

Uso de una BCI (Brain Computer Interface) como enlace interactivo, terapéutico y de aprendizaje dirigido a personas con discapacidad cognitiva y motora

Julián Garzón

Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, juliangarzon.e@usantotomas.edu.co

Sebastián Rojas

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, u1801619@unimilitar.edu.co

Camilo Sanabria

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, u1201241@unimilitar.edu.co

Asesor de Facultad:

Davis Montenegro

Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, davismontenegro@usantotomas.edu.co

ABSTRACT

The new EEG technology allow the develop of new access ways, thinking in cover the necessities of patients with cognitive and motor disabilities, the challenge of catch the highest benefits from a portable EEG like Emotiv EPOC is the approach of this work. The tests made with pilot applications cover therapeutic areas like language, attention deficit, motor disability and early education; its results establish an encouraging prospect to develop this kind of applications. Additionally, this work venture into individual behavior investigation with the analysis of affective visuals stimulus responses.

INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidad motora y cognitiva presentan grandes inconvenientes en el desarrollo de sus tareas diarias y desenvolvimiento social, debido a esta condición estas personas requieren de la asistencia permanente de un especialista (J. Malagon., 2007) (Tina R. Goldsmith et al., 2004). En patologías como la parálisis cerebral y la esclerosis múltiple se excluye al paciente del uso independiente de herramientas tecnológicas debido a la total incapacidad motora, agravando seriamente la integridad y el desarrollo de la persona. En patologías como el autismo, el síndrome de down y el retraso leve, el factor determinante es la limitación cognitiva e implica de igual manera un gran impedimento en el uso de herramientas de la vida cotidiana. La marginación social se convierte en un ineludible obstáculo y las terapias para prevenir la continua degeneración de las habilidades de este tipo de pacientes aun siguen siendo prácticas que en un importante porcentaje no recurren al uso de tecnologías de vanguardia debido a los problemas de acceso (J. Soto et al., 2002).

El uso de tecnología de punta como apoyo significativo de las actividades básicas del ser humano presenta una indiscutible optimización de las tareas diarias y son por hoy un elemento indispensable para el desenvolvimiento dentro de la sociedad. Importantes estudios (E. Ferrari et al., 2009)(Karen L. Pierce et al., 2001) también han revelado que la integración de la tecnología en procesos tempranos de educación y en el tratamiento de deficiencias relacionadas con los trastornos del lenguaje, audición, visión, la deficiencia mental y los déficit de la atención, producen altos impactos en el mejoramiento de los resultados terapéuticos.

El reto es diseñar y establecer el correcto uso de elementos que amplíen el rango de las condiciones de accesibilidad, teniendo como objetivo principal la generación de herramientas que potencialicen los beneficios

que se reciben de una terapia. Cabe resaltar que los ejes principales de acción deben involucrar los trabajos de fonología, educación especial y psicología.

El primer acercamiento se realizó con el diseño y programación de una herramienta que facilitara la comunicación SAAC (S. Rojas et al., 2012). En vista de su positivo impacto en los beneficios terapéuticos y motivacionales de los pacientes, se plantea una interfaz cerebro-computadora que se valga de la encefalografía portátil (Emotiv EPOC) para el diseño de aplicaciones en los campos de entretenimiento, terapia e investigación.

ESTADO DEL ARTE

Dentro de la variedad de propuestas a nivel general que tienen su principio de funcionamiento en la tecnología EEG, se encontraron algunas destacadas por la relación a la hora de optimizar funciones relacionadas con las emociones en las personas, la mayoría surgen con base al estudio en la interacción de los individuos en diferentes entornos, entregando datos y estadísticas cuyas aplicaciones no han otorgado impactos significativos relacionados con el beneficio directo en la sociedad; brotan de este modo aplicaciones tales como aquella que realizó un estudio de predicción en los resultados en un examen hecho por estudiantes a partir de sus emociones; también un programa de mensajería instantánea que incorpora en sus mensajes iconos y palabras de acuerdo al estado emocional de la persona que se comunica, o un estudio de las sensaciones en las personas que interaccionan en una ciudad concurrida. La gran ventaja que entrega el Emotiv Epoc es que posee estas y otras funciones que permiten dar inicio a nuevas propuestas para obtener resultados más completos y funcionales para todo tipo de usuarios.

SINESTESIA EN LA TECNOLOGÍA

La sinestesia ha empezado a tomar un papel importante en la tecnología, siendo esta la percepción conjunta de estímulos externos en una persona, se han desarrollado diversas propuestas que integran tecnología con sensaciones, destacando así entre muchas aplicaciones existentes relacionadas, en este sistema se pretende implementar principios de sinestesia para evaluar las sensaciones de los usuarios a estímulos en imágenes, y de este modo trabajar con mayor eficiencia identificando niveles altos de concentración y emoción. Teniendo en cuenta algunas aplicaciones existentes tales como el “messa di voce” desarrollado en el 2003, donde son generados algunos gráficos a partir de sonidos generados por un vocalista, y su mecanismo consiste en dos cámaras que reconocen la ubicación de la cabeza del vocalista y los gráficos empiezan a interactuar con él. Para el año 2004 el artista Neil Harbisson desarrollo un ojo electrónico que le permitía distinguir a partir de una nota musical los colores, debido a que el nació con una enfermedad llamada acromatopsia, es decir incapacidad para ver los colores. Logro incluir a parte de los 360 colores que percibe el ojo humano colores infrarrojos que permite identificar detectores de movimiento dentro de una habitación o los colores ultravioleta que le permite saber que tanta exposición del sol hay. Revel es otra de las nuevas tecnologías en auge, este permite la percepción táctil de cualquier objeto sobre una superficie física. El mecanismo se basa en la Electro vibración revertida que recorre con señal eléctrica débil en cualquier parte del cuerpo que a su vez crea un campo eléctrico oscilador alrededor de la piel del usuario y general las sensaciones.

PROPUESTA DE DESARROLLO

El uso de una interfaz cerebro-computadora (BCI) (J.R.wolpaw, et al., 2002) (G Pfurtscheller, Ch Neuper, et al., 1997) surge como una herramienta alternativa y eficaz para ser aplicada en personas con trastornos relacionados con el autismo y el retraso leve, logrando superar muchas deficiencias presentes en los individuos a la hora de ejecutar acciones y asimilar información en un entorno determinado. La finalidad del proceso en este desarrollo consiste en crear una interfaz avanzada en investigación, terapia, enseñanza y entretenimiento que cuenta con características orientadas a establecer sensaciones y por lo tanto desarrollar estrategias para el mejoramiento de múltiples aspectos en estas personas. Este tipo de interfaz incrementaría la concentración, mejoraría las habilidades de socialización e independencia del individuo, lo que daría como resultado una mejora en su calidad de vida y una reducción de los costes sociales.

Con el fin de desarrollar una propuesta que lograra entregar resultados significativamente buenos con respecto a otras herramientas comúnmente empleadas, se tuvieron en cuenta los conocimientos y opiniones de un grupo de especialistas, el cual estaba compuesto por un fonaudiólogo, un educador especial y un psicólogo, quienes postularon actividades terapéuticas que son utilizadas en población con autismo y retraso leve. Se estudiaron y evaluaron cada una de las actividades propuestas, eligiendo de este modo las que presentarán mayor aplicabilidad al entorno de programación y que también permitieran establecer mejores avances en cuanto al uso de dinámicas tecnológicas. Es importante resaltar que el sistema desarrollado esta pensado a ser pedagógico y que cuente con elementos llamativos y bien estructurados para ser aplicado en las personas que presentan deficiencia en concentración y uso de memoria.

Dentro del marco de las referencias importantes se destaca que el uso de la tecnología en personas con autismo y retraso es un elemento a favor de gran importancia, este hecho reflejará a futuro comportamientos mucho más favorables para el contexto en el cual se desenvuelve el individuo (Life tips-autism tips, 2013), debido a que este tipo de aplicaciones permite que exista mejor comunicación y mayor entendimiento con las personas que le rodean. El uso de elementos tecnológicos en personas con autismo genera motivación y por lo tanto mayor percepción al aprendizaje (Robin P. Goin-Kochel et al., 2007), es por esto que el sistema cuenta con ayudas de imágenes, estímulos visuales y auditivos.

La idea es crear un conjunto de aplicaciones **Figura 1** que le permita al individuo enfocarse en el mejoramiento de sus habilidades sociales, educativas y cognitivas, cada una de estas aplicaciones están enfocadas a establecer una actividad interactiva diferente, empezando por actividades sencillas y avanzando hasta algunas más complejas, estableciendo así un proceso eficiente en el desarrollo de estas nuevas destrezas tan importantes.

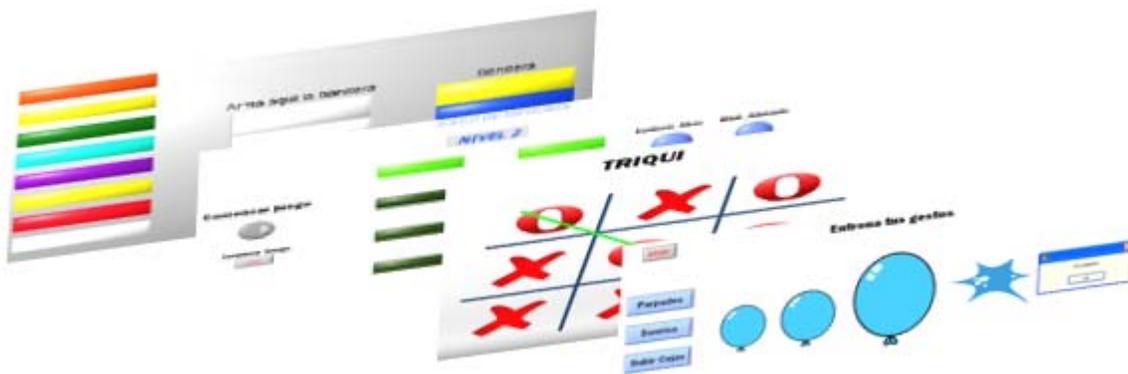


Figura 1: Actividades interactivas de la BCI

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La exploración electroencefalográfica (EEG) (Richard, Vigario, et al., 2000) (Boor, et al., 2007) implementada en el Emotiv EPOC basa su funcionamiento en un conjunto de sensores ubicados estratégicamente en distintas áreas de la cabeza; esto con el fin de interpretar las frecuencias producidas para detectar los pensamientos, los sentimientos y las expresiones del usuario. El dispositivo detecta las señales primarias emitidas en el cerebro, estos tipos de onda interpretados por el sistema EEG se han clasificado en las siguientes bandas de frecuencia:

GAMMA superior a 30 (Hz) BETA (13-30 Hz), ALPHA (8-12 Hz), THETA (4-8 Hz) y DELTA (menor a 4 Hz).

El auricular se encarga de recibir, cifrar y enviar las señales a través del puerto de comunicación para su procesamiento, valiéndose de un protocolo de abstracción lógica denominada EmoEngine. Para acceder a los registros de las señales en el equipo se recurre a las herramientas SDK proporcionadas por EmotivSystems SDK (<http://www.emotiv.com>, 2013a). Dentro de estas herramientas se destaca el EmoKey, que puede usarse para simular las señales de entrada que podrían presentarse en el auricular. Estas señales son tomadas por el EmoComposer, el cual es un emulador opcional encargado de enviar la información al EmoEngine. Con ellas se puede simular pruebas de comportamiento del usuario al momento de usar la aplicación.

El Emotiv EPOC posee 3 Suites para la detección de las señales de entrada: Expressiv, que descifra las expresiones faciales; Afectiv, cuya descripción es el estado emocional del usuario, y Cognitiv, cuya interpretación se basa sobre el uso consciente de los pensamientos.

Con las características y herramientas proporcionadas con el kit SDK (<http://www.emotiv.com/store/hardware/299>, 2013b) es posible la creación de una gran variedad de aplicaciones. En este caso se desarrolló el núcleo de funcionamiento tecnológico de un sistema terapéutico, didáctico y de investigación usando NI LabVIEW 2012 ®, que usa un lenguaje de programación denominado lenguaje G. Se recurrió a algoritmos que permiten la conectividad entre las señales obtenidas por el Emotiv EPOC y la visualización de las emociones y movimientos exploratorios del usuario.

Con el uso de la interfaz cerebro-computador BCI, se generó un sistema el cual está compuesto por dos suites **Figura 2**, en las cuales se ejecutan análisis y lecturas de emociones en el usuario, una de estas suites muestra diversas imágenes que basándose en el método de la sinestesia se generan diferentes impactos sensitivos donde se espera tomar lecturas de concentración, emoción y frustración en el usuario; la segunda suite está enfocada a un ámbito terapéutico, didáctico y de enseñanza eficiente en personas con trastornos de aprendizaje, atención, socialización y desenvolvimiento motriz.

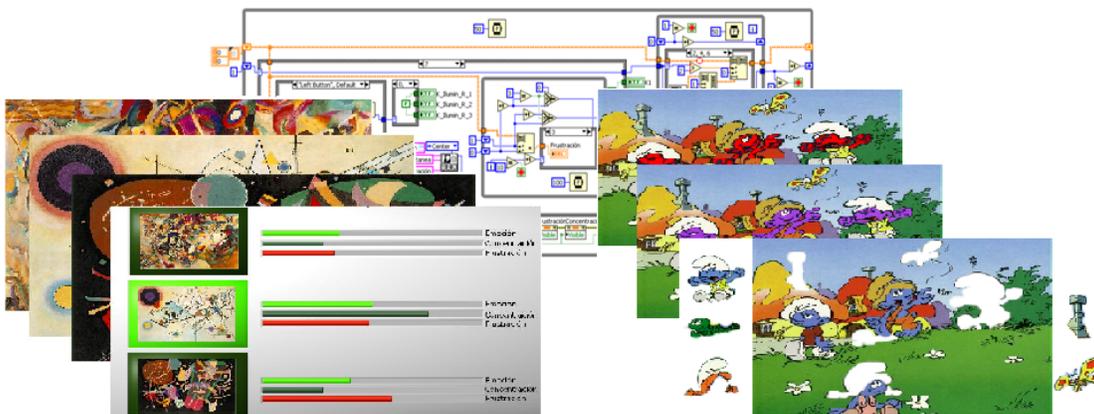


Figura 2: BCI Suite sinestesia y suite motora

El algoritmo tiene una estructura sencilla que permite cambiar el modo de desplazamiento o las expresiones faciales que administran los comandos de movimiento según el usuario. Por lo tanto se proporciona la posibilidad de elegir cuales expresiones serán las responsables de producir el movimiento a través de la interfaz. Estas expresiones se definen según el perfil del usuario.

Se usó NI LabVIEW ®, debido a su alto rendimiento en la creación y diseño de estructuras de programación, esta herramienta ofrece un acoplamiento de gran eficiencia y simplicidad. El Emotiv EPOC contiene los archivos de funciones en formato .dll. Fue necesario convertir este tipo de archivo e importarlos en formatos conocidos para LabVIEW ®. Con la disposición de las librerías en archivos VI, se logró trabajar con las diferentes funciones y así desarrollar la interfaz propuesta. Con base en estas características, se creó un plan secuencial que integra la funcionalidad favorable y un adecuado orden del programa.

Los resultados adquiridos por parte del programa se archivan en una base de datos dinámica que permite el seguimiento del proceso de cada uno de los usuarios. La base de datos es manejada en una hoja de cálculo y permite a los terapeutas llevar un control sobre cada paciente. Esto es un punto estratégico para la labor de enseñanza. Con la implementación de esta herramienta se evita, en un considerable grado, el no estancamiento de un usuario debido al desenvolvimiento de sus otros compañeros.

SUITE SINESTESIA

La suite se basa en una estructura organizada de algoritmos, que se enfoca en la adquisición de datos durante un tiempo establecido para la lectura del momento en que el usuario está reaccionando emocionalmente a los estímulos presentes en cada una de las imágenes **Figura 3**, estos datos obtenidos son ordenados y categorizados de acuerdo a cada una de las emociones detectadas (emoción instantánea, concentración y frustración), la mejor manera de ordenarlos y compararlos con gran eficiencia es mediante el uso de matrices, las cuales le brindan al sistema y al usuario la opción de analizar su propio comportamiento durante cada interacción con la BCI.

Se observó durante las pruebas realizadas que para lograr resultados más eficaces y concretos era necesario constituir un tiempo de por lo menos 1,5 segundos en la adquisición de datos durante la captación de las emociones, debido a que las librerías de desarrollo internamente así lo requerían, demostrando de esta manera que es necesario que los sensores establezcan su nivel de lectura.



Figura 3: Suite Sinestesia (Ambiente gráfico)

SUITE MOTORA

Esta suite acopla el funcionamiento entre la suite sinestesia y la parte didáctica, terapéutica y de aprendizaje en donde el usuario navegará con sus gestos dependiendo de la aplicación seleccionada (rompecabezas, juego de memoria, triqui, juego de armar banderas, entrenamiento de gestos) y mostrada en la BCI. Para el caso del rompecabezas **Figura 4** la cual es la aplicación que reúne todas las características de las demás aplicaciones, se seleccionará una de los dibujos mostrados en el cual se haya registrado el mayor nivel de concentración o emoción instantánea por parte del usuario; la imagen seleccionada se establecerá como rompecabezas y tendrá elementos que estarán distribuidos a su alrededor con el objetivo de que el usuario sea quien los ordene en el lugar correspondiente, por lo tanto el sistema le ofrece al usuario la opción de navegar utilizando sus expresiones faciales entre cada una de las siluetas que requieren su complemento.

La funcionalidad de la suite se determina por una estructura básica de algoritmos que cuenta con tres secuencias básicas, la primera donde se van visualizando en un orden determinado cada una de las partes del rompecabezas a ser organizadas, la segunda donde se desarrolla la exploración entre las siluetas que requieren de su complemento, y la tercera donde se visualiza el movimiento correspondiente a la acción realizada dependiendo si esta es correcta o inválida. Esta suite cuenta con ayudas visuales y estrategias de navegación para aumentar la motivación de la persona en la experiencia con la herramienta, generando así resultados prometedores a largo plazo.

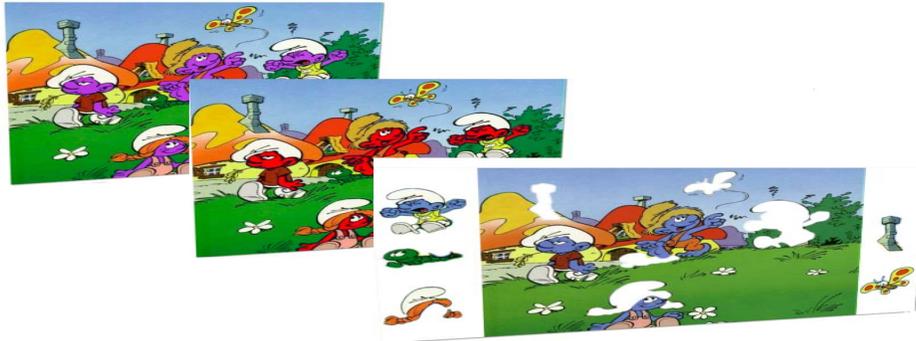


Figura 4: Suite Motora (Ambiente gráfico)

En la Figura 5 se hace una descripción general del funcionamiento y estructura del sistema.

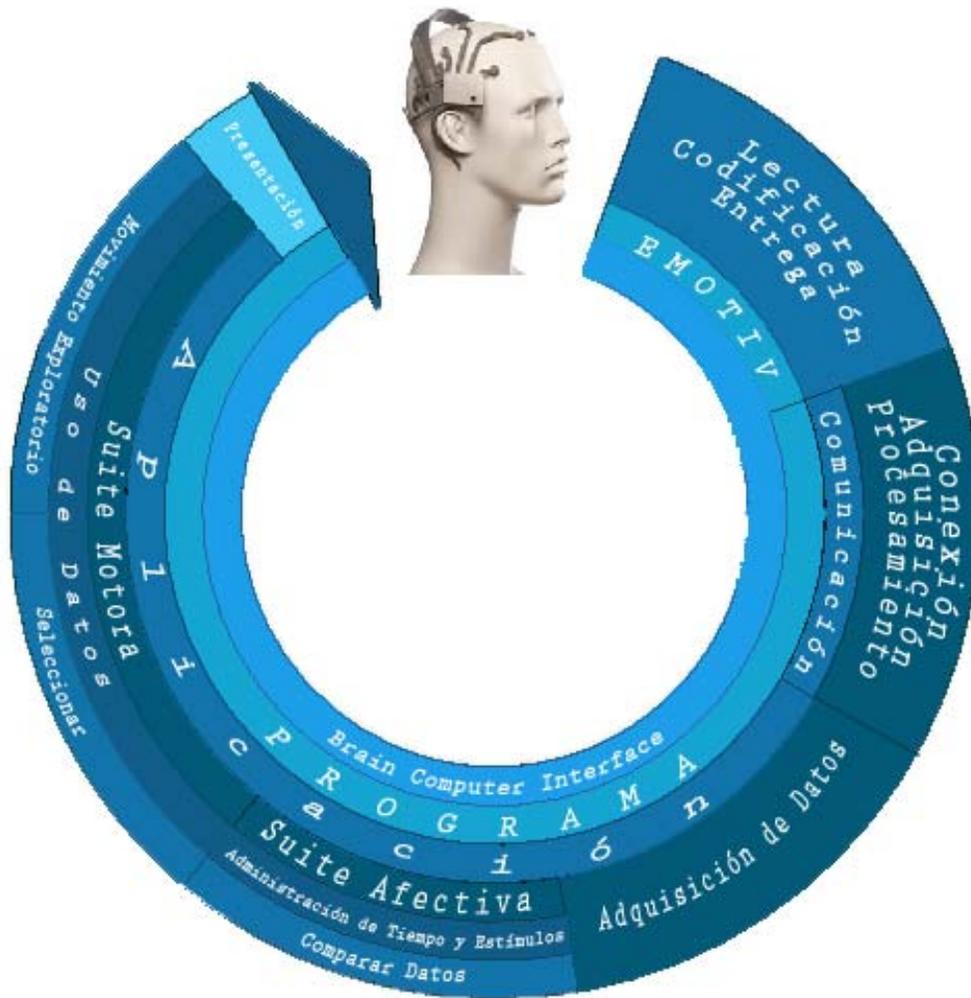


Figura 5: Descripción general del sistema

ANALISIS DE RESULTADOS

La primera etapa del trabajo basó su objetivo principal en la generación de un Sistema Alternativo y Aumentativo de Comunicación (SAAC). La programación estratégica de las herramientas sentó las bases para el desarrollo de una aplicación que combinara otras lecturas funcionales del cerebro como la respuesta emocional a un estímulo. Esta nueva perspectiva junto con los alentadores avances representados en el seguimiento de instrucciones, desarrollo de habilidades comunicativas y aumento del interés por parte de los pacientes en las sesiones de terapia cuando son asistidos por el SAAC, permiten ampliar el espectro patológico que puede ser cubierto por nuestra BCI dando la oportunidad de beneficiar a nuevos usuarios.

Como resultado de varias pruebas y ajustes se logró obtener un programa que demanda pocos recursos de procesamiento. Esto representa la posibilidad de utilizar el programa en equipos de bajo rendimiento. Esta característica es valiosa en el centro asistencial donde se está validando el programa debido a que éste usa los equipos que son inutilizados o donados por otras entidades.

RESULTADOS TERAPEUTICOS DESTACADOS

APRENDIZAJE DE CONCEPTOS

La experiencia de aprendizaje se ve significativamente mejorada por la BCI desarrollada. Los resultados de la **Figura 6** fueron obtenidos con una prueba piloto que se puede extrapolar a otros conceptos relacionados con la socialización, contextualización, uso de herramientas y demás áreas relevantes de la cotidianidad.

En la prueba se le enseñó al individuo una secuencia de colores y se procedió a evaluar que aspectos recordaba de la secuencia (Colores y Orden de los colores). Las dinámicas de la actividad se basaron en el uso de la BCI, que le permitía realizar la ubicación de cada uno de los colores de una manera didáctica, contrastada con el reconocimiento de una imagen estática.

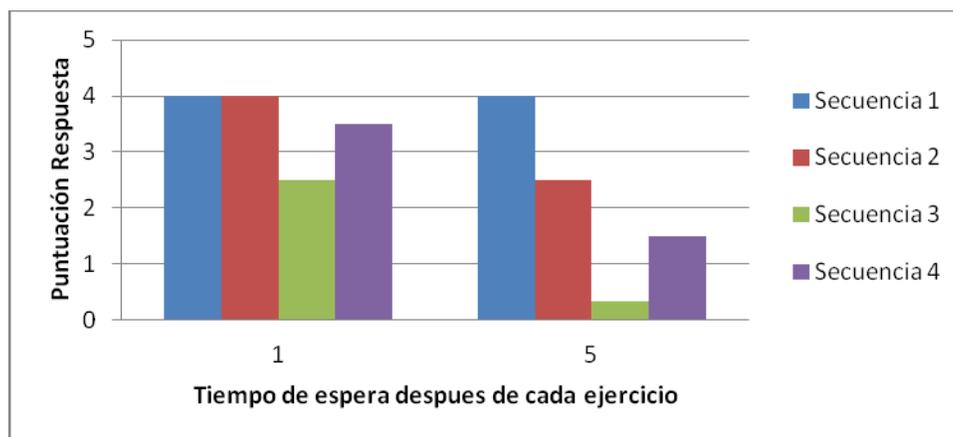


Figura 6: Las secuencias 1 y 2 fueron enseñadas con la asistencia de la BCI, las secuencias 3 y 4 fueron enseñadas por medio del reconocimiento de una imagen estática. Los valores del grupo 5 muestran los resultados obtenidos 5 minutos después de finalizar la actividad

SEGUIMIENTO DE INSTRUCCIONES

Uno de los problemas más frecuentes en los pacientes que presentan este tipo de patologías está relacionado con el seguimiento de instrucciones. Para evaluar la incidencia del uso de la BCI en este aspecto, se propuso un ejercicio en el que el usuario debía realizar repetidamente un gesto.

Para este ejercicio la aplicación piloto consta de un pequeño globo que se inflaba con cada realización exitosa del gesto. La prueba se contrastó con una dinámica en la que se le pedía al paciente que realizara consecutivamente el gesto durante el mismo tiempo que tardaba el ejercicio con la BCI.

Los resultados en la **Figura 7** relacionan el número promedio de gestos que realizó el paciente en cada dinámica después de varios ejercicios.

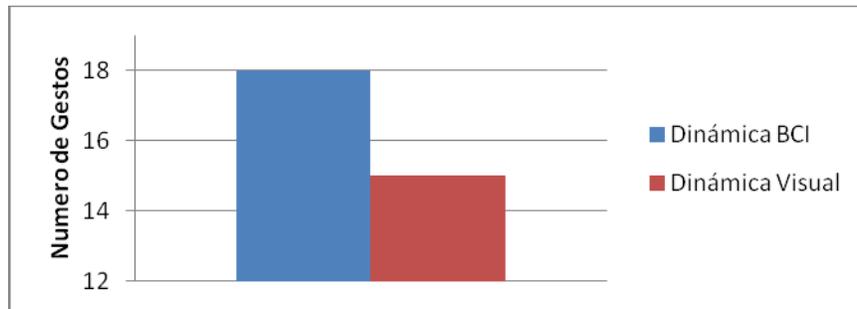


Figura 7: Contraste de los resultados promedio entre el uso de la BCI y la ejecución de gestos sin el uso de la BCI

RELACION CON EL MEDIO CIRCUNDANTE

La medición del impacto del BCI en terapias que trabajan el mejoramiento de la relación del paciente con el medio que lo rodea, se realizó teniendo en cuenta un conjunto de habilidades indispensables para la correcta interacción con el entorno. El ejercicio usó dos dinámicas para este fin. La primera se basó en la construcción de un rompecabezas con el uso de la BCI, la segunda se basó en reconocer una imagen estática en el computador. Se debe tener en cuenta que en ambas actividades se contó con la asistencia de la terapeuta y del computador. Al finalizar cada actividad se le hacían preguntas que evaluaran las habilidades necesarias para el buen desenvolvimiento del sujeto en el medio que lo rodea. La **Figura 8** contiene la evaluación que recibió el sujeto en cada respuesta.

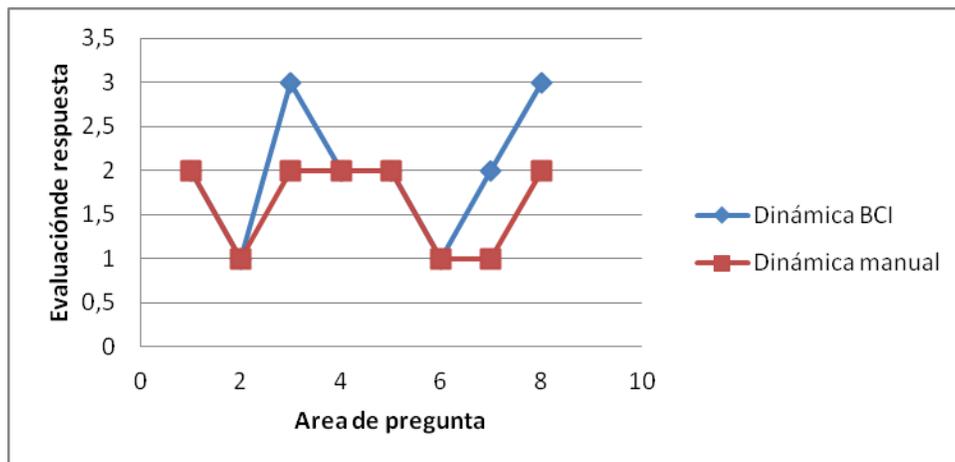


Figura 8: Los puntajes obtenidos en cada evaluación eran otorgados en un rango de 1 a 3 de acuerdo a la validez de la respuesta

Se realizó una prueba piloto en la cual un paciente trabajo durante cuatro días diferentes con el sistema, se evaluaron los tiempos en los que realizaba cada una de las actividades propuestas para determinar la funcionalidad y eficacia de este, los resultados comparados se pueden observar en la **Figura 9**.

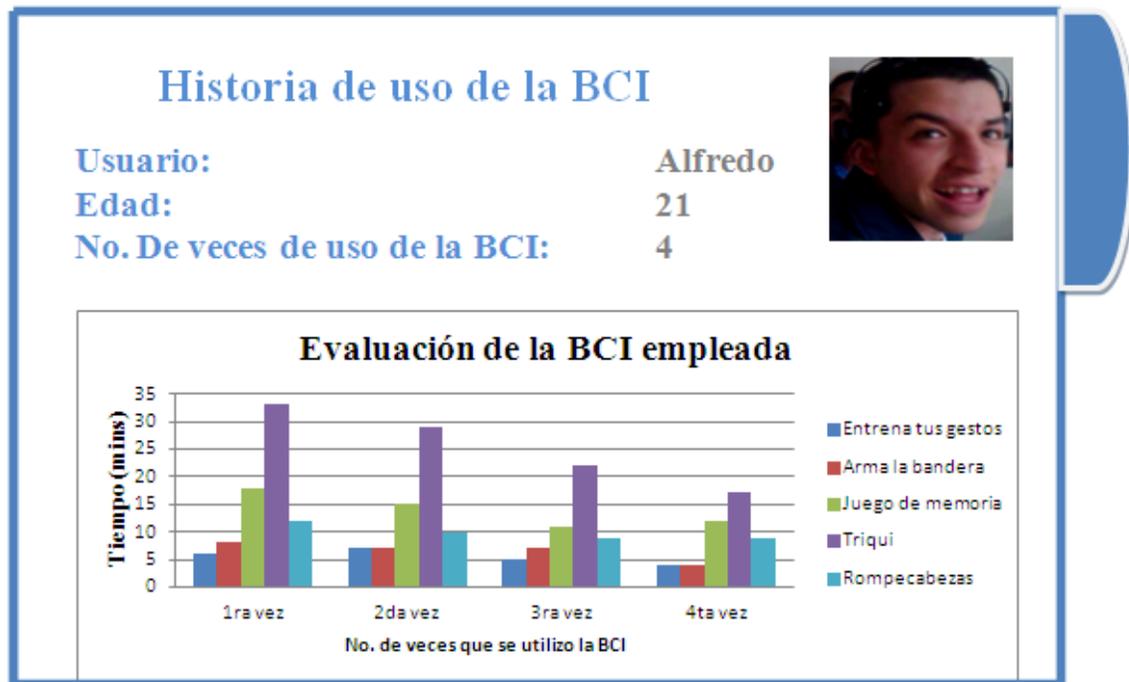


Figura 9: Resultados obtenidos a partir de las mediciones de tiempo en realizar las actividades de la BCI.

RESULTADOS ESPERADOS Y VALIDACIÓN DEL PROGRAMA

Se espera que los beneficios inmediatos del uso de la BCI en las terapias exploradas impacten en una proporción parecida los resultados que se pueden obtener a mediano y largo plazo.

La validación del programa se está realizando con apoyo de la fundación Casa de la Esperanza. El grupo de evaluación piloto para esta BCI fue de 3 pacientes. Se espera que la validación del programa cubra a todos los pacientes tratados en el centro asistencial. La evaluación de la mayoría de los resultados se seguirá con el manejo de la base de datos de cada aplicación.

CONCLUSIONES

- Es necesario tener en cuenta que las actividades requieren del acompañamiento permanente de un tutor, pero se espera que el individuo obtenga mayor autonomía a medida que se familiariza con el uso de las aplicaciones y se beneficia con los resultados a mediano y largo plazo de las nuevas dinámicas.
- La disponibilidad de imágenes de alta calidad y el cambio de ambiente grafico requiere esfuerzos de programación y consumo de recursos de procesamiento adicionales. Sin embargo es uno de los aspectos que más llaman la atención del paciente y asegura una personalización básica del programa para cada uno de ellos.
- El uso de la BCI como herramienta novedosa con tecnología de punta, ha sido un estímulo que ha aumentado la motivación de los pacientes por asistir y trabajar en la terapia y de manera proporcional el aumento de los resultados propuestos en las sesiones terapéuticas, especialmente en la terapia de fonoaudiología.
- El grupo especializado de terapeutas determinó que la herramienta facilita y hace más interesantes las labores terapéuticas con los pacientes.

REFERENCIAS

- Boor et al., R (2007), *Combined spike-related functional MRI and multiple source analysis in the non-invasive spike localization of benign rolandic epilepsy*. Clinical Neurophysiology. Número 118. pp. 901 , 909.
- Emotiv EPOC Software Development Kit (2013), Available at: [<http://www.emotiv.com/store/hardware/299/>].
- Ferrari, E., Robins, B., & Dautenhahn, K. (s.f.).(2009) "*Therapeutic and educational objectives in robot assisted play for children with autism*" Robot and Human Interactive Communication.
- G Pfurtscheller, Ch Neuper et al. (1997), *EEG-based discrimination between imagination of right and left hand movement, Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 103, 642-651.
- J.R.wolpaw, D.J.McFarland, and M.Vaughan, et al. (2002), *Brain- Computer Interfaces for Communication and Control, Clinical Neurophysiology* 113.767-791.
- Life tips autism tips (2013), <http://autism.lifetips.com/treatment-and-therapies-for-autism/index.htm>.
- Malagon Valdez, J. (2007). *Paralisis Cerebral*.
- Michelle Sherer, K. L. (2001). *Enhancing Conversation Skills in Children with Autism Via Video Technology*.
- Richard, Vigario, et al. (2000), *Independent component Approach to the analysis of EEG and MEG Recordings*, IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol.47, No.5.
- Robin P. Goin-Kochel et al. (2007), *Parental reports on the use of treatments and therapies for children with autism spectrum disorders*. Volume 1, Issue 3, Pages 195–209.
- Rojas Gil, J. S., & Garzón Espitia, E. J.et al.,(2012) *Lector de ondas cerebrales para implementar un sistema alternativo y aumentativo de comunicación*.
- Soto Pérez, F. J.(2002), *Las nuevas tecnologías en la respuesta educativa a la diversidad*. Murcia, España.
- Tina R. Goldsmith, L. A. (2004). *Use of Technology in Interventions for Children with Autism*.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.