

Example of Applications of Neurosignal Recordings in Management

Luz Moreno¹ ; Cesar Peña² ; Ruby Jaimes³ 

Universidad de Pamplona, Colombia, ¹luz.moreno@unipamplona.edu.co, ²cesarapc@unipamplona.edu.co

³ruby.jaimes@unipamplona.edu.co

Abstract– *This paper presents examples in which neurosignals such as concentration, stress, arousal, engagement, interest, and attention are recorded to improve operations in the area of management. The operation of three types of brain-computer interfaces is briefly described. A general methodological framework for developing applications in this field is outlined. Four case studies are presented that demonstrate the relevance of BCI tools in administrative processes.*

Keywords– *Management, Brain-computer interface (BCI); Neurosignals; EEG, Emotional states.*

Ejemplo de Aplicaciones de Registros de Neuroseñales en Administración

Luz Moreno¹; Cesar Peña²; Ruby Jaimes³

Universidad de Pamplona, Colombia, ¹luz.moreno@unipamplona.edu.co, ²cesarapc@unipamplona.edu.co

³ruby.jaimes@unipamplona.edu.co

Resumen— En este artículo se presentan una serie de ejemplos en los cuales se realizan registros de neuroseñales tales como la concentración, estrés, excitación, compromiso, interés, atención para mejorar operaciones en el área de la administración. Se presenta brevemente el funcionamiento de tres tipos de interfaces cerebro-computador. Se describe una estructura metodológica general para la realización de aplicaciones en este ámbito. Se presenta cuatro casos que evidencian la relevancia de las herramientas BCI en los procesos administrativos.

Palabras clave — Administración, Interfaz cerebro-computador (ICC); Neuroseñales; EEG, Estados emotivos.

I. INTRODUCCIÓN

En la última década la disponibilidad de las interfaces cerebro-computador de bajo costo y fácil adquisición basada en sistemas de electroencefalografía han aumentado la medición de estados cognitivos y emotivos fuera del ámbito clínico.

Una revisión de literatura reciente identificó cientos de estudios que emplean dispositivos BCI para consumo e investigación. Estas herramientas potencian escenarios donde la instrumentación tradicional es inviable [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Paralelamente, el uso de señales neurofisiológicas en marketing, comportamiento del consumidor y toma de decisiones, ha mostrado un crecimiento continuo. Estos trabajos demuestran tendencias y consolidan la integración de neurociencia y la psicología en la investigación de decisiones del consumidor y estímulos de marketing. En este contexto, la evidencia sugiere que métricas derivadas de BCI pueden complementar indicadores tradicionales tales como encuestas e indicadores operativos al capturar componentes no verbales y de rápida latencia asociados a la evaluación de estímulos, preferencia y respuesta atencional [9].

Este artículo presenta ejemplos de aplicación de registros de neuroseñales (concentración, estrés, excitación, compromiso, interés y atención) para mejorar operaciones y procesos en administración, describiendo de forma sintética el funcionamiento empleando tres BCI comerciales de bajo costo. Además, se propone una estructura metodológica general para el diseño experimental y se desarrollan cuatro casos que evidencian la relevancia de estas herramientas en procesos administrativos y de marketing.

Este artículo está estructurado de la siguiente forma: en la sección 2 se presentan los materiales y métodos empleados para la investigación, abordando desde el diseño del estudio, los participantes, los materiales, el procedimiento experimental y el análisis de datos. En la sección tres se ilustran los resultados

correspondientes a 4 casos. En la sección 4 se presentan las principales conclusiones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Captura de neuroseñales por medio de interfaces cerebro computador de bajo costo

Las interfaces cerebro computador (ICC o BCI por sus siglas en inglés) son sistemas de captura de neuroseñales, que por lo general emplean técnicas de electroencefalografía (EEG). Estos dispositivos cuentan con electrodos húmedos, secos o semisecos que se ubican en diferentes partes de la cabeza para analizar el comportamiento de cerebro. Estos sistemas son no invasivos y permite registrar ondas que se clasifican según su frecuencia en delta (1 a 4 Hz), theta (4 a 7 Hz), alpha (7 a 13 Hz) Beta (13 a 30 Hz), entre otros. Estas señales se preprocesan para reducir ruidos o artefactos y posteriormente se analizan para extraer características que pueden ser traducidas en indicadores de intención, carga cognitiva, estrés, etc. A nivel comercial han tenido un auge y evolución muy significativa en las dos últimas décadas.

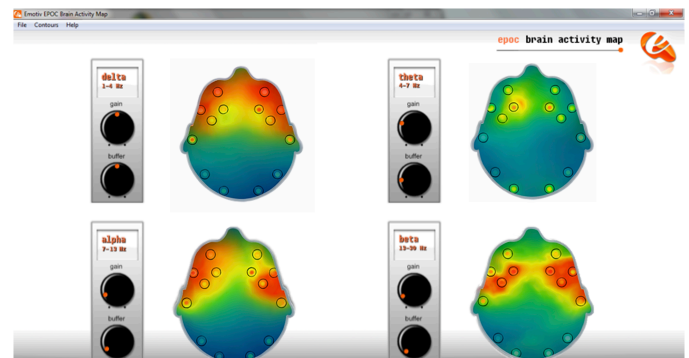


Fig. 1 Ejemplo de la captura de Neuroseñales y su representación en un mapa de actividad cerebral.

Dentro de las BCI más difundidas a nivel comercial se encuentran las de la empresa Emotiv (una de las pioneras en este campo) como lo son: la Emotiv EPOC que es un dispositivo de EEG inalámbrico para consumo e investigación [10], la Emotiv EPOC Flex la cual es configurable con validaciones EEG/ERP [11], la Emotiv Insight que es una diadema compacta de 5 canales, empleada para estudios aplicados [12]. Por otra parte, se cuenta con otros dispositivos como MindWave mobile 2 de la empresa NeuroSky [4], [13], la cual cuenta con un canal, es muy difundida. Está el dispositivo Muse con 4 canales y está ampliamente citado [14], el dispositivo MyndPlay Mindband [15], g.tec medical engineering Unicorn Hybrid Black [16],

g.tec Nautilus [10] y dentro de las plataformas abierta se destacan OpenBCI Cyton [17] y OpenBCI Ganglion [1].

En este trabajo se han empleado aplicaciones con los dispositivos: Emotiv EPOC+, Emotiv Insight y MindWave mobile 2. Con respecto a las dos primeras fabricadas por la empresa Emotiv, se destaca que cuentan con 14 y 5 canales respectivamente. La primera cuenta con sensores que se hidratan con una solución salina para mejorar la conductividad mientras que la segunda cuenta con sensores de polímero semi-húmedos que facilitan su configuración entre 1 y 2 minutos solamente.



Fig. 2 Interfaces cerebro computador de la empresa Emotiv empleadas en este estudio. a) Emotiv EPOC+, b) Emotiv Insight

En la Fig. 3 se ilustra un ejemplo del registro de neuroseñales correspondientes a los estados emotivos, empleando la suite Emotiv Xavier Control Panel. Esta suite permite estimar el grado de interés, compromiso, estrés, relajación, entusiasmo y concentración de los usuarios. Adicionalmente permite visualizar los registros en dos ventanas con diferentes escalas de tiempo.



Fig. 3 Registro de neuroseñales correspondientes a los estados emotivos empleando la suit Emotiv Xavier Controlpanel

Adicionalmente esta plataforma también cuenta con otras dos suites que permite la estimación de estados cognitivos y el reconocimiento de expresiones faciales. En la Fig. 4 se aprecia el entrenamiento del sistema para que un usuario mueva una figura en diferentes direcciones solo con pensarlo. En la parte derecha de la misma figura se muestra un avatar que refleja las expresiones que realiza el usuario de la BCI.

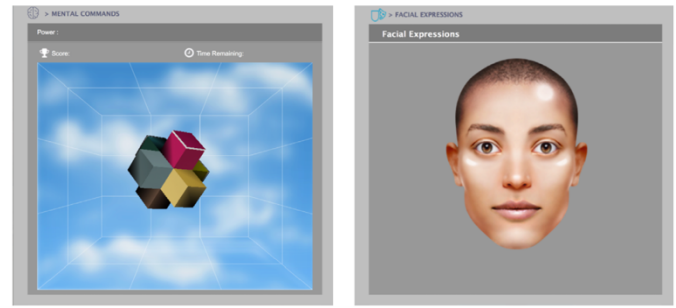


Fig. 4 Reconocimiento de estados cognitivos y expresiones faciales basándose en las neuroseñales.

Debe resaltarse que estas dos BCI cuentan con conectividad inalámbrica lo que les hace idóneos para un gran número de aplicaciones, sin embargo, el Emotiv EPOC requiere de un tiempo de calibración mayor al del Insight. Además, algunas versiones requieren de la hidratación de sus sensores, lo cual reduce su autonomía experimental. Por otra parte, la BCI Insight requiere de un tiempo de calibración entre 1 y 2 minutos solamente, lo cual lo hace idóneo para aplicaciones de campo o fuera del laboratorio. Existen algunas aplicaciones de dispositivos móviles que permite el registro de los estados emotivos y sus principales indicadores como la media y el porcentaje de tiempo que cada una de las señales estuvo en un nivel determinado (alto, medio o bajo), como se puede apreciar en la Fig. 5.

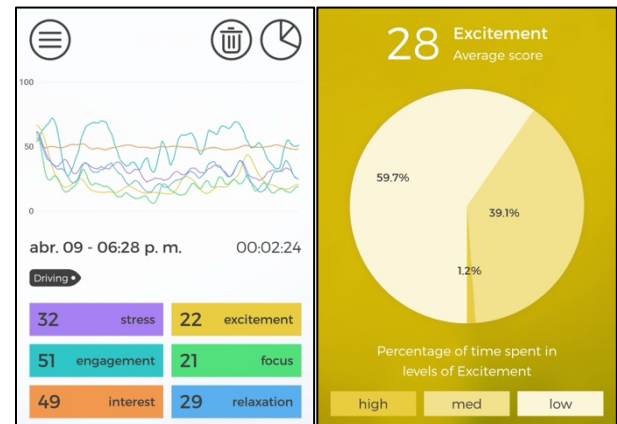


Fig. 5 Registro de neuroseñales empleando un dispositivo móvil (teléfono)

El otro dispositivo con el que se trabajó este estudio es la BCI MindWave mobile 2 de la empresa NeuroSky. Se optó por este dispositivo dado que tiene un alto grado de portabilidad, se calibra fácilmente y además cuenta con una batería AAA que se puede sustituir rápidamente. En la Fig. 6 se puede ver una imagen de este dispositivo.



Fig. 6 Interfaces cerebro computador BCI MindWave mobile 2 de la empresa Neurosky empleada en este estudio.

En cuanto al registro de los estados emotivos, esta interfaz permite estimar el grado de atención y meditación de los usuarios, ver Fig. 7. Adicionalmente registra los valores de las neuroseñales Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma. Una característica altamente valorada es el SDK de código abierto que permite obtener las todas estas señales sin costos adicionales.



Fig. 7 Captura de los niveles de atención y meditación por medio Interfaz cerebro computador MindWave mobile 2 y la plataforma de Neuro Experimenter.

La plataforma Neuro Experimenter permite además de registrar todos los datos de las neuroseñales, revisar los niveles de contacto del sensor, calcular los principales datos estadísticos durante un experimento. Esta plataforma permite establecer un tiempo inicial que se toma para calcular el estado basal del usuario, lo cual es muy común en los experimentos de EEG. Posteriormente la plataforma sigue capturando la información, pero crea adicionalmente los datos según una transformación para verificar las variaciones con respecto al estado basal. En la Fig. 8 se ilustra un ejemplo de los registros de los niveles de atención y la transformación codificada según una línea basal.

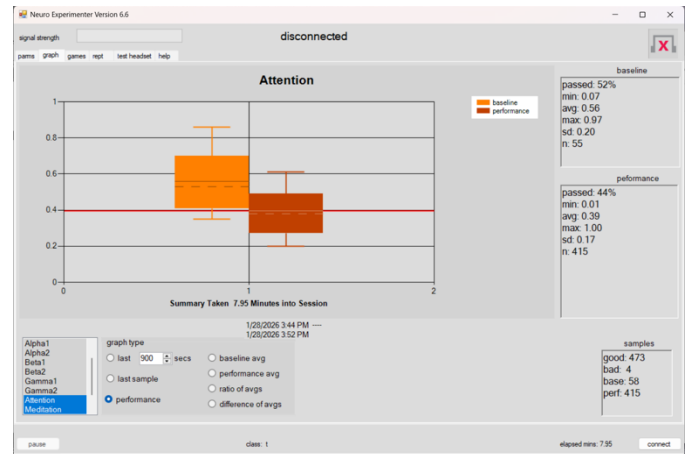


Fig. 8 Registros de los niveles de atención y transformación codificada según una línea basal.

B. Resumen del procedimiento experimental

Las metodologías experimentales varían según cada una de las aplicaciones que se realicen. Sin embargo, de una manera general y compacta se propone para el diseño de aplicaciones de captura de neuroseñales en administración la estructura representada en la Fig. 9.

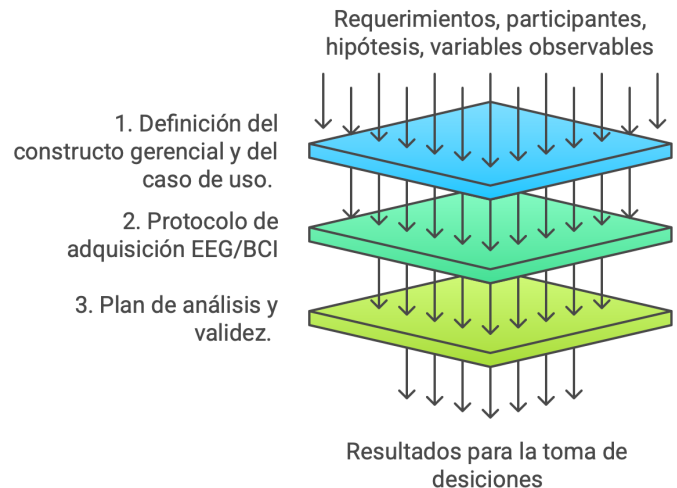


Fig. 9 Arquitectura general del diseño metodológico de la aplicación de neuroseñales en administración.

En primer lugar, se realiza la definición con precisión del constructo que se desea medir, por ejemplo: el grado de estrés realizando una actividad, el nivel de atención antes de una toma de decisión, la atención sostenida en reuniones virtuales, el grado de interés al escuchar una propuesta de negocios o la respuesta emocional ante estímulos de marketing. Subsiguientemente se convierte a variables observables:

- Tareas gerenciales representativas tales como la toma decisiones con información incompleta, la priorización, negociación simulada, evaluación de desempeño o similares

- Variables operativas como el tiempo de respuesta, eficiencia, exactitud, precisión, calidad de decisión por rúbrica, métricas de interacción
- Autoinforme breve: instrumentos psicométricos cortos y estandarizados que el participante completa en pocos minutos después de cada condición experimental, para capturar su percepción subjetiva del estado mental y emocional. Por ejemplo: NASA-TLX para carga (Demanda mental, Demanda física, Demanda temporal, Esfuerzo, Rendimiento percibido y Frustración), SAM (SAM – Self-Assessment Manikin) para valencia (qué tan agradable o desagradable se siente la experiencia) y arousal (qué tan calmado vs. excitado/activado se siente el usuario), escalas Likert de esfuerzo y estrés.

Posteriormente se diseña el experimento con condiciones manipuladas, por ejemplo: realización de actividades implementando pausas activas, reuniones empleando diferentes canales de comunicación como presencial vs videollamada vs VR [18], variación en la modalidad de las presentaciones de negocios, variación de entornos [19], etc. Se definen las hipótesis direccionales, y fijan los criterios de éxito para la aplicación.

Luego, establece el protocolo de captura: selección del dispositivo BCI más apto para la aplicación, e realiza la verificación de contacto de los sensores y se implementa un esquema de ejecución por bloque que incluya:

- El cálculo de una línea base (ojos abiertos cerrados de al menos 60 segundos)
- Ejecución de tareas con las condiciones establecidas
- Tiempo de recuperación).

Para el desarrollo del procedimiento experimental se recomienda establecer y documentar mecanismos de control sobre variables externas potencialmente influyentes, tales como el consumo previo de caféina, la calidad y duración del sueño, el momento del día en que se realizan las sesiones, las condiciones de iluminación y ruido del entorno, así como el nivel de movimiento corporal del participante, con especial atención en escenarios que involucren realidad virtual.

A continuación, se realiza el registro de eventos con marcadores (inicio o fin de tarea, aparición de estímulos, respuestas del usuario, etc.) los cuales son sincronizados con las neuroseñales. Se recomienda generar los instrumentos de recolección de datos y realizar pruebas piloto para su aplicación.

Se establecen las exclusiones de los registros: mala conectividad, mala señal persistente, artefactos extremos, o cumplimiento insuficiente. Se define el tamaño de la muestra según el tipo de experimento: piloto ($n < 15$) o de validación típicamente 30 (cambia de acuerdo con la variabilidad esperada). Se recomienda un diseño intra-sujeto cuando sea posible para aumentar la efectividad de los experimentos.

Finalmente, plantea el paso a paso de procesamiento y evaluación de los datos alineado con los objetivos de la

aplicación administración, por ejemplo: filtrado, remoción o atenuación de artefactos, segmentación por ventanas (1 a 4 s) y extracción de rasgos o patrones [20]. Se define el análisis estadístico según la pregunta problema. Ejemplo análisis Anova para comparar condiciones, validación cruzada, validez convergente, análisis de sensibilidad, análisis de sesgo.

F. Desafíos éticos y técnicos en el uso de interfaces cerebro-computador

Es muy importante para el desarrollo de cualquier aplicación realizar el estudio de acuerdo con los principios éticos de investigación con seres humanos, asegurando la protección de los participantes mediante el resguardo de la confidencialidad de la información, el tratamiento anónimo de los datos y el reconocimiento del derecho a abandonar el estudio de manera libre y voluntaria en cualquier fase del proceso. Asimismo, se debe dejar explícito que la BCI se utiliza únicamente con propósitos investigativos y que sus resultados no poseen carácter clínico ni diagnóstico. Se debe garantizar que todo el equipo investigativo este al tanto de las consideraciones éticas, para que no existan errores que puedan afectar a futuro a ninguno de los participantes y en lo posible eliminar todos los datos sensibles para que no puedan tener otros usos, por ejemplo: filtración de datos al ser infectado alguno de los computadores por virus o software malicioso.

Dentro de los principales desafíos técnicos es el buen contacto de los sensores con la piel o cuero cabelludo, dato que las BCI de electrodos húmedos, disminuyen esta característica con el paso de los minutos. Adicionalmente está el cambio de posición de forma accidental de alguno de los sensores, esto se puede notar en mayor o menor medida, según la forma y el tamaño del cráneo de los participantes. Otro factor que puede alterar las mediciones son los factores externos como: cargas emocionales tanto positivas como negativas (ejemplo: personas enamoradas recientemente, pérdida de algún familiar), personas con cansancio físico o mental, la falta de sueño, cambios bruscos de clima, participantes con hambre o muy llenos, incluso la hora en la cual se toman las muestras debido a los hábitos de los participantes. Todos estos desafíos técnicos deben tenerse en cuenta, con el fin de minimizarse al máximo y en caso de persistencia, anotar la incidencia de los casos en las bitácoras de investigación para tener referencias a la hora de procesar los datos.

E. Declaración de uso de IA

Algunas figuras fueron generadas o modificadas usando herramientas de IA. Las Fig. 9 y 15 (Napkin AI, 2025) [<https://www.napkin.ai>], Las Fig. 1, 10 y 16 OpenAI (DALL·E integrado en ChatGPT), Fig 14 (OpenAI, GPT-4o image generation), [<https://chatgpt.com>] desde prompts estructurados que describen la evaluación de clientes basándose en BCI y métodos tradicionales y flujos de trabajo experimentales. Los autores han revisado, validado y editado las imágenes para asegurar la precisión científica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Ejemplo de la aplicación del registro de neuroseñales para la detección de expresiones faciales y emociones ante estímulos de marketing.

Existen muchas teorías sobre estrategias de marketing a la hora de realizar campañas publicitarias. Sin embargo, es muy bien sabido que existe una gran diferencia entre los segmentos poblacionales. Por tanto, con el fin de mejorar los resultados es imprescindible conocer el efecto que tienen los elementos publicitarios sobre la población objetivo. Una herramienta muy efectiva es el registro de neuroseñales para detectar las expresiones faciales. Funciona básicamente como un sistema electromiografía facial, solo que no captura la información de los músculos, sino directamente del cerebro donde se origina las señales. Esta característica hace que sea menos dispendioso e invasivo. En la Fig. 10 se ilustra un esquema del registro de neuroseñales para la detección de expresiones faciales ante estímulos de marketing.

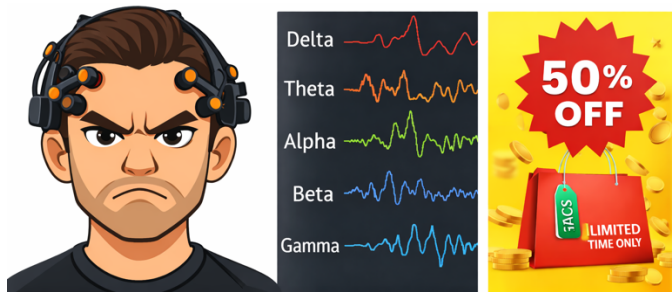


Fig. 10 Registro de neuroseñales para la detección de expresiones faciales ante estímulos de marketing.

Para esta aplicación se empleó las BCI de la empresa Emotiv versión EPOC. Las neuroseñales analizadas corresponden a la atención, meditación y excitación. En la Fig. 11 se puede apreciar un ejemplo de esta aplicación al analizar una publicidad por un participante.

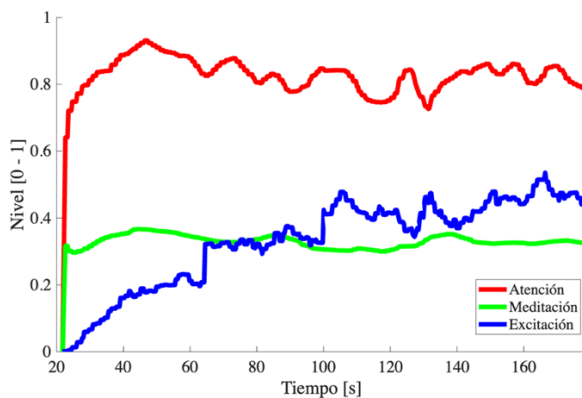


Fig. 11 Registro de neuroseñales correspondiente a las emociones de un participante al ver una publicidad.

Las emociones que tienen un participante en el marketing son muy importantes dado que permiten estimar su estado y la efectividad de la publicidad. Por ejemplo, las señales de atención o desinterés pueden manifestar si un usuario le agrada o se aburre de un contenido, como la emoción puede variar a medida que cambia el contenido, es muy útil estimar el tiempo que estuvo atento o evidenciar cuando se aburrió. Por esta razón se procedió a realizar una clasificación de las señales obtenidas en 3 niveles: alto ($>0,85$), medio y bajo ($<0,7$). En la Fig. 12 se aprecia un ejemplo de la clasificación de la señal de atención.

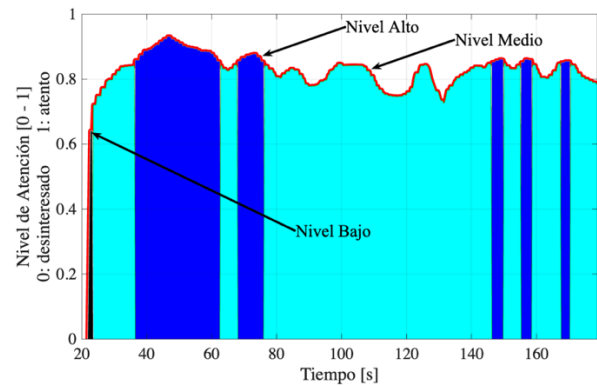


Fig. 12 Clasificación de la atención en tres niveles para el análisis temporal de una publicidad.

Posteriormente se calculan los periodos de cada uno de los niveles de atención para verificar la publicidad y si es posible se modifica para mejorarla. En la Tabla I se presenta el ejemplo para el nivel de atención.

TABLA I
SEGMENTOS DE TIEMPO CLASIFICADOS DE ACUERDO CON LOS NIVELES DE ATENCIÓN OBTENIDOS POR UN USUARIO AL VER UNA PUBLICIDAD.

Rangos Nivel Alto		
Tiempo Inicial	Tiempo Final	Valor Medio
36.4444	62.7453	0.8937
68.0545	76.2728	0.8654
146.2711	150.0441	0.8563
155.3025	158.8095	0.8559
167.6099	170.5580	0.8527
Rangos Nivel Medio		
Tiempo Inicial	Tiempo Final	Valor Medio
23.5430	36.4444	0.8010
62.7453	68.0545	0.8352
76.2728	146.2711	0.8043
150.0441	155.3025	0.8378
158.8095	167.6099	0.8213
170.5580	178.7933	0.8097
Rangos Nivel Bajo		
Tiempo Inicial	Tiempo Final	Valor Medio
22.6287	23.5430	0.6611

Adicionalmente las expresiones faciales sirven para reforzar la identificación de los estados emocionales, por ejemplo, en películas de acción o en una escena dramática el usuario puede aumentar los niveles de excitación y llegar a realizar fuerza con los dientes (apretar la mandíbula), es común ver que los usuarios mueven los ojos e incluso los cierran para

evitar algunas escenas, los contenidos irónicos o humorísticos pueden generar sonrisas o carcajadas, estos tipos expresiones también la detecta la BCI. En la Fig. 13 se ilustra un ejemplo de la detección de expresiones faciales.

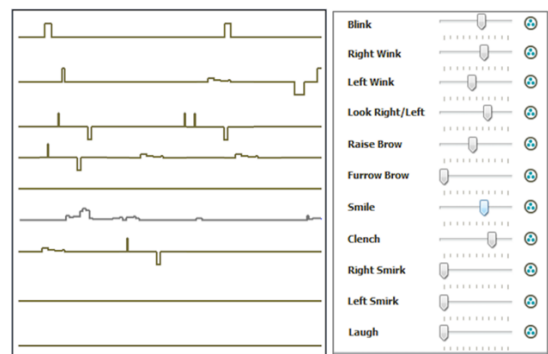


Fig. 13 Detección de expresiones faciales de un participante al observar una publicidad.

Como método tradicional de comparación, se empleó una encuesta con respuestas dadas en una escala de Likert para determinar el grado de atención general del participante y preguntas abiertas para seleccionar cuales segmentos o escenas llamaron en mayor y menor grado la atención. Al revisar los resultados del mismo ejemplo expuesto en la Fig. 12 se pudo corroborar que el usuario manifestó estar muy atento a la publicidad, sin embargo, solo pudo describir la escena que capto más su atención. Al contrastar las dos metodologías se pudo corroborar la importancia de la aplicación de las BCI en la estimación cuantitativa de los indicadores emocionales (en este caso la atención) y su seguimiento cronológico para poder generar recomendaciones al diseñador de la publicidad.

B. Detección de estados emocionales frente al impacto de la presentación de propuestas de negocios.

La metodología aplicada en la aplicación de la sección anterior se puede replicar con pequeñas modificaciones con el fin de preparar presentaciones de negocios que impacten las diferentes partes. La idea general es realizar ensayos de presentaciones de negocios empleando diferentes herramientas y verificar cuál de ellas genera mayores cambios emotivos en los participantes.

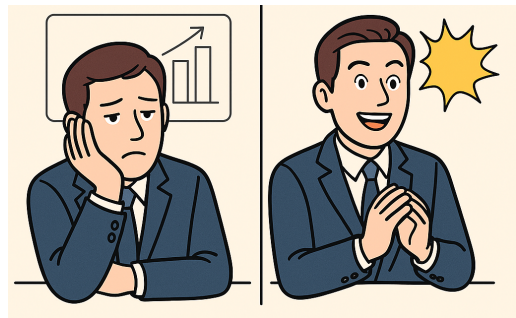


Fig. 14 Esquema del impacto que tiene una propuesta al ser presentada con diferentes herramientas.

Si se observan bajas emociones en las neuroseñales de atención, interés o concentración, se recomienda el cambio de las herramientas y en caso de que las neuroseñales de excitación sean adecuadas se recomienda su uso.

En la Fig. 15 se observa gráficamente un resumen del impacto emocional de las presentaciones. La idea general es que toda presentación de negocios se logre capturar la atención de los inversionistas y vean los detalles de la propuesta dejando una buena percepción en los mismos. Si la percepción es buena y se logra emocionarlos, muy seguramente memorizarán los datos importantes y en consecuencia podrán optar por una decisión favorable.

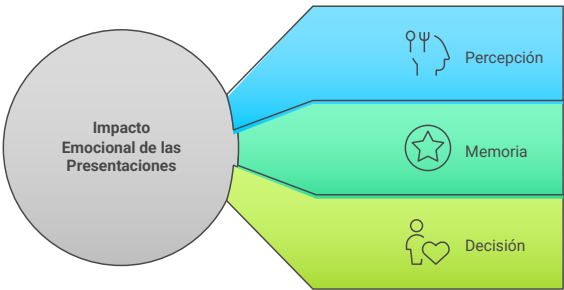


Fig. 15 Efectos de las emociones en los negocios.

En un ejemplo de esta aplicación se analizó una presentación que empleaba 3 técnicas audiovisuales diferentes para la presentación de propuestas. Los resultados obtenidos por medio de la BCI permitieron detectar la primera técnica marco un bajo impacto emocional durante toda la presentación, la segunda técnica sostuvo un 77% nivel bajo y un 23% nivel medio mientras que la tercera técnica evidenció un 100% de nivel alto, por lo cual se seleccionó está última como la más propicia para la presentación del proyecto. Al comparar los resultados con respecto al método tradicional se corroboró que el usuario prefirió la última técnica, sin embargo, no se reflejó el impacto significativo que causó comparado con las otras dos técnicas.

C. Análisis de neuroseñales para evadir la utilización de encuestas.

En muchas circunstancias al aplicar encuestas para lograr obtener una determinada información suele ser complejo. Esto debido a que los participantes pueden llenar las encuestas sin la debida atención, con poco tiempo o por salir del paso. También existen casos donde a pesar de tener una buena disposición por parte de los participantes, les es complejo expresar sus emociones. Un ejemplo es la descripción o clasificación de emociones al ingerir productos alimenticios. La estimación cuantitativa de esas emociones puede llegar a ser un reto. En estos casos las interfaces BCI puede jugar un papel muy importante, dado que no es necesario preguntarle nada a los participantes durante las pruebas, basta con analizar las neuroseñales que generan.

Para corroborar la hipótesis planteada, se diseñó un experimento donde se solicitaba llenar una encuesta un poco

larga. Una vez se diligenciaba se solicitaba a los usuarios definir honestamente cuantas respuestas había contestado con plena atención y el 50% de los participantes manifestaron responder entre el 60% y el 80% con plena atención y el restante con baja atención. En la Fig. 16 se puede evidenciar un caso más complicado y corresponde con la descripción de sus propias emociones. Si por ejemplo se desea medir el nivel de excitación al ingerir unos alimentos, los usuarios suelen definir cual les llamo más la atención e incluso en algunos casos pueden llegar a escribirlos de menor a mayor grado, pero no suelen manifestar un valor cuantitativo de los mismos.

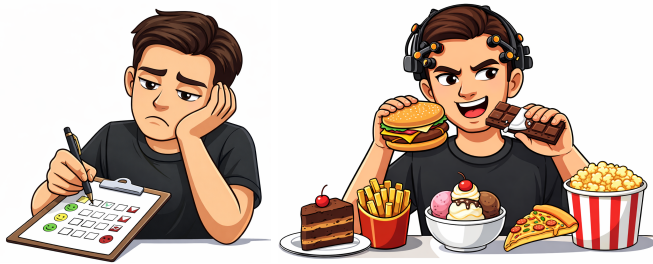


Fig. 16 Empleo de IBC para obtener información emotiva vs diligenciamiento de encuestas.

D. Estimación grupal de emociones para lograr grandes rendimientos en una tarea en particular.

El análisis independiente de las emociones de los participantes es una herramienta poderosa para la toma de decisiones en administración. Sin embargo, muchas tareas requieren una combinación emotiva en particular. Por ejemplo, requerir que la persona este muy atenta, con un nivel de estrés medio y altos grados de compromisos. En estos casos se recomienda realizar un análisis grupal de emociones.

A continuación, se describe un ejemplo del post-procesamiento de datos para establecer una ecuación que permita relacionar los datos de las emociones con los datos de los resultados de una tarea en particular.

En primer lugar, siguiendo la metodología descrita en la sección 2 ítem B, se registran las emociones de los participantes al igual que la puntuación de la tarea que encuentra realizando (puntuación normalizada en un rango de 0 a 1). En la Tabla 2 se ilustra un ejemplo experimental, se presentan los valores medios de las neuroseñales para cada uno de los participantes al realizar la tarea.

TABLA II
VALORES MEDIOS DE LAS NEUROSEÑALES REGISTRADAS DE LOS
USUARIOS REALIZANDO LA TAREA.

Neuro-señal	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4	Media grupal
Excitación	-0,602	-0,6479	-0,2367	-0,4766	-0,482
Concentración	0,2089	-0,485	-0,4371	0,0619	-0,434
Estrés	0,1659	-0,7831	0,0624	-0,0823	0,0291
Relajación	0,0539	-0,7636	0,1625	0,1830	0,2385
Compromiso	0,1767	-0,4333	0,0934	-0,1264	0,1346
Interés	0,0965	-0,6953	0,1016	0,4691	0,2833

Para verificar el grado de relación de las emociones con respecto al puntaje obtenido realizado la tarea se procede a proponer una ecuación de la siguiente forma:

$$V_{u,k,i} = C_1 S_{u,k} + C_2 F_{u,k} + C_3 E_{u,k} + C_4 R_{u,k} + C_5 O_{u,k} + C_6 I_{u,k} + C_7 K$$

Donde:

i : Número del experimento.

u : Número del usuario (1, 2, 3, 4).

K : Variable independiente del experimento definida por la tarea.

$S_{u,k}$: Promedio de la excitación del experimento u, K

$F_{u,k}$: Promedio de la excitación del experimento u, K

$E_{u,k}$: Promedio de la excitación del experimento u, K

$R_{u,k}$: Promedio de la excitación del experimento u, K

$O_{u,k}$: Promedio de la excitación del experimento u, K

$I_{u,k}$: Promedio de la excitación del experimento u, K

C : Constantes de la ecuación

A continuación, se fija como objetivo calcular las constantes (C) adecuadas que hagan que V se correlacione con el puntaje obtenido realizado la tarea. Para esto se calcula la correlación Pearson para cada uno de los experimentos, aplicando la siguiente ecuación:

$$\rho(P, V) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - \mu_P}{\sigma_P} \right) \left(\frac{V_i - \mu_V}{\sigma_V} \right)$$

Donde:

V : Valores de la ecuación objetivo basada en neuroseñales.

P : Puntaje obtenido al realizar la tarea.

μ_V : Valor medio de los resultados de la ecuación basada en neuroseñales.

μ_P : Media del puntaje obtenido.

σ_V : Desviación estándar de la ecuación basada en neuroseñales.

σ_P : Desviación estándar de los puntajes obtenidos realizando la tarea.

TABLA III
VALOR DE LAS CONSTANTES ESTIMADAS POR EL ALGORITMO DE
OPTIMIZACIÓN

Neuro-señal	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4	Media grupal
$\rho(P, V)$	0,9323	0,9995	0,9999	0,9887	0,5265
C_1	0,5809	-0,0947	0,1348	0,3559	-0,6629
C_2	-0,9627	-0,1546	0,6457	-0,3755	-0,0014
C_3	0,6345	-0,0691	0,0901	0,2978	-0,020
C_4	0,4892	0,0980	0,5200	0,0650	0,6836
C_5	-0,9806	-1,000	-1,000	-0,9765	-0,9998
C_6	-0,0720	0,3914	-0,3556	0,0247	0,5573
C_7	-0,4332	-0,9089	0,6796	0,9918	-0,9092

Posteriormente se aplica un algoritmo de optimización para hacer que el resultado de la ecuación planteada tenga la mayor

correlación con respecto al puntaje obtenido realizando la tarea. En este caso se aplicó el algoritmo de optimización por enjambre de partículas (PSO). En la Tabla III se presentan los resultados obtenidos, donde se puede apreciar el alto grado de correlación al buscar las constantes para la ecuación particular de cada usuario. Para el caso grupal, aunque no fue tan elevada se obtuvo un valor significativo.

IV. CONCLUSIONES

Los datos recopilados por las interfaces cerebro-computador suministran información crucial que puede enriquecer los procesos administrativos en diferentes ámbitos, que van desde el marketing hasta la toma de decisiones.

La estimación de los estados emocionales de los clientes fortalece los otros métodos tanto cuantitativos como cualitativos.

Las expresiones faciales permiten estimar eventos importantes con el fin de generar acciones de mejora en la creación de publicidad.

La integración de los sistemas de captura de neuroseñales y los algoritmos de inteligencia tales como la optimización por enjambre de partículas son herramientas muy potentes para lograr estimar las emociones más relevantes en la realización de una tarea en particular.

REFERENCIAS

- [1] J. Sabio, N. S. Williams, G. M. McArthur, y N. A. Badcock, "A scoping review on the use of consumer-grade EEG devices for research", *PLoS One*, vol. 19, núm. 3 March, mar. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0291186.
- [2] Marco. Soler, Harold. Rodríguez, y Cesar. Peña, "Desarrollo de un robot explorador operado mediante neuroseñales", *Revista Politécnica*, vol. 10, núm. 19, pp. 125–134, 2014.
- [3] Luz. Moreno, Cesar. Peña, y Oscar. Gualdrón, "Desarrollo de un sistema de neuromarketing usando el dispositivo Emotiv-Epoc", *Redes de Ingeniería*, vol. 5, núm. 2, pp. 6–15, 2014, doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.1.a04.
- [4] C. Paez, C. Peña, y A. Pardo, "Estudio de la influencia de la actividad física sobre la calidad del sueño y los niveles de atención utilizando herramientas tecnológicas", *Mundo FESC*, vol. 11, núm. 4s, pp. 310–323, 2021, Consultado: el 29 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1110>
- [5] J. F. Rubiano, C. A. Peña, y E. Martínez, "Avances en el desarrollo de una plataforma de control mental de un robot paralelo tipo delta", en *VII Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica*, Cusco, 2012.
- [6] C. Peña, S. Caicedo, L. Moreno, M. Maestre, y A. Pardo, "Use of a Low Cost Neurosignals Capture System to Show the Importance of Developing Didactic Activities Within a Class to Increase the Level of Student Engagement. (Case Study)", *WSEAS Transaction on Computers*, vol. 16, pp. 172–178, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://www.wseas.org/multimedia/journals/computers/2017/a385905-070.php>
- [7] L. Moreno, C. Peña, M. Maestre, S. Caicedo, y A. Pardo, "Registro de Neuroseñales con una Interfaz Cerebro-Computador para Estimar el Nivel Estrés en un Estudiante durante una Clase", *INGE-CUC*, vol. 13, núm. 2, pp. 95–101, 2017, doi: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.10>.
- [8] C. A. Peña Cortés, O. E. Gualdrón, y G. G. Moreno Contreras, "Warning and Rehabilitation System Using Brain Computer Interface (BCI) in Cases of Bruxism", *Ingeniería y Universidad*, vol. 18, núm. 1, pp. 177–193, 2014, doi: 10.11144/Javeriana.IYU18-1.sarb.
- [9] A. Costa-Feito, A. M. González-Fernández, C. Rodríguez-Santos, y M. Cervantes-Blanco, "Electroencephalography in consumer behaviour and marketing: a science mapping approach", el 1 de diciembre de 2023, *Springer Nature*. doi: 10.1057/s41599-023-01991-6.
- [10] T. Chabin, D. Gabriel, E. Haffen, T. Moulin, y L. Pazart, "Are the new mobile wireless EEG headsets reliable for the evaluation of musical pleasure?", *PLoS One*, vol. 15, núm. 12 December, dic. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0244820.
- [11] N. S. Williams, G. M. McArthur, B. de Wit, G. Ibrahim, y N. A. Badcock, "A validation of emotiv EPOC Flex saline for EEG and ERP research", *PeerJ*, vol. 8, 2020, doi: 10.7717/peerj.9713.
- [12] M. Zabcikova, Z. Koudelkova, y R. Jasek, "Examining the Efficiency of Emotiv Insight Headset by Measuring Different Stimuli", *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, vol. 14, pp. 235–242, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://wseas.com/journals/articles.php?id=1869>
- [13] H. Rieiro *et al.*, "Validation of electroencephalographic recordings obtained with a consumer-grade, single dry electrode, low-cost device: a comparative study", *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, núm. 12, jun. 2019, doi: 10.3390/s19122808.
- [14] O. E. Krigolson, C. C. Williams, A. Norton, C. D. Hassall, y F. L. Colino, "Choosing MUSE: Validation of a low-cost, portable EEG system for ERP research", *Front. Neurosci.*, vol. 11, núm. MAR, mar. 2017, doi: 10.3389/fnins.2017.00109.
- [15] J. Sabio, N. S. Williams, G. M. McArthur, y N. A. Badcock, "A scoping review on the use of consumer-grade EEG devices for research", *PLoS One*, vol. 19, núm. 3 March, mar. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0291186.
- [16] M. B. Pontifex y C. A. Coffman, "Validation of the g.tec Unicorn Hybrid Black wireless EEG system", *Psychophysiology*, vol. 60, núm. 9, sep. 2023, doi: 10.1111/psyp.14320.
- [17] Y. N. Cardona-Álvarez, A. M. Álvarez-Meza, D. A. Cárdenas-Peña, G. A. Castaño-Duque, y G. Castellanos-Domínguez, "A Novel OpenBCI Framework for EEG-Based Neurophysiological Experiments", *Sensors*, vol. 23, núm. 7, abr. 2023, doi: 10.3390/s23073763.
- [18] C. Prieto, N. E. Cervantes Estrada, y L. C. Fonseca, "Realidad aumentada como recurso de formación en las fuerzas militares Caso policial - Escuela de Cadetes General Santander", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, vol. 1, núm. 41, pp. 66–78, may 2023, doi: 10.24054/rcta.v1i41.2419.
- [19] A. J. Bravo Valero, Z. C. Nieto Sánchez, J. A. Cristancho, y L. T. Useche Cogollo, "Perspectivas de investigación en torno a los ambientes de aprendizaje en el siglo XXI", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, núm. 42, pp. 150–157, dic. 2023, doi: 10.24054/rcta.v2i42.2793.
- [20] A. Timarán Buchely y R. Timarán Pereira, "Minería de datos educativa para descubrir patrones asociados al desempeño académico en competencias genéricas", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 2, núm. 38, pp. 87–95, 2021, doi: <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i38.1282>.