

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE INTERFACES CEREBRALES EN EL APRENDIZAJE Y EVALUACIÓN ADAPTATIVOS

Rosa María Arnaldo Valdés, Javier Iglesias Hernández, Fernando Gomez Comendador, Javier Crespo, Luis Perez, Jose Feliz Alonso

Departamento de Sistemas Aeroespaciales, Transporte Aéreo y Aeropuertos
E.T.S. de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio, Universidad Politécnica de Madrid

Resumen. *Este proyecto de innovación educativa persigue el desarrollo de interfaces cerebrales de bajo coste que permitan mejorar los métodos de aprendizaje y evaluación adaptativos de los alumnos, mediante la realización de medidas de electro-encefalograma (EEG) fiables para evaluar el estado cognitivo y el nivel de aprendizaje alcanzado por los mismos.*

El método propuesto se basa en la monitorización de los patrones cerebrales mediante EEG cuando se realizan tareas de distinta complejidad, de tal forma que se alcancen dos objetivos:

- 1. Evaluar la usabilidad de los EEG de bajo coste para determinar el estado cognitivo de los alumnos durante el proceso de aprendizaje, valorando si la calidad de las medidas que permiten es suficiente para este propósito.*
- 2. Desarrollar algoritmos de procesamiento de las señales obtenidas que permitan identificar el estado cognitivo del alumno así como el nivel de aprendizaje adquirido.*

Palabras clave: Desarrollo de TIC's, Analíticas de aprendizaje - *Learning analytics*, Evaluación del desempeño, Evaluación del aprendizaje, Aprendizaje adaptativo, Neuroaprendizaje, BCI- Brain Computer Interface.

1. Introducción

El desarrollo del presente proyecto de innovación educativa persigue **avanzar en el proceso de mejora continua de la calidad de la enseñanza** con el que se identifican las universidades públicas del país, basándose en las premisas de colaboración entre los docentes y los estudiantes, así como en el empleo de la última tecnología neurológica. El **aprendizaje y la evaluación adaptativos**, principal foco de atención del proyecto, se basa en la búsqueda de métodos para ajustar el nivel de exigencia al que se ve sometido el alumno a la dificultad de las tareas, pruebas o lecciones impartidas.

Hasta ahora, los entornos de aprendizaje se basan principalmente en el rendimiento y el comportamiento de un alumno. Estos sistemas [1] [2] tienen como objetivo diagnosticar la estructura de conocimiento en desarrollo de un alumno basada en respuesta a preguntas, selección de enlaces o errores durante la resolución de problemas. Sin embargo, las predicciones en línea de los estados de carga de trabajo, fatiga y atención del alumno se pueden utilizar para adaptar de forma específica y personalizada el material de aprendizaje presentado al sujeto [3], [4] ayudando a mantener la carga de trabajo de cada alumno dentro de un rango óptimo para el aprendizaje. El principal desafío para lograr este objetivo es encontrar mediciones apropiadas que permitan el seguimiento en tiempo real no intrusivo de la carga de trabajo de un alumno. Dicha meta puede ser alcanzada con procedimientos o dispositivos que permitan evaluar dicha exigencia, como lo es la **prueba de electroencefalografía (EEG)**. La teoría neurológica actual y los más recientes

estudios cognitivos del aprendizaje permiten establecer una relación entre la actividad cerebral (las ondas del cerebro y las zonas del cerebro donde se producen) y la dificultad de las tareas de aprendizaje y el nivel de desempeño alcanzado en la adquisición de actividades. El método propuesto en este proyecto se basa por tanto en la monitorización de los patrones cerebrales de los alumnos, mediante encefalogramas (EEG), cuando estos realizan tareas de diferente complejidad, para así reflejar el nivel de aprendizaje y de dominio de las habilidades a adquirir.

2. Planteamiento del proyecto

Este proyecto persigue, por tanto, inspirándose en las investigaciones recientes en neurociencia y los avances en la detección portátil de EEG, hacer uso de la integración de este tipo de interfaces BCI (*Brain-Computer Interface*) con un nuevo modelo de enseñanza y evaluación basado en el ajuste de estos procesos a las necesidades reales de los alumnos. El proceso a seguir es el resumido en la **Figura 1**. El **estudio de innovación se basa en** la interrelación entre:

- El **aprendizaje y evaluación adaptativos**, método educativo que considera las habilidades mostradas por el alumno en pruebas, ejercicios o situaciones previas para acto seguido ajustar el nivel de dificultad o la visualización del material educativo. Un esquema ejemplo de aprendizaje y evaluación adaptativos, así como su interrelación con técnicas EEG, queda recogida en la **Figura 2**.
- En segundo lugar, el uso de la **electroencefalografía (EEG)**, prueba no invasiva que estudia mediante electrodos el funcionamiento nervioso a partir de la actividad neuronal de la corteza del cerebro. El dispositivo de EEG permite detectar las zonas de mayor actividad cerebral, obtener y representar las ondas o impulsos eléctricos cerebrales (ondas Alfa, Beta, Gamma y Theta), e identificar los ritmos normales y patrones seguidos por estas cuando el alumno se somete a distintos estímulos y situaciones externas (estrés, actividades de alto/bajo nivel de exigencia,...).

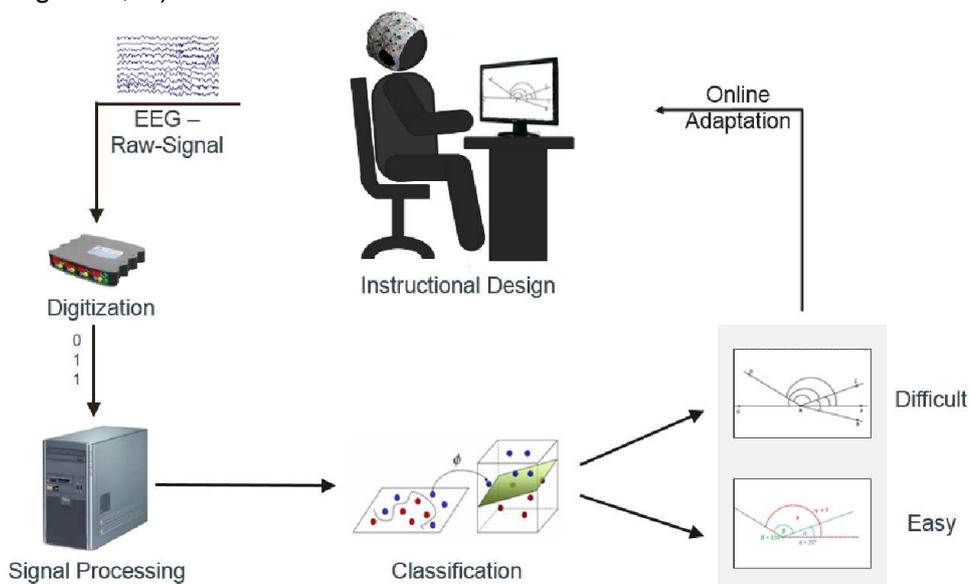


Figura 1. Proceso esquemático de una aplicación BCI - Aprendizaje adaptativo basado en información EEG

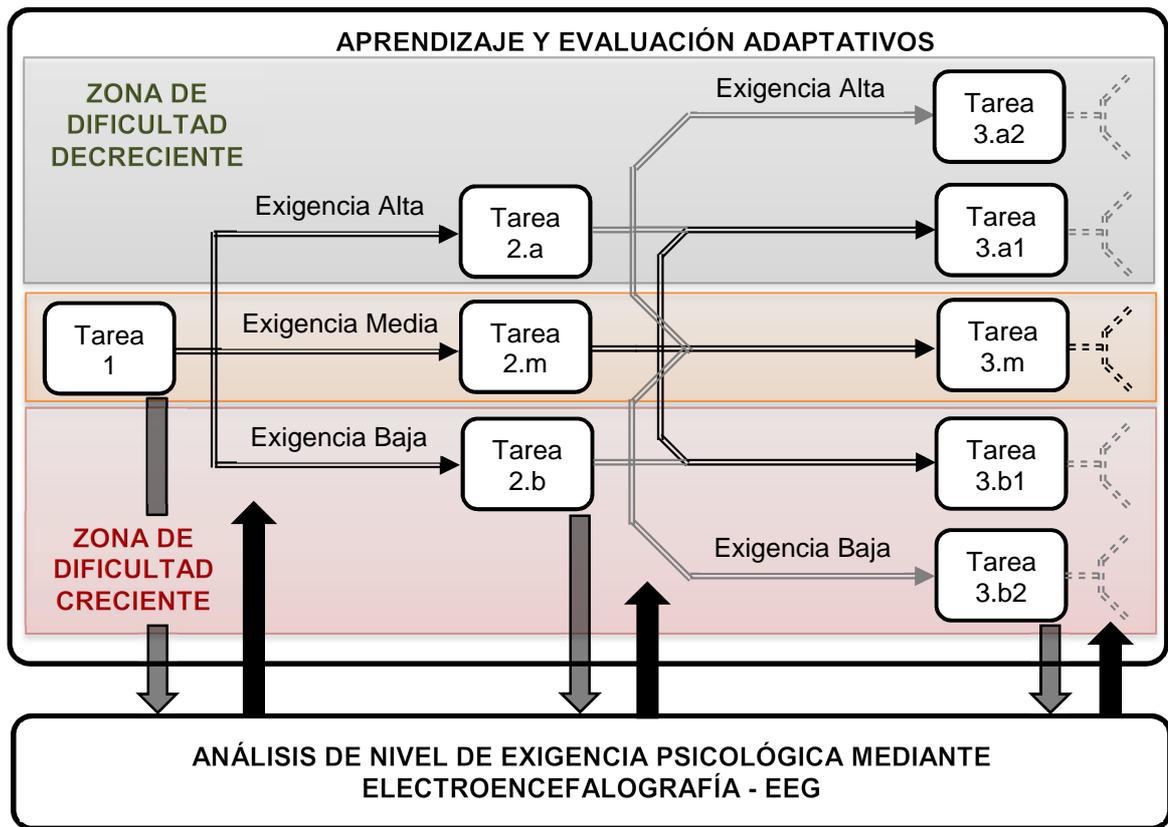


Figura 2. Modelo de aprendizaje/evaluación adaptativo y su relación con la EEG

Los dos factores críticos que han impulsado la realización de este proyecto son los que siguen:

1. La **actual situación del mercado tecnológico**, y más en concreto el relacionado con el ocio y los videojuegos, que brinda la posibilidad de adquirir dispositivos de medición EEG no intrusivos, de bajo coste y de fácil manejo. Hasta hace no mucho tiempo, el alto precio y la incomodidad de estos aparatos restringían su utilización en sistemas de aprendizaje y evaluación.
2. La **previa realización de proyectos** dentro de la E.T.S.I.A.E. relacionados con el desarrollo de modelos cognitivos de carga de trabajo en entornos similares a los experimentados por un controlador de tráfico aéreo (controlador ATC) [5], así como el uso de la electroencefalografía en aplicaciones prácticas como el control de un drone [6]

Atendiendo a lo todo lo mencionado anteriormente, el proyecto de innovación educativa cuenta con un objetivo principal y dos sub-objetivos:

- **Objetivo principal:** Analizar la viabilidad de la aplicación de interfaces informáticas del cerebro basadas en electroencefalograma (EEG) de bajo coste a las estrategias y sistemas de aprendizaje y evaluación adaptativos.
- **Sub-objetivo nº1:** Evaluar la usabilidad de dispositivos EEG de bajo coste para la medida de ondas cerebrales con propósitos educativos y de investigación.

- **Sub-objetivo nº2:** Desarrollar algoritmos de procesamiento de las señales neurológicas que permitan la evaluación del estado cognitivo del alumno al enfrentarse a tareas de distinta complejidad.

3. Metodología empleada y resultados obtenidos

El análisis de la literatura ha permitido identificar dos líneas de investigación prometedoras para incorporar la tecnología EEG en el aprendizaje adaptativo, habiéndose centrado las actividades del proyecto hasta el momento en la primera(

- Determinación de carga de trabajo ó carga de memoria de trabajo (cantidad de recursos mentales que se utilizan para ejecutar una tarea específica).
- Determinación del estado emocional y su influencia en el aprendizaje [7] [8] [9].

La carga de trabajo durante el aprendizaje es el resultado de una interacción entre la complejidad de los contenidos a aprender, el diseño instruccional y el conocimiento previo de un aprendiz [10]. Hasta ahora, los métodos para la detección de la carga de trabajo se basan principalmente en las calificaciones subjetivas de carga de trabajo [11], o en procedimientos de doble tarea [12]. El EEG se puede utilizar para estimar la cantidad de carga de trabajo de cada alumno durante una sesión de aprendizaje, basándose en la siguiente hipótesis: **el aumento de la carga de trabajo conduce a un aumento de actividad en la banda de frecuencia theta (sincronización) en los electrodos de la zona frontal [13] [14] y a una disminución de actividad de la banda de frecuencia alfa (desincronización) sobre la zona parietal y occipital [13] [15].**

Para verificar la viabilidad de medir la carga de trabajo mental con dispositivos EEG de bajo coste se han realizado un conjunto de experimentos que han empleado tecnologías accesibles y con un entorno de aprendizaje basado en juegos on-line [16] de dificultad incremental que no requieren conocimientos específicos previos del alumno. Estos mini-juegos ponen a prueba una serie de habilidades cognitivas básicas. Por ejemplo, el juego Shape Tracking, prueba la habilidad para seguir un elemento en la pantalla, con cada nivel aumentando en dificultad. De cara al estudio, el nivel 1 se etiquetó como poca carga de trabajo, y el nivel máximo al que ha llegado cada sujeto será alta carga de trabajo.

Las mediciones se realizaron con el equipo, Emotiv Insight [17], un auricular inalámbrico EEG de 5 canales que registra ondas cerebrales y las traduce en datos significativos que puedan entenderse. El Emotiv Insight utiliza un sensor de polímero patentado que es seguro de usar y ofrece una gran conductividad eléctrica con la conveniencia de que es un sensor seco. El procesamiento de las señales se realizó con el SW EEGLAB [18], una caja de herramientas interactiva Matlab para procesar datos EEG, MEG y otros datos electrofisiológicos continuos y relacionados con eventos que incorporan análisis de componentes independientes (ICA), análisis de tiempo / frecuencia, rechazo de artefactos, estadísticas relacionadas con eventos y varios modos útiles de visualización del promedio y datos de ensayo único. La **Figura 3** muestra el dispositivo de medida y una instantánea de los experimentos realizados. Se realizaron pruebas con 5 sujetos y tres niveles de dificultad. La **Figura 4** ilustra los resultados obtenidos al calcular la PSD (Power Spectral Density' ó Densidad Espectral de Potencia) en las bandas Theta y Alfa.



Figura 3. Dispositivo de medida y experimentos realizados.

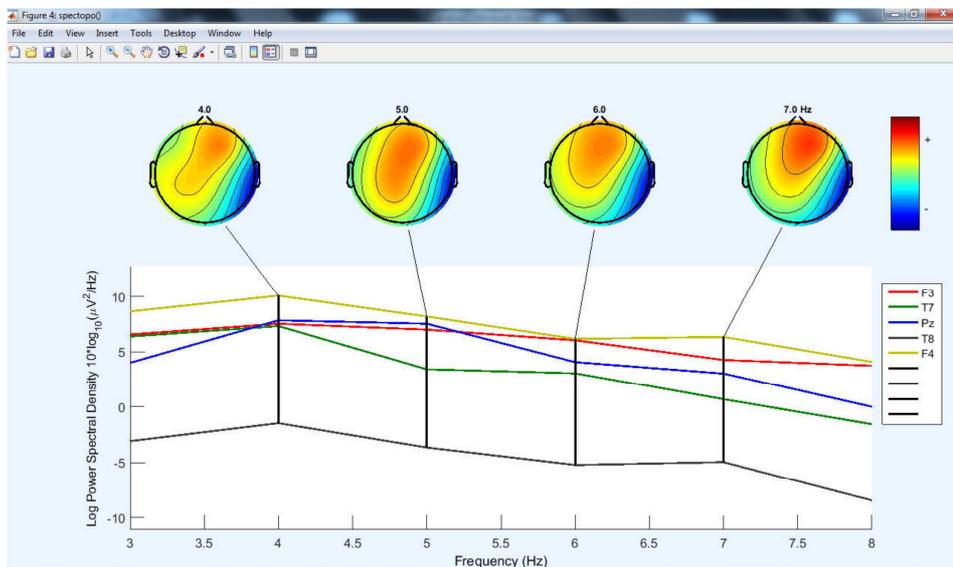


Figura 4. Ejemplo de resultados procesados. (Valores de PSD del sujeto 1 en banda theta para baja carga de trabajo de la prueba 1)

4. Conclusiones

Analizando el comportamiento de la PSD theta frontal para las distintas pruebas y en los distintos sujetos, se puede apreciar que aumenta la PSD en condiciones de alta carga de trabajo, en comparación con la PSD theta frontal medida para baja carga de trabajo. Además, se cumple que esta variación de PSD theta frontal en los sujetos es menor a medida que aumenta el tiempo de sesión. Estos datos corroboran la hipótesis asumida en el planteamiento del experimento.

Las experiencias realizadas satisfacen los objetivos iniciales del proyecto, ya que han permitido la familiarización con el dispositivo de medida EEG de bajo coste, probando su valía para el fin pretendido; y han permitido identificar una metodología e indicadores que permiten estimar la carga de trabajo asociada a tareas de aprendizaje. Se confirma por tanto que esta línea de trabajo tiene potencial para continuar con el desarrollo. No obstante, este trabajo constituye únicamente una primera toma de contacto y una prueba del concepto que ha seguir desarrollando en trabajos posteriores.

REFERENCIAS

- 1] A. Corbett, «Cognitive computer tutors: Solving the two-sigma problem.,» de *Proceedings of the 8th International Conference on User Modeling*, 2001.
- 2] A. G. a. D. McNamara, «Self-regulated Learning in Learning Environments with Pedagogical Agents that Interact in Natural Language.,» *Educ. Psychol*, 2010.
- 3] D. E. A. A. S. M. a. M. P. Tian Lan, «Channel selection and feature projection for cognitive load estimation using ambulatory EEG.,» *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2007.
- 4] M. a. K. L. A. G. Pavel, « Augmented cognition: allocation of attention.,» de *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2003.
- 5] «AUTOPACE. Facilitating the AUTOMation PACE,» [En línea]. Available: <http://autopace.eu/>.
- 6] F. G. C. L. P. a. A. R. Rosa Arnaldo, «Motor imagery brain-computer interface for RPAS command and control,» de *8th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 2017.
- 7] R. R. a. P. R. Kort B., «An affective model of interplay between emotions and learning:reengineering educational pedagogy-building a learning companion,» de *An affective model of interplay between emotions and learning:reengineering educational pedagogy-building a learning companion,* in *Proc.IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2001.
- 8] W. M. M. D. a. G. J. Lepper M., «Motivational Techniques of Expert Human Tutors: Lessons for the Design of Computer-Based Tutors,» de *Computers as Cognitive Tools*, Lawrence Erlbaum Associates, 1993.
- 9] L. M. a. W. M., «The Wisdom of Practice: Lessons Learned from the Study of Highly Effective Tutors,» de *Improving Academic Achievement: Impact of Psychological Factors on Education*, Academic Press, 2002.
- 10] P. A. P. C. a. J. S. S. Kalyuga, «The expertise reversal effect.,» *Educational Psychologist*, 2003.
- 11] J. T. H. T. a. P. W. V. G. Fred Paas, «Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory.,» *Fred Paas, J.E. Tuovinen, Huib Tabbers, and Pascal W.M. Van Gerven. Cognitive LEducational Psychologist*, 2003.
- 12] K. S. a. P. G. Gabriele Cierniak, «Explaining the splitattention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load?,» *Computers in Human Behavior*, 2009.
- 13] M. S. L. M. a. D. Y. Gevins, «High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice.,» *Cereb Cortex*, 1997.
- 14] H. H. a. C. M. K. M. Pesonen, «Brain Oscillatory 4-30 Hz responses during a visual n-back memory task with varying memory load.,» *Brain Research*, 2007.
- 15] H. G. R. C. N. A. F. a. C. N. A. A. Stipacek, «Sensitivity of human EEG alpha band desynchronization to different working memory components and increasing levels of memory load.,» *A. Stipacek, H. Grabner, R., C. Neuper, A. Fink, and C. Neubauer, A. Sensitivity of human EEG alpha band desynchronization to different worNeurosci Letter*, 2003.
- 16] «<http://www.nats.aero/careers/trainee-air-traffic-controllers/games/>,» [En línea].
- 17] «<https://www.emotiv.com/insight/>,» [En línea].
- 18] «<https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php>,» [En línea].