de EEG en tiempo real de manera de generar la señal de comando hacia el estimulador FES que producía

la dorsiflexión del pie, facilitando al voluntario dar un paso hacia adelante. La *BCI-FES* tiene en cuenta la dinámica de una terapia de rehabilitación y permite al terapeuta adaptar el umbral de clasificación durante la sesión. Su desempeño se evaluó en 10 personas con EM en una sesión de uso. Entre las métricas, se calculó la tasa de acierto, la cual resultó mayor (+10.1%) que el nivel de azar de 68.1%. (Carrere et al., 2019)

También se llevó a cabo un estudio preliminar para explorar los efectos del uso de la *BCI-FES* en una intervención terapéutica. Se incorporaron 7 voluntarios con EM. Cada uno realizó 24 sesiones de terapia usando la *BCI-FES* distribuidas en 8 semanas. Los efectos se evaluaron en la velocidad de la marcha, la habilidad para caminar, la tasa de verdaderos positivos y la latencia de inicio de ERD. Se observó una mejora estadísticamente y clínicamente significativa en la velocidad de la marcha ($p = 0.018$), y en la habilidad para caminar ($p = 0.028$). La tasa de verdaderos positivos también evidenció un incremento estadísticamente significativo ($p = 0.018$). Respecto de la latencia de inicio de ERD, se observó una disminución de la misma (-180 ms) una vez finalizada la intervención terapéutica, lo cual es auspicioso teniendo en cuenta que en las personas con EM suele estar retrasada. Los resultados indicaron mejoras en la marcha, los cuales podrían haber sido promovidos por cambios en las conexiones funcionales del cerebro que participan en la modulación de los ritmos sensoriomotores. De este modo, se puede concluir que la tecnología *BCI-FES* por ERD podría tener efectos positivos en la recuperación motora de la marcha afectada de personas con EM. (Carrere et al., 2021)

BCI Portátil:

Se diseñó e implementó un prototipo de una BCI portátil y portable, basada en un sistema embebido que adquiere 8 canales de EEG. Para ello se empleó la placa EDU_CIAA_NXP y un poncho de biopotenciales para la adquisición del EEG. La placa EDU_CIAA_NXP posee un microcontrolador de NXP, el LPC4337 que a su vez incluye dos procesadores: un Cortex M0, y un Cortex M4F, ambos de la firma ARM. El procesador Cortex M4F posee características distintivas que lo hacen adecuado para el procesamiento digital de señales en general y para esta aplicación en particular. Se realizó una prueba de funcionamiento con un sujeto sano realizando el movimiento de dorsiflexión de ambos pies. En primera instancia se entrenó el clasificador LDA utilizando un protocolo basado en 15 registros de EEG. En cada registro el usuario debía realizar el movimiento de ambos pies durante 3 segundos y la relajación durante otros 3 segundos, separados por un intervalo de 3 segundos. Se realizó primero el entrenamiento del clasificador para luego pasar al funcionamiento en tiempo real. Se obtuvo una Sensibilidad del 90% y una Especificidad del 90%. Se midió el tiempo de respuesta del sistema, es decir, el tiempo que se demora en tomar un vector de señal de 512 datos, aplicarle los filtros frecuenciales y espaciales correspondientes, extraer las características y clasificarlo. Este tiempo resultó de aproximadamente 150 microsegundos. El consumo total del sistema fue de 240 mA alimentándose con una fuente de 5V. (Mateos et al., 2020)

Atenti-ON:

Atenti-ON es una BCI híbrida basada en la RTB para entrenamiento de la atención, con un videojuego serio como actuador. El usuario, al concentrarse, modula su actividad cerebral en las bandas frecuenciales de los ritmos theta y beta de la corteza prefrontal. Esta modulación es traducida, por medio de un modelo matemático, en una salida continua que comanda un videojuego serio. Este videojuego fue diseñado

teniendo en cuenta la problemática de los jóvenes con TDAH, y puede también ser comandado por el teclado para brindarles a estos pacientes una descarga manual a su hiperactividad (PaulucciMuller et al., 2020). Esto convierte a *Attenti-ON* en una BCI híbrida ya que el comando del actuador puede ser compartido entre el EEG y el teclado (Aguilar Gonzales et al., 2022).

En una segunda etapa de avance del Proyecto, se realizaron mejoras a *Attenti-ON* para, entre otras, que funcione con un amplificador de biopotenciales de producción nacional, y así facilitar su traslación al ámbito de uso. Para estos fines, se diseñó un driver para la comunicación entre dicho amplificador y la plataforma BCI2000 (Vertiz del Valle et al., 2021). Se realizaron pruebas para determinar el desempeño en condiciones de uso previsto, con y sin perturbaciones. Se determinó la velocidad del personaje en 7 pruebas con distintas condiciones experimentales: uso previsto, parpadeo voluntario exagerado, actividad muscular, movimiento ocular y distracciones. Participaron 12 voluntarios (25,7 ± 4,7 años) sin déficit de atención. La mediana de la velocidad del personaje durante la prueba en condiciones de uso previsto alcanzó valores cercanos al máximo; mientras que fue menor durante los instantes en que ocurrieron parpadeos voluntarios exagerados y movimiento ocular. Los resultados muestran que el funcionamiento de *Attenti-ON* fue el esperado: la velocidad del personaje sólo aumenta con la atención sostenida. (Masset, 2024)

La siguiente etapa comprendió la evaluación de usabilidad de *Attenti-ON* según la norma ISO 9241-11, para lo cual se diseñó y llevó a cabo el diseño y realización de un protocolo (Masset et al., 2022). Según dicha norma, la usabilidad está definida por la efectividad, eficiencia y satisfacción con las que los usuarios logran objetivos en un contexto de uso dado, correspondiendo cada una de éstas a un aspecto de la usabilidad. El protocolo incluyó la realización de pruebas que consistieron en el uso de *Attenti-ON* con su actuador configurado para distintos modos de juego, incluyendo su funcionamiento con el comando discreto. Para evaluar la efectividad se propusieron métricas que valoraron el cumplimiento del objetivo en cada tarea. En cuanto a la eficiencia se estudió la velocidad media del personaje del videojuego, el tiempo de finalización de la tarea y un indicador de la carga de trabajo global percibida por los usuarios. Para la satisfacción se utilizó un cuestionario que interpeló al usuario sobre el grado de satisfacción en el uso de *Attenti-ON*. Además, en esta etapa se analizaron: las distintas categorías que conforman la carga de trabajo según el cuestionario NASA TLX (demanda mental, demanda física, demanda temporal, esfuerzo, rendimiento y frustración), el efecto del uso repetido en la efectividad y eficiencia; y el efecto del uso en la motivación. Participaron de esta evaluación 10 adolescentes con desarrollo cognitivo típico (15,8 ± 1,3 años). Respecto de la efectividad, todos los participantes lograron cumplir el objetivo en las tareas con un desempeño alto, a excepción de la tarea relacionada al uso del comando discreto. En la eficiencia se observó que la velocidad media fue cercana al valor máximo en todas las tareas y el tiempo de finalización fue menor para aquellos participantes que tuvieron alta velocidad media. La carga de trabajo global resultó de 29,8 puntos; lo que sugirió que los participantes consideraron que las tareas implicaron una baja carga de trabajo. En cuanto a la satisfacción, se obtuvo un resultado de 75 puntos, superior al percentil 50 (68 puntos); lo que sugirió que la satisfacción en el uso de *Attenti-ON* fue aceptable. Estos resultados indicarían que *Attenti-ON* puede ser usada por los adolescentes con desarrollo cognitivo típico. El uso

repetido mostró mejoras, pero no con significancia estadística. La motivación de los usuarios fue mayor luego del uso de *Attenti-ON*. La carga de trabajo resultó mayor en las dimensiones: demanda mental, esfuerzo y rendimiento (Masset et al., 2024).

En la última etapa, se realizó una evaluación de factibilidad de uso de *Attenti-ON* en 3 adolescentes con diagnóstico de déficit de atención de 15,5 años promedio. Para ello, los participantes realizaron las mismas pruebas que en la etapa 3, alcanzando los objetivos en cada una de ellas. En todos los casos, la velocidad del personaje fue cercana a la máxima para todas las tareas. La pendiente de la línea de tendencia de la velocidad del personaje fue positiva en sólo 1 de los 3 participantes, en 2 de las tareas. Esto sugiere que estos participantes tuvieron dificultades en sostener la atención. Esto indica que el funcionamiento de *Attenti-ON* fue el esperado, ya que la velocidad del personaje reflejó el déficit de atención y que podría ser utilizado por adolescentes con estas alteraciones cognitivas (Masset et al., 2023).

Cognitask:

Cognitask es una BCI para rehabilitación cognitiva basada en P300 que consta de 4 módulos. El primero adquiere y acondiciona las señales de EEG 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 (Barreto et al., 2022).

Durante un ejercicio cognitivo, el paciente tiene la consigna de armar/completar un determinado patrón, ordenando un conjunto de imágenes presentadas de forma desordenada en una matriz de estimulación visual. La identificación de la imagen seleccionada por el usuario la realiza la BCI detectando el P300 que se evoca cuando el paciente mantiene la atención visual en la imagen deseada mientras se iluminan de manera aleatoria todas las imágenes contenidas en las distintas celdas de la matriz de estimulación visual (Barreto et al., 2022).

Se realizaron dos evaluaciones de *Cognitask*. La primera se enfocó en el funcionamiento operativo del sistema utilizando señales de entrada generadas por un software. Durante la segunda se evaluó el desempeño del sistema en tres voluntarios sanos. Los resultados mostraron el correcto funcionamiento operativo de *Cognitask* y una tasa de éxito promedio máxima del 92%. Estos resultados sugieren que *Cognitask* puede transferirse al entorno clínico para su evaluación en adultos con déficits cognitivos. (Barreto et al., 2022)

Otros:

Como paso necesario para el diseño de una BCI, fue necesario profundizar en la problemática asociada a cada uno de sus bloques (ver Figura 1). Para ello se investigó acerca de distintos métodos de extracción de características del EEG para identificar la ERD y distintas alternativas de clasificación (Roberts González et al., 2020; Toffoli González et al., 2020).

Para explorar los cambios que se producen en la señal de EEG en voluntarios con y sin secuelas neurológicas ante consignas motoras o cognitivas, y ante estímulos no-ciceptivos evocados por FES, se realizaron las siguientes actividades y obtuvieron los siguientes resultados:

Se registró y procesó la señal de EEG durante la dorsiflexión del pie en personas sanas y con EM (Carrere et al., 2024; Furiós et al., 2022). La ERD se caracterizó respecto de su amplitud y latencia de inicio para cada pie. Para la amplitud de la ERD se obtuvieron las evoluciones temporales del porcentaje de ERD. Mientras que para la estimación de la latencia de inicio de la ERD se desarrolló una nueva estrategia, la cual considera la evolución temporal del porcentaje de ERD y un método de comparaciones múltiples basado en la prueba estadística no paramétrica de permutaciones por grupos en profundidad (Frossard&Renaud, 2022). Los resultados mostraron que la ERD de la dorsiflexión del pie puede ser detectada en EM (Carrere et al., 2024).

En relación a la latencia de inicio de la ERD, se observó que ésta fue mayor en el miembro inferior más afectado respecto al menos afectado. También se estudió la evolución de la ERD en personas sanas y con secuelas de ACV (Aguilar Gonzales et al., 2020).

Dado que un estimulador FES puede usarse para evocar el reflejo de retirada (y por ende brindar realimentación intrínseca en una BCI), en este Proyecto se estudió la relación entre la ERD después de la evocación del reflejo. Se convocaron 8 voluntarios sanos. El experimento consistió en 2 sesiones de uso en tiempo real de 2 tipos de Sistemas BCI: uno que brindaba solo realimentación visual y el otro evocaba por FES el reflejo de retirada en miembro inferior. Se registró EEG durante 30 repeticiones en cada sesión y el electromiograma del tibial anterior para cuantificar la evocación del reflejo. Se estimaron la amplitud de la frecuencia de máxima ERD, la ERD porcentual y el valor cuadrático medio del electromiograma. De los resultados obtenidos, se pudo concluir que es factible utilizar el reflejo de retirada evocado por FES como realimentación en un sistema BCI por ERD (Tabernig et al., 2021).

Conclusiones generales

Durante la ejecución del Proyecto se diseñaron e implementaron 4 sistemas BCI distintos, con muy buenos indicadores de desempeño. Todos estos desarrollos fueron innovadores, ya sea por su tecnología (inalámbrica o portátil), por su aplicación (rehabilitación motora o cognitiva) o por su diseño orientado a los usuarios (paciente y profesional). Estas BCIs asimismo estuvieron basadas en la detección de la ERD, de la RTB o del P300; lo cual es una muestra significativa de la solidez del grupo de trabajo para afrontar desarrollos tan complejos y tan diversos.

Se estudiaron distintas alternativas de métodos de selección de características para identificar la ERD, y también se realizaron aportes novedosos respecto de la caracterización de la ERD de personas sanas, con secuelas de ACV y de EM, y de la comprobación de los efectos positivos de uso de una BCI con FES para la recuperación de la marcha de personas con EM, luego de una intervención terapéutica.

Asimismo se comprobó que una BCI híbrida basada en la RTB puede ser usada por adolescentes con desarrollo cognitivo típico y con diagnóstico de déficit de atención. Además, se realizaron aportes novedosos sobre la evaluación de usabilidad de BCIs, un tema innovador en el área de desarrollo de este tipo de tecnología. Los próximos pasos podrían darse para avanzar con un protocolo de intervención terapéutica para evaluar los efectos de su uso para el entrenamiento de la atención sostenida.

Similares pasos también podrían ser dados para determinar la eficacia de una terapia de rehabilitación cognitiva basada en ejercicios cognitivos a través de la detección

del P300.

En conclusión, estos desarrollos y sus aplicaciones como terapias de rehabilitación motora y cognitiva fueron innovadores a nivel internacional, y posicionaron al equipo de investigación como referente en la disciplina. Se cumplieron, por lo tanto, los objetivos generales y particulares planteados. Se abre a partir de aquí el desafío de completar los estudios clínicos y avanzar hacia la transferencia tecnológica de la BCIs al sector productivo y de servicios.

Principales indicadores de producción

PUBLICACIONES DE ARTÍCULOS COMPLETOS EN JOURNALS Y PROCEEDINGS CON REFERATO

1. *Usability evaluation based on ISO 9241-11 of a hybrid BCI for attention improvement: preliminary results in end-users*. M. B. Masset L. C. Carrere and C. B. Tabernig. Enviado para publicación a Brain Computer Interface Journal, **2024**.
2. *Event-related desynchronization onset latency of foot dorsiflexion as a candidate EEG-based biomarker in people with multiple sclerosis*. Carrere, L. C., Furios, J., Buirrum Manresa, J., Ballario, C., & Tabernig, C. B. Enviado para publicación en el European Journal of Neuroscience, **2024**.
3. *“Hybrid brain-computer interface for attention training in adolescents with attention deficit: a proof-of-concept study”* Masset Belen, Tabernig Carolina, Carrere L. Carolina. Aceptado para publicación en Advances in Bioengineering and Clinical Engineering - Proceedings of the XXIV Argentinian Congress of Bioengineering, Ed. Springer **2024**.
4. *A usability evaluation protocol for an hybrid brain-computer interface aimed at attention-deficit disorder rehabilitation*. M. B. Masset, L. C. Carrere and C. B. Tabernig. IFMBE Latin American Conference on Biomedical Engineering Proc. Springer, 44-51, **2023**.
5. *Cognitask: BCI system based on P300 for cognitive therapies*. F Barreto, C Carrere y Carolina B. Tabernig. *IEEE Latin America Transactions*, febrero **2022**, 20(6), 884–890. <https://latamt.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/6030>
6. *A new signal source module for BCI2000 interface to an open-source multichannel acquisition system*. D. C. Vertiz del Valle, L. Carolina Carrere and C. B. Tabernig, *IEEE Explorer 2021 XIX Workshop on Information Processing and Control (RPIC)*, diciembre **2021**, pp. 1-4, [doi: 10.1109/RPIC53795.2021.9648493](https://doi.org/10.1109/RPIC53795.2021.9648493).
7. *A hybrid BCI for neurofeedback-based attention training: design and preliminary evaluation*. C. Brigitte Aguilar Gonzales, Augusto Muñoz, Pedro Paulucci Müller, L. Carolina Carrere and Carolina B. Tabernig. *IEEE Latin Transaction*, diciembre **2021**, 20(5) <https://latamt.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/5835>
8. *Effects of brain-computer interface with functional electrical stimulation for gait rehabilitation in multiple sclerosis patients: preliminary findings in gait speed and event-related desynchronization onset latency*. Carrere, L Carolina; Taborda Melisa; Ballario Carlos; Tabernig Carolina. *Journal of Neural Engineering*. Vol 28, pp 1-12, noviembre **2021** <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac39b8>
9. *“A foot motor imagery brain computer interface with realistic visual feedback: preliminary evaluation in healthy and stroke subjects”*. Carrere, L. Carolina; Escher Le-

- andro G; Gentiletti Gabriel; Carolina B Tabernig. *Journal of Research of Biomedical Engineering*. pp. 1-10, **2021**, doi: [10.1007/s42600-021-00164-1](https://doi.org/10.1007/s42600-021-00164-1).
10. *Does feedback based on FES-evoked nociceptive withdrawal reflex condition event-related desynchronization? An exploratory study with brain-computer interfaces*. Carolina B. Tabernig, L. Carolina Carrere, José Biurrun Manresa y Erika G. Spaich. *Journal BiomedicalPhysics&Engineering Express*, vol. 7: 1-11, **2021**, doi: [10.1088/2057-1976/ac2077](https://doi.org/10.1088/2057-1976/ac2077)
 11. *A wireless BCI-FES based on motor intent for lower limb rehabilitation*. Carrere, L. C., Escher, L., Tabernig, C. In *Latin American Conference on Biomedical Engineering Proc.*, pp. 1162-1170, **2020**, Springer. doi: [10.1007/978-3-030-30648-9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30648-9)
 12. *“Lower limb motor intention: ERD time-course analysis in stroke and healthy subjects”*. Carmen Brigitte Aguilar Gonzales; Carrere Lucía Carolina; Tabernig Carolina B *Revista Argentina de Bioingeniería*, vol: 23 (3): 19- 23, **2020**
 13. *“Comparison of feature extraction methods in EEG based brain computer interface”*. Aldana Roberts González; Francisco Guaita; Maximiliano Rossi; Carolina Tabernig; Rubén Acevedo. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 24 num.3: 29 – 34; **2020**
 14. *“Realistic video games for BCI aimed at neurofeedback-based cognitive rehabilitation therapies”*. Paulucci Müller Pedro; Carrere Lucía Carolina; Tabernig Carolina B. *Revista Argentina de Bioingeniería*, vol: 23 (3): 67-72, **2020**
 15. *“Embedded brain computer interface based on motor imagery: preliminary results”*. Sebastián A. Mateos, Eduardo Filomena, Carolina B. Tabernig. *Revista Argentina de Bioingeniería*, vol: 23 (3):2-7, **2020**
 16. *Wireless Functional Electrical Stimulator for Foot Drop: Design and Preliminary Results*. Cecilia Molina, Sergio O. Escobar and Carolina B. Tabernig. *Revista Argentina de Bioingeniería*, vol: 23 (3): 40-45, **2020**

CAPÍTULOS DE LIBROS

1. *Brain computer interfaces with functional electrical stimulation for motor neuro-rehabilitation: from research to clinical practice*. Carrere Carolina, Ballario Carlos H., Tabernig Carolina B. En *“Medicine Based Informatics and Engineering”*. pag. 37-49 Eds Bertemes Filho Pedro, Simini Franco, **2022**. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-87845-0>
2. *Brain Computer Interfaces for Communication, Mobility and Motor Recovery en: Advances in Technology Assisted Neurorehabilitation*. Carolina Tabernig; Carolina Carrere; Yanina Atum; Ruben Acevedo. Editor: Natalia López Celani. Academic Press. 2024. En prensa- . ISBN 9780128198773
3. *Functional electrical stimulation for motor neurorehabilitation en: Advances in Technology Assisted Neurorehabilitation*. Carolina Tabernig y Erika Spaich. Editor: Natalia López Celani. Academic Press. 2024. En prensa- . ISBN 9780128198773

Bibliografía

- Aguilar Gonzales, B. A., Carrere, L. C., & Tabernig, C. B. (2020). Lower limb motor intention: ERD time-course analysis in stroke and healthy subjects. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 24(3), 19-23.
- Aguilar Gonzales, C. B., Munoz, A., Paulucci Muller, P., Carrere, L. C., & Tabernig, C. B. (2022). A hybrid BCI for neurofeedback-based attention training: Design and preliminary evaluation. *IEEE Latin America Transactions*, 20(5), 746-752. <https://doi.org/10.1109/LATAM.2022.10000000>

- org/10.1109/TLA.2022.9693558
- Arvaneh, M., Robertson, I. H., & Ward, T. E. (2019). A P300-based brain-computer interface for improving attention. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 524.
- Barreto, F., Carrere, L. C., & Tabernig, C. B. (2022). Cognitask: BCI system based on P300 for cognitive therapies. *IEEE Latin America Transactions*, 20(6), 884-890. <https://doi.org/10.1109/TLA.2022.9757370>
- Biasiucci, A., Leeb, R., Iturrate, I., Perdikis, S., Al-Khodairy, A., Corbet, T., Schneider, A., Schmidlin, T., Zhang, H., Bassolino, M., Viceic, D., Vuadens, P., Guggisberg, A. G., & Millán, J. d. R. (2018). Brain-actuated functional electrical stimulation elicits lasting arm motor recovery after stroke. *Nature Communications*, 9(1), 2421. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04673-z>
- Bonzano, L., Pedullà, L., Tacchino, A., Brichetto, G., Battaglia, M. A., Mancardi, G. L., & Bove, M. (2019). Upper limb motor training based on task-oriented exercises induces functional brain reorganization in patients with multiple sclerosis. *Neuroscience*, 410, 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.05.004>
- Carrere, Escher, L. G., & Tabernig, C. B. (2019). A wireless BCI-FES based on motor intent for lower limb rehabilitation. *IFMBE Proceedings CLAIB2019-CNIB2019*, 75, 1162-1170. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30648-9_151
- Carrere, L. C., Ballario, C. H., & Tabernig, C. B. (2022). Brain computer interfaces with functional electrical stimulation for motor neurorehabilitation: From research to clinical practice. En *Medicine Based Informatics and Engineering* (ertemesFilho Pedro, Simini Franco, pp. 37-49). Springer.
- Carrere, L. C., Furió, J., Biurru Manresa, J., Ballario, C., & Tabernig, C. B. (2024). Event-related desynchronization onset latency of foot dorsiflexion as a candidate EEG-based biomarker in people with multiple sclerosis. *Enviado para publicación a la European Journal of Neuroscience*.
- Carrere, L. C., Taborda, M., Ballario, C., & Tabernig, C. (2021). Effects of brain-computer interface with functional electrical stimulation for gait rehabilitation in multiple sclerosis patients: Preliminary findings in gait speed and event-related desynchronization onset latency. *Journal of Neural Engineering*, 18(6), 066023. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac39b8>
- Cervera, M. A., Soekadar, S. R., Ushiba, J., Millán, J. del R., Liu, M., Birbaumer, N., & Garipelli, G. (2018). Brain-computer interfaces for post-stroke motor rehabilitation: A meta-analysis. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, 5(5), 651-663. <https://doi.org/10.1002/acn3.544>
- Cipresso, P., Carelli, L., Solca, F., Meazzi, D., Meriggi, P., Poletti, B., Lule, D., Ludolph, A. C., Silani, V., & Riva, G. (2012). The use of P300-based BCIs in amyotrophic lateral sclerosis: From augmentative and alternative communication to cognitive assessment. *Brain and behavior*, 2(4), 479-498.
- Clarke, A. R., Barry, R. J., Karamacoska, D., & Johnstone, S. J. (2019). The EEG theta/beta ratio: A marker of arousal or cognitive processing capacity? *Applied psychophysiology and biofeedback*, 44, 123-129.
- Daly, J. J., & Sitaram, R. (2012). BCI therapeutic applications for improving brain function. *Brain-computer interfaces: Principles and practice*, 351-362.
- Doucet, B. M., Lam, A., & Griffin, L. (s. f.). *Neuromuscular Electrical Stimulation for Skeletal Muscle Function*. 15.
- El-Sayed, E., Larsson, J.-O., Persson, H. E., & Rydelius, P.-A. (2002). Altered cortical activity

- in children with attention-deficit/hyperactivity disorder during attentional load task. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 41(7), 811-819.
- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: Toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 70(6), 510-523.
- Frossard, J., & Renaud, O. (2022). The cluster depth tests: Toward point-wise strong control of the family-wise error rate in massively univariate tests with application to M/EEG. *NeuroImage*, 247, 118824. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118824>
- Furios, J., Biurrun Manresa, J., Carrere, L. C., & Tabernig, C. B. (s. f.). A comparison of methods for the determination of event-related desynchronization onset latency.
- Gentiletti, G. G., Tabernig, C. B., & Acevedo, R. C. (2007). Interfaz Cerebro—Computadora: Estado del arte y desarrollo en Argentina. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 13(1), 22-29.
- Irasena, P., Hemrungronj, S., Sukwattanasinit, N., & Maes, M. (2015). Development and evaluation of an interactive electro-encephalogram-based neurofeedback system for training attention and attention defects in children. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 5(5), 1045-1052.
- Jeunet, C., Kaoua, B. N., & Lotte, F. (2016). Advances in User-Training for Mental-Imagery Based BCI Control: Psychological and Cognitive Factors and their Neural Correlates To cite this version: Advances in User-Training for Mental-Imagery Based BCI Control: Psychological and Cognitive Factors an. *Progress in Brain Research*, 228, 3-35. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.002>
- Jiang, S., Qu, C., Wang, F., Liu, Y., Qiao, Z., Qiu, X., Yang, X., & Yang, Y. (2015). Using event-related potential P300 as an electrophysiological marker for differential diagnosis and to predict the progression of mild cognitive impairment: A meta-analysis. *Neurological Sciences*, 36, 1105-1112.
- Kaplan, A. Y., Shishkin, S. L., Ganin, I. P., Basyul, I. A., & Zhigalov, A. Y. (2013). Adapting the P300-based brain-computer interface for gaming: A review. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 5(2), 141-149.
- Leins, U., Goth, G., Hinterberger, T., Klinger, C., Rumpf, N., & Strehl, U. (2007). Neurofeedback for children with ADHD: a comparison of SCP and Theta/Beta protocols. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 32, 73-88.
- Leocani, L., Rovaris, M., Martinelli-Boneschi, F., Annovazzi, P., Filippi, M., Colombo, B., Martinelli, V., & Comi, G. (2005). Movement preparation is affected by tissue damage in multiple sclerosis: Evidence from EEG event-related desynchronization. *Clinical Neurophysiology*, 116(7), 1515-1519. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.02.026>
- Lipp, I., & Tomassini, V. (2015). Neuroplasticity and Motor Rehabilitation in Multiple Sclerosis. *Frontiers in Neurology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fneur.2015.00059>
- Marquez-Chin, C., & Popovic, M. R. (2020). Functional electrical stimulation therapy for restoration of motor function after spinal cord injury and stroke: A review. *BioMedical Engineering OnLine*, 19(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s12938-020-00773-4>
- Masset, Carrere, L., & Tabernig, C. (2022). A Usability Evaluation Protocol for an Hybrid Brain-Computer Interface Aimed at Attention-Deficit Disorder Rehabilitation. *Latin American Conference on Biomedical Engineering*, 44-51.

- Masset, M. B. (2024). *Evaluación de desempeño y de usabilidad de una interfaz cerebro-computadora híbrida para el entrenamiento de la atención* [Tesis de Maestría en Ingeniería Biomédica]. Universidad Nacional de Entre Ríos.
- Masset, M. B., Carrere, C., & Tabernig, C. B. (2024). Usability evaluation based on ISO 9241-11 of a hybrid BCI for attention improvement: Preliminary results in end-users. *Enviado para publicación a la Brain Computer Interface Journal*.
- Masset, M. B., Tabernig, C., & Carrere, L. C. (2023). *Hybrid brain-computer interface for attention training in adolescents with attention deficit: A proof-of-concept study*. XIX Congreso Argentino de Bioingeniería y XIII Jornadas de Ingeniería Clínica. SABI2023, Buenos Aires, Argentina.
- Mateos, S., Filomena, E., & Tabernig, C. (2020, marzo). *Embedded brain computer interface based on motor imagery: Preliminary results*. XXII Congreso Argentino de Bioingeniería y XI Jornadas de Ingeniería Clínica. SABI2020, Piriápolis, Uruguay.
- Molina, C., Escobar, S., & Tabernig, C. (2020). Wireless Functional Electrical Stimulator for Foot Drop: Design and Preliminary Results. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 23(3), 40-45.
- MünBinger, J. I., Halder, S., Kleih, S. C., Furdea, A., Raco, V., Höslle, A., & Kübler, A. (2010). Brain painting: First evaluation of a new brain-computer interface application with ALS-patients and healthy volunteers. *Frontiers in neuroscience*, 4, 182.
- Ordikhani-Seyedlar, M., & Lebedev, M. A. (2018). Augmenting attention with brain-computer interfaces. En *Brain-Computer Interfaces Handbook* (pp. 549-560). CRC Press.
- Paulucci Muller, P., Carrere, L. C., & Tabernig, C. B. (2020). Realistic Video Games for BCI Aimed at Neurofeedback-Based Cognitive Rehabilitation Therapies. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 24(3), 67-72.
- Pichiorri, F., & Mattia, D. (2020). Brain-computer interfaces in neurologic rehabilitation practice. En *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 168, pp. 101-116). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00009-3>
- Pires, G., Torres, M., Casaleiro, N., Nunes, U., & Castelo-Branco, M. (2011). Playing Tetris with non-invasive BCI. *2011 IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health (Segah)*, 1-6.
- Roberts González, A., Guaita, F., Rossi, M., Tabernig, C. B., & Acevedo, R. (2020). Comparison of feature extraction methods in EEG based brain computer interface. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 24, 29-34.
- Sellers, E. W., Arbel, Y., & Donchin, E. (2012). Bci that use p300 event-related potentials. *Brain-computer interfaces: principles and practice*, 215.
- Tabernig, C. B. (2018). *Tecnología para la rehabilitación motora basada en la planeación y ejecución de movimientos*.
- Tabernig, C. B., Carrere, L. C., Manresa, J. B., & Spaich, E. G. (2021). Does feedback based on FES-evoked nociceptive withdrawal reflex condition event-related desynchronization? An exploratory study with brain-computer interfaces. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 7(6), 065003.
- Tabernig, C. B., Lopez, C. A., Carrere, L. C., Spaich, E. G., & Ballario, C. H. (2018). Neurorehabilitation therapy of patients with severe stroke based on functional electrical stimulation commanded by a brain computer interface. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 5, 205566831878928. <https://doi.org/10.1177/2055668318789280>
- Toffoli González, M. del R., Roberts González, A., Sánchez Amador, R., Tabernig, C. B.,

- & Acevedo, R. (2020, marzo). *Detection of ERD in EEG based brain computer interfaces using wavelet transform and empirical modal decomposition*. XXII Congreso Argentino de Bioingeniería y XI Jornadas de Ingeniería Clínica. SABI2020, Piriápolis, Uruguay.
- vanDinteren, R., Arns, M., Jongsma, M. L., & Kessels, R. P. (2014). P300 development across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *PloSone*, 9(2), e87347.
- Vázquez-Marrufo, M., Galvao-Carmona, A., Caballero-Díaz, R., Borges, M., Paramo, M. D., Benítez-Lugo, M. L., Ruiz-Peña, J. L., & Izquierdo, G. (2019). Altered individual behavioral and EEG parameters are related to the EDSS score in relapsing-remitting multiple sclerosis patients. *PLoS ONE*, 14(7), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219594>
- Vertiz del Valle, D. C., Carolina Carrere, L., & Tabernig, C. B. (2021). A new signal source module for BCI2000 interface to an open-source multichannel acquisition system. *2021 XIX Workshop on Information Processing and Control (RPIC)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/RPIC53795.2021.9648493>
- Wolpaw, J. R., Millán, J. del R., & Ramsey, N. F. (2020). Brain-computer interfaces: Definitions and principles. En *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 168, pp. 15-23). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00002-0>
- Zwecker, M., Sarova, I., Lavie, M., Zeilig, G., & Achiron, A. (2018). Detection of cognitive impairment in multiple sclerosis based on P300 event-related potential. *Int. J. Phys. Med. Rehabil*, 6(4).

PID 6214

Denominación del Proyecto

Desarrollo y aplicaciones de Interfaces Cerebro-Computadora para neuro-rehabilitación

Directora

Tabernig, Carolina Beatriz

Codirectora

Carrere, Lucía Carolina

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Ingeniería

Contacto

carolina.tabernig@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

Grupo de Ingeniería en Rehabilitación - Centro de Ingeniería en Rehabilitación e Investigaciones Neuromusculares y Sensoriales (CIRINS) - Departamento Bioingeniería

Integrantes del proyecto

Docentes Uner: Acevedo, Ruben Carlos. Filomena Eduardo. Vertiz Del Valle, Diana Carolina

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

01/03/2020 y 22/01/2024

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 186/24 (28/06/2024)