



# Análisis del estrés, atención, interés y conexión emocional en la enseñanza superior presencial y online: Un estudio neurotecnológico

Analysis of stress, attention, interest, and engagement in onsite and online higher education: A neurotechnological study

 Dr. David Juárez-Varón. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Mecánica y Materiales, Universidad Politécnica de Valencia (España) (djuarez@upv.es) (<https://orcid.org/0000-0003-3251-8851>)

 Isabel Bellido-García. Doctoranda, MaCom Research Group, Universidad Politécnica de Valencia (España) (isbelgar@upv.es) (<https://orcid.org/0000-0002-5665-8261>)

 Dr. Brij-B. Gupta. Profesor, Departamento de Informática e Ingeniería de la Información, Universidad de Asia (Taiwán) (bbgupta@asia.edu.tw) (<https://orcid.org/0000-0003-4929-4698>)

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo registrar y analizar, mediante el uso de neurotecnología, en un contexto formativo universitario presencial y online, el efecto que tiene en variables relevantes en el proceso de aprendizaje, lo cual supone una innovación en la literatura. En este estudio se ha empleado tecnología de neurociencia para medir el procesamiento cognitivo de los estímulos diseñados para una experiencia académica de una clase de máster universitario. Las neurotecnologías empleadas han sido la respuesta galvánica de la piel (GSR), la electroencefalografía (EEG) y el seguimiento ocular. Tras el análisis de los registros cerebrales, basados en la atención, interés, estrés y conexión emocional (engagement), en un contexto educativo presencial y su análisis comparativo con el seguimiento online, los resultados indicaron que los niveles de intensidad emocional de los alumnos que siguieron la clase de forma presencial son más elevados que aquellos que asistieron de forma online. A su vez, los valores de actividad cerebral positiva (atención, interés y engagement) son superiores en el grupo de asistencia presencial, siendo la variable negativa estrés también superior, pudiendo justificarse debido a que los alumnos conectados online no activaban la cámara. Los registros cerebrales de los alumnos que asisten a distancia muestran menor interés y atención, así como una menor intensidad emocional, por lo que el aprendizaje a distancia (online) es menos efectivo, a efectos de señales cerebrales, que la enseñanza en el aula, para una clase teórica de máster universitario.

## ABSTRACT

The aim of this work is to register and analyse, using neurotechnology, in onsite onsite and online university educational context, the effect on relevant variables in the learning process. This represents an innovation in the current academic literature in this field. In this study, neuroscience technology has been used to measure the cognitive processing of stimuli designed for an academic experience in a university master's degree class. The neurotechnologies employed were galvanic skin response (GSR), electroencephalography (EEG) and eye tracking. After the analysis of the brain recordings, based on attention, interest, stress and engagement in an onsite educational context and their comparative analysis with the online monitoring, the results indicated that the levels of emotional intensity of the students who followed the class in person were higher than those who attended online. At the same time, the values of positive brain activity (attention, interest and engagement) were higher in the onsite group, and the negative variable stress was also higher, which could be explained by the fact that the online students did not activate the camera. The brain recordings of students who were distance learning show less interest and attention, as well as less emotional intensity, demonstrating that distance (online) learning is less effective than classroom learning, in terms of brain signals, for a theoretical university master's degree class.

## PALABRAS CLAVE | KEYWORDS

Aprendizaje, enseñanza presencial, enseñanza online, universidad, innovación educativa, neuroeducación.  
Learning, classroom teaching, online teaching, university, educational innovation, neuroeducation.

## 1. Introducción

Innovar en educación significa hacer cambios en el proceso de aprendizaje con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos (Horn et al., 2009). Las tecnologías digitales, como parte del proceso de innovación, están cada vez más integradas en la educación, empleándolas como mediadores del proceso de enseñanza y aprendizaje (da-Silva et al., 2023). Hay una tendencia hacia la formación a distancia, que representa la base de la construcción del aprendizaje para la sociedad en el siglo XXI, siendo la pandemia de COVID-19 el punto de inflexión, favoreciendo el uso de metodologías online para lograr una educación a distancia (Sánchez-Mendiola et al., 2020). El análisis no debe centrarse en la ubicación de profesor y estudiante, sino en las interacciones entre ambos, tanto a nivel de cantidad, como de calidad. Conocer los principios del aprendizaje del cerebro contribuye al avance de la innovación educativa, por lo que la neuroeducación favorece al desarrollo de los sistemas educativos (Hillman, 2011). El objeto de esta investigación es determinar, mediante tecnologías de neurociencia, la diferencia de niveles de activación cerebral entre un grupo de alumnos presencial y otro grupo de alumnos que siguen la clase a distancia, de manera síncrona (online), frente a una sesión de clase, teórica, sobre el comportamiento del consumidor, perteneciente a un nivel de estudios de máster. En este caso han sido utilizadas biometrías que permiten monitorizar la intensidad o arousal emocional experimentado (GSR - respuesta galvánica de la piel) y la actividad cerebral (EEG - electroencefalografía), mostrada mediante variables de atención, interés, estrés y conexión emocional (engagement). Este estudio pretende responder, de manera empírica, a aspectos relacionados con la diferencia de eficiencia de la docencia presencial frente a la docencia a distancia (online). Consecuentemente, la investigación tiene como objetivos específicos:

- Analizar los niveles de arousal emocional registrados según el formato de seguimiento (presencial o a distancia-online).
- Analizar los niveles de atención, interés, estrés y engagement de los participantes, según el tipo de seguimiento de la clase.
- Determinar qué modalidad de seguimiento es más efectiva, según datos aportados en los registros de las mediciones biométricas llevadas a cabo.

## 2. Marco teórico

La innovación puede definirse como la secuencia de fases para idear productos o servicios novedosos que pueden ser adoptados o rediseñados para sus aplicaciones y transformación (Rikkerink et al., 2016), incluso de manera abierta (Ramírez-Montoya & Lugo-Ocando, 2020). Así, la innovación es el resultado de aplicar nuevos procesos (estrategia, metodología, organización, procedimiento, entrenamiento, desarrollo técnico), nuevos servicios (provisión, atención, función, beneficio, acción, dependencia, asistencia), nuevos productos (material, prototipo, fabricación, objeto, tecnología, aplicación, resultado) o nuevos conocimientos (saber, evolución, cognición, talento, modelo, impacto, transformación, patente, sistema).

La aplicación de innovación a educación se denomina investigación educativa, cuyo objetivo es la indagación sistemática de una pregunta de investigación de interés (Horn et al., 2009). Lo que generalmente diferencia dicha investigación de otros tipos de investigación tradicionales es, típicamente, el problema en el que se centra el trabajo. La innovación en servicios, productos, procesos y conocimientos genera el cambio en la educación, donde la innovación muchas veces contribuye a abordar problemas y situaciones derivadas de las prácticas y entregas docentes. En relación con esto, innovar en educación consiste en generar cambios que permitan mejorar los resultados del aprendizaje, a través de mejoras en la formación (Clark et al., 2016). Para lograr esto, la innovación educativa debe adoptarse de manera inclusiva y holística, por lo que estudiantes, proveedores educativos, comunidades, empresas y organizaciones políticas necesitan una integración de los aspectos clave de la innovación en toda su jerarquía de niveles.

Así mismo, es clave entender la propuesta de aplicaciones de la investigación que proponen los académicos (Ramírez-Montoya & Lugo-Ocando, 2020). Una clasificación integral basada en gestión educativa (planificación, organización, administración, gestión y evaluación de recursos), psicopedagogía (enseñanza y aprendizaje), tecnología aplicada a educación (uso y desarrollo, tanto presencial, como a distancia) y gestión sociocultural. Existe un gran interés en la educación en utilizar tecnologías digitales

como mediadoras del proceso de enseñanza y aprendizaje (da-Silva et al., 2023). En el campo de la educación, hay un interés creciente en las tecnologías que apoyan actividades de enseñanza y aprendizaje. Cuando la tecnología moderna se aplica sistemáticamente a un proceso educativo organizado, se puede utilizar en tres dominios, tales como tutor, herramienta de enseñanza y herramienta de aprendizaje. Hoy en día, los educadores están cada vez más familiarizados con herramientas que se pueden utilizar en educación a distancia, juegos educativos y simulaciones; muchos investigadores también prestan más atención a los efectos que la tecnología puede generar (Waxman et al., 2013). Muchos estudios sugieren que el uso de la tecnología podría inspirar efectos positivos entre los estudiantes, tales como mejorar el rendimiento académico, aumentar las capacidades competitivas de los estudiantes, y elevar la motivación de aprendizaje (Clark et al., 2016; Lai & Bower, 2019), por lo que el crecimiento y las tendencias en el campo de la tecnología educativa merecen atención.

Además, la propia definición de tecnología podría dar lugar a numerosas ramificaciones. En algunos estudios recientes, la tecnología educativa se define como herramientas que ayudan a los alumnos a adquirir conocimientos cognitivos, mejorar las habilidades de comunicación y desarrollar habilidades para resolver problemas (Lee et al., 2019). Con base en esta definición, el énfasis recaería en los relacionados con la tecnología informática (Doyle et al., 2019), pues no sólo los instrumentos de aprendizaje están siendo revolucionados por los avances tecnológicos, sino también las pedagogías y las mentalidades de los educadores.

Hay una tendencia hacia la formación a distancia, que representa la base de la construcción del aprendizaje para la sociedad en el siglo XXI, siendo la pandemia de COVID-19 el punto de inflexión, pues se produjo la interrupción de la educación presencial de estudiantes de más de cien países (Sánchez-Mendiola et al., 2020). Esto afectó a la enseñanza programada tradicional y fomentó el uso de metodologías online para poder dar continuidad a una educación forzada a ser a distancia. Existen estudios comparativos entre escenarios virtuales y presenciales, como las preferencias de contenido didáctico de los profesores universitarios en diferentes entornos de enseñanza (Sevimli, 2022), las menores calificaciones en entornos virtuales (Morgan, 2015), la mejora del autoaprendizaje de los estudiantes (Huamán-Romaní et al., 2021), la falta de motivación, de contacto con compañeros o la ausencia de prácticas presenciales y otros aspectos que provocan el desinterés y el aumento de la tasa de abandono de las materias (Chávez-Miyauchi et al., 2021; Serrano-Díaz et al., 2022).

El papel clave e innovador de las TIC y la comunicación es favorecer la interacción entre los propios estudiantes y reducir la distancia profesor-estudiante. Esto implica, antes de iniciar el curso, organizar correctamente el trabajo por parte del profesor, logrando los mismos conocimientos y competencias, independientemente del formato de asistencia por parte de los alumnos. La falta de trato personalizado con el alumno es una de las principales desventajas de la formación a distancia, siendo la videoconferencia, por ejemplo, un sistema adecuado para oír, leer y ver al alumno, y siempre con un compromiso del profesor en responder en un tiempo prudencial. Las interacciones sociales son clave en la construcción del conocimiento (Van Ameringen et al., 2003), sin embargo, aquellos estudiantes con ansiedad social pueden elegir el enfoque a distancia como solución a su trastorno mental.

Para vincular el aprendizaje y el cerebro es necesario llevar a cabo una reestructuración de la práctica pedagógica para que pueda vincularse a los aportes de las neurociencias. La neurociencia permite repensar la educación y qué datos proporciona este campo para que la pedagogía pueda continuar optimizando las explicaciones de los procesos de enseñanza y aprendizaje (Bueno-i-Torrens & Forés-Miravalles, 2021). El aprendizaje y la memoria son procesos cerebrales íntimamente relacionados que dan lugar a cambios adaptativos en el comportamiento (Morgado-Bernal, 2005). El aprendizaje activo que hace que el alumno, más allá de la simple memorización, se esfuerce en comprender los conceptos y la información con los que responde preguntas del profesor. Ese tipo de aprendizaje, basado en relacionar y contrastar informaciones diversas, hace que el cerebro forme memorias robustas y duraderas (Bernal, 2022). En este sentido, la neuroeducación se perfila como una nueva ciencia que tiene como principal objetivo la sinergia de la pedagogía, la psicología cognitiva y la neurociencia, y con ello, poder acercar a los diferentes agentes educativos los recursos necesarios en cuanto al binomio cerebro-aprendizaje. Las neurociencias están desarrollando investigaciones centradas en las bases neuronales del aprendizaje, la memoria, las

emociones y diferentes funciones del cerebro, cuyos resultados tienen una alta aplicabilidad en el campo del aprendizaje (Bowers, 2016; Howard-Jones, 2014). El desarrollo de la neuroeducación contribuye al avance de la innovación educativa, así como al desarrollo de los sistemas educativos.

Durante las últimas dos décadas, la investigación en neurociencia cognitiva ha proporcionado datos significativos sobre cómo se construye el cerebro y sobre los mecanismos neuronales del aprendizaje. Es importante conocer cómo se forma y aprende el cerebro (Bueno-Torrens & Forés-Miravalles, 2018), pues una de las claves es el cuerpo amigdalino, tradicionalmente asociado al sistema emocional del cerebro e involucrado en el aprendizaje emocional (Torras et al., 2001). La neurociencia educativa es un campo de investigación interdisciplinario que busca traducir los hallazgos de la investigación sobre los mecanismos neuronales del aprendizaje a la práctica y la política educativa. Este campo también es una ciencia básica que estudia cómo la educación cambia el cerebro y cuáles son los mecanismos que conducen al cambio de comportamiento (o las ausencias de los mismos) a través de la educación. La relevancia de la neurobiología para la educación fue reconocida a lo largo del siglo XX, pero no fue hasta la década de 1990 y la «Década del cerebro» que los avances tecnológicos en la obtención de imágenes en vivo de la función cerebral condujeron a los avances teóricos que hicieron viable la neurociencia educativa como campo (Varma et al., 2008).

A pesar de las críticas y el debate en curso sobre los méritos de aplicar el conocimiento de la investigación neurocientífica a los problemas educativos (Bowers, 2016), las conexiones potenciales entre la neurociencia y la educación se están explorando activamente en todo el mundo. Se han utilizado diferentes etiquetas para describir tales esfuerzos, como neuroeducación, neurociencia educativa y mente, cerebro y educación. Sin embargo, trasladar la investigación en neurociencia a la educación es difícil. Este proceso es extenso y comienza con una base de ciencia básica. La complejidad del aprendizaje en el cerebro y el estado del conocimiento científico actual hacen que exista el riesgo de una traslación prematura, antes de que se establezca la base. El riesgo se ve agravado por el deseo legítimo de los formuladores de políticas de usar evidencia científica para informar sus políticas educativas (Bittencourt & Willetts, 2018) y el entusiasmo que los educadores tienen para informar su enseñanza con conocimientos sobre cómo funciona el cerebro. Además, la interacción de las disciplinas de la neurociencia, la psicología y la educación a veces se ha caracterizado por la competencia en lugar de la colaboración, y los investigadores en educación siguen desconfiando de la exageración que rodea a la educación.

La neuroeducación es una nueva disciplina que se encuentra en desarrollo, gracias a los aportes de la neurociencia, la psicología cognitiva y las ciencias de la educación, para generar una mejor comprensión de cómo aprender y cómo esta información puede ser utilizada para crear métodos de enseñanza, planes de estudio y políticas educativas más efectivos (Carew & Magsamen, 2010). A pesar de que la neuroeducación está iniciándose en el campo de la investigación, está suscitando nuevos diálogos críticos entre el profesorado, los responsables de las administraciones educativas, las familias y el ámbito científico.

Entrando en la delimitación conceptual del término, la neuroeducación se clasifica como neurociencia cognitiva aplicada, especialmente si no existen diferencias sustanciales en las orientaciones filosóficas y metodológicas encontradas entre la educación y la neurociencia cognitiva (Campbell, 2011). Es un área de investigación educativa que se basa en los mecanismos de los procesos de información, teorías y métodos de la neurociencia cognitiva aplicada, pero a diferencia de estos, no se limita a estos elementos, pues la neuroeducación tiene a la persona como su objeto principal, y no sólo los mecanismos fisiológicos y biológicos en los que se basan las neurociencias. Considerando el enfoque transdisciplinario de las neurociencias, la neuroeducación puede contribuir a la construcción de nuevos marcos educativos y nuevas metodologías de investigación que sirvan de marco de referencia en el binomio aprendizaje-cerebro, incluyendo el aprendizaje de valores sociales a favor de una conducta prosocial que transite hacia una sociedad inclusiva y sostenible (Villardón-Gallego et al., 2018).

En cuanto a los centros de interés de las neurociencias con respecto a la neuroeducación, la investigación neurocientífica aborda las patologías de las dificultades de aprendizaje (Ferrari, 2011); en consecuencia, el objetivo desde la investigación educativa debe ser comprender el contexto más amplio de aprendizaje y desarrollo personal que complemente los aportes de las neurociencias y evite el etiquetado de estudiantes atípicos que podría conducir a una posible estigmatización. Es esta coyuntura

de mayor colaboración interdisciplinaria entre las neurociencias y la educación lo que ha hecho posible el surgimiento de un nuevo campo disciplinario, como la neuroeducación, que no solo informará sobre los enfoques educativos, sino que también promoverá la comprensión científica de la relación de los procesos neuronales con comportamientos complejos observados en el aula.

### 3. Metodología

En este estudio se ha empleado tecnología de neurociencia para el registro de la actividad cerebral, con el objetivo de registrar el procesamiento cognitivo en una experiencia académica de una clase de máster (materia Comportamiento del Consumidor - clase teórica), mediante estímulos diseñados para que la sesión sea seguida de manera presencial y de manera síncrona a distancia (sin conexión de cámaras por parte de los alumnos). Es una investigación experimental y los resultados están limitados a las condiciones de la experiencia registrada, no suponiendo una generalización de resultados para cualquier experimento.

El empleo de tecnología de neurociencia permite analizar la eficacia de los estímulos proyectados a los usuarios y la psicología del comportamiento del consumidor (Plassmann et al., 2012), facilitando más información que otros métodos de investigación convencionales, donde el comportamiento o las percepciones de los participantes pueden limitar el estudio.

El seguimiento ocular, la respuesta galvánica de la piel (GSR) y la electroencefalografía (EEG) son las tres técnicas específicas de neurociencia empleadas en este trabajo. La atención visual de los alumnos se capta a partir del movimiento ocular (Duchowski, 2007). La actividad electrodérmica (EDA) se registra a través de la GSR, reflejando cambios en la excitación emocional debido a los estímulos proyectados. Finalmente, la actividad cerebral (en forma de ondas cerebrales) es registrada mediante la EEG (Yadava et al., 2017). La atención de los alumnos es registrada por el eye tracker, comenzando el proceso afectivo y cognitivo (registrado parcialmente mediante la GSR y la EEG). Cuando los sujetos ponen su atención en un estímulo, se registra mediante el sistema de seguimiento ocular e inicia el procesamiento cognitivo y afectivo (registrado la GSR y la EEG) (Ramele et al., 2012). Las variables medidas con estas biometrías se centran en el estrés, atención, interés y conexión emocional (Juarez et al., 2020). El estrés mide qué tan cómodo se siente el individuo con una tarea. El estrés elevado puede resultar de la incapacidad para completar una tarea difícil o temer las consecuencias negativas por no cumplir con los requisitos de la tarea. En general, un nivel de estrés de bajo a moderado puede mejorar la productividad, mientras que un nivel más alto tiende a ser destructivo y puede tener consecuencias a largo plazo para la salud y el bienestar. La atención es una medida de concentración en una tarea específica. Esta variable registra la profundidad de la atención, así como la frecuencia con la que la atención cambia entre tareas. Un alto nivel de cambio de tareas es una indicación de falta de atención y distracción. El interés mide el grado de atracción hacia los estímulos, el entorno o la actividad actual. Las puntuaciones de interés bajas indican una fuerte aversión a la tarea, el interés alto indica una gran afinidad con la tarea, mientras que las puntuaciones de rango medio indican que no le gusta ni le disgusta la actividad. Finalmente, la conexión emocional se experimenta como el estado de alerta y la dirección consciente de la atención hacia los estímulos relevantes para la tarea. Mide el nivel de inmersión en el momento y es una mezcla de atención y concentración y contrasta con el aburrimiento.

La primera tarea es averiguar cómo las bases cerebrales nos predisponen a actuar de una forma u otra en relación con la autonomía y la felicidad, estableciendo una serie de conclusiones sobre cómo influyen las bases cerebrales y cómo contribuyen al aprendizaje. En este contexto, la neuroeducación es una disciplina recién nacida, que facilita el estudio de los usuarios, sus percepciones y la experiencia global (Bercik et al., 2016). La neuroeducación, por tanto, permite registrar la existencia de una posible conexión emocional positiva entre los alumnos y las clases que se reciben, permitiendo determinar de una manera científica los niveles de atención y emoción que se generan al prestar atención a las clases impartidas, haciendo una clara distinción entre online y presencial.

Existen estudios sobre el uso de la tecnología EEG portátil (PEEGT) en la investigación educativa (Xu & Zhong, 2018), habiendo sido utilizada principalmente para evaluar la atención y la meditación de los participantes. Los resultados indican que PEGT se ha utilizado principalmente en siete temas de investigación: contexto de lectura, patrones de presentación de materiales de aprendizaje, comportamiento

interactivo, entretenimiento educativo, aprendizaje electrónico, adquisición de habilidades motoras y promoción del rendimiento del aprendizaje con PEEGT.

Aunque el análisis de ondas cerebrales ahora está bastante avanzado en una variedad de contextos académicos y profesionales, como la atención médica, pocos estudios han puesto el análisis de ondas cerebrales en el entorno del aula. En el pasado, los experimentos con ondas cerebrales requerían mucha preparación, y también requerían el uso de gel para fijar electrodos en la cabeza del sujeto experimental. Por estas razones, fue un desafío administrar experimentos de ondas cerebrales en el aula. Sin embargo, con los avances tecnológicos, los equipos de EEG se están volviendo cada vez más portátiles y en miniatura, por lo que ahora es posible obtener datos de ondas cerebrales precisos con solo una preparación simple.

Con respecto a la tecnología de EEG portátil (PEEGT), la mayoría ofrece una solución de monitoreo de EEG inalámbrica, ergonómica, de bajo costo y sin dolor para investigadores y usuarios diarios que estén interesados en monitorear los correlatos neuronales asociados con varios comportamientos y procesos mentales. Hoy en día, hay indicios de que a más y más investigadores les gusta usar PEEGT como herramienta de investigación en su investigación educativa, lo que parece que PEEGT es una herramienta relevante para mejorar la investigación educativa. Sin embargo, esta afirmación necesita ser sustentada aún más a través de la aplicación de experiencias y, sobre todo, a través de la evidencia empírica.

Wang y Hsu (2014) emplearon el equipo PEEGT Neurosky Mindset para medir los niveles de atención de los alumnos durante el aprendizaje de instrucción basado en computadora, en el que los participantes completaron tres lecciones de niveles fácil, medio y difícil. Ghergulescu y Hava-Muntean (2016) empleó el neuroheadset Emotiv EPOC para medir la participación de los estudiantes durante el aprendizaje electrónico basado en juegos. Otro trabajo (Lin & Hsieh, 2016) también empleó el auricular NeuroSky MindWave para reconocer los niveles de atención de los estudiantes durante el aprendizaje electrónico. La mayoría de los trabajos publicados utilizaron PEEGT para evaluar la atención (y la meditación) de los participantes, siendo unos pocos estudios los que lo utilizaron para detectar la motivación de los participantes (y compromiso) y emociones.

La mayoría de los experimentos de EEG (Wang & Hsu, 2014) duraron menos de 60 minutos, los tamaños de muestra de los experimentos de EEG eran pequeños, el grupo de investigación más grande eran estudiantes universitarios y los dispositivos de EEG portátiles utilizados en la investigación educativa fueron desarrollados principalmente por NeuroSky Inc. y Emotiv Inc.

Es importante conocer la relación entre los datos del EEG y los diferentes aspectos cognitivos, así como las implicaciones pedagógicas subrayadas en estos aspectos cognitivos:

**Atención y meditación:** La atención es el proceso conductual y cognitivo de concentrarse selectivamente en un aspecto discreto de la información, ya sea que se considere subjetivo u objetivo, mientras se ignora otra información perceptible (Talmi et al., 2008). A diferencia de la atención, la meditación es un enfoque de atención intencional y autorregulado para relajar y calmar la mente (Anand et al., 2014). La meditación no representa el estado físico de un individuo sino su estado mental, y se refiere a una reducción de los procesos mentales activos del cerebro. Es decir, los valores más altos de relajación indican que un individuo está más relajado y menos estresado. PEEGT detecta las ondas cerebrales humanas de acuerdo con las características seleccionadas de las ondas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  y  $\theta$ . La variación de la onda  $\beta$  en la EEG está fuertemente correlacionada con la atención, y la onda  $\alpha$  está fuertemente correlacionada con la meditación. Los niveles más altos de meditación pueden aumentar la capacidad de los estudiantes para prestar atención y, como resultado, pueden ayudarlos a absorber y retener mejor la información de aprendizaje. Si los niveles de atención y meditación son altos, los alumnos estarán en el estado óptimo para aprender.

**Motivación y compromiso:** La motivación del alumno es uno de los principales aspectos que deben abordarse para un proceso de aprendizaje exitoso. En consecuencia, la evaluación y la medición de la motivación del alumno han atraído un gran interés de investigación en el área del e-learning en general y en el aprendizaje basado en juegos en particular. Hay estudios que demuestran que el compromiso es un indicador principal de motivación (Saeed & Zyngier, 2012), y otros estudios han confirmado que el índice  $\beta/(\alpha + \theta)$  obtenido de los datos de EEG reflejan mejor el compromiso (Prinzel et al., 2009).

Emoción (frustración y entusiasmo): De acuerdo con la teoría de ampliar y construir, las emociones positivas amplían el alcance de la atención, la cognición y la acción, y estas luego amplían la gama de percepciones, pensamientos y acciones existentes en la mente en ese momento. Isen y Reeve (2005) encontraron evidencia de que los estudiantes con emociones más positivas mejoraron la recuperación de la memoria y, por lo tanto, podían recordar cosas más fácilmente. Además, se ha reconocido que el aprendizaje con emociones positivas mejora la motivación de aprendizaje, la capacidad de resolución de problemas y la capacidad cognitiva conductual más que cuando se aprende con emociones negativas.

En la actualidad, solo el neuroheadset Emotiv EPOC proporciona un kit de desarrollo estándar (SDK) que puede extraer intensidades de frustración y emoción de las señales cerebrales en tiempo real. El estado emocional está representado por los valores de frustración y excitación obtenidos del SDK.

### 3.1. Muestra de población

La muestra seleccionada en el estudio está formada por estudiantes de máster, con edades comprendidas entre 22 y 25 años interesados en la temática impartida (Comportamiento del Consumidor), quienes se ofrecieron de manera voluntaria a participar y firmando un consentimiento informado. En total fueron 20 estudiantes (50% hombres, 50% mujeres) los monitorizados (habiendo más compañeros no monitorizados), siendo un tamaño de la muestra adecuado para un estudio de neuroeducación (Cuesta-Cambra et al., 2017). El trabajo de campo se llevó a cabo entre marzo y abril de 2022 y la ubicación del estudio fue en la ciudad de Valencia (España).

### 3.2. Recogida y análisis de datos

La fase de investigación con los estímulos expuestos se realizó utilizando los modelos de seguimiento ocular «Pupil Core» (del fabricante Pupil Labs, con una frecuencia de muestreo de 200 Hz) para el seguimiento presencial y «Gazepoint» (del fabricante Gazepoint, con una frecuencia de muestreo de 60 Hz). Para la recolección y análisis de datos se utilizó el software Pupil Capture, v.1.23 (alumnos seguimiento presencial) y el software Gazepoint Analysis UX Edition v.5.3.0 (alumnos seguimiento a distancia). Para registrar la actividad electrodérmica se utilizó el modelo Shimmer3 GSR+ en ambos modelos de seguimiento, utilizando el software ConsensysPRO, v.1.6 para la recolección de datos. Este registro permite conocer el arousal emocional que sintieron los participantes a lo largo de la clase.

Finalmente, para el registro de la actividad cerebral se empleó el equipo portátil de electroencefalografía EPOC+ del fabricante Emotiv, con 14 canales y electrodos con base salina. Para la recolección de datos se empleó el software EmotivPRO v.2.0. Esta tecnología se emplea para interpretar las emociones más relevantes sentidas, gracias a la información recopilada de la actividad cerebral. Las activaciones cerebrales que se analizaron fueron atención, interés, estrés y engagement, siendo el engagement la capacidad de una marca, producto, servicio o estímulo, de crear un lazo duradero entre ambas partes (Van-Doorn et al., 2010). El análisis estadístico de los datos se realizó con el software R, v.3.6.3. Se definieron elementos comunes (estímulos) para todos los consumidores (voluntarios). Las variables independientes fueron la edad y el sexo de los participantes, con un perfil sociocultural similar y determinado por el perfil principal del programa máster. Las variables dependientes fueron el nivel de intensidad emocional y los niveles de atención, interés, estrés y engagement, en respuesta a los estímulos observados. Para la realización de este estudio se llevó a cabo un experimento con un enfoque biométrico. El objetivo es conocer las percepciones subconscientes de los estudiantes al momento de observar las clases, tanto en su formato presencial, como a distancia. Había 20 alumnos por sesión, pero monitorizados sólo los voluntarios (un total de 4 por sesión). El estudio se realizó en 5 días, con 4 participantes diferentes, repitiendo la misma sesión, en horario de viernes tarde, a las 16:00, siendo primera hora de clase. Los alumnos podían participar, sobre un conjunto de conceptos cerrados. La tecnología fue instalada y calibrada por expertos en neurociencia, obteniendo valores dentro de tolerancia. El 50% de ellos siguieron la clase de manera presencial y el otro 50% a distancia, de manera síncrona. La duración total de la clase fue de 45 minutos, durante los cuales se registró la actividad cerebral de los alumnos con las tecnologías de Eye Tracking, GSR y EEG. Durante el proceso de calibración y debido a que son tecnologías inalámbricas y casi imperceptibles, los alumnos y docente no perciben las mismas.

#### 4. Análisis y resultados

Con el objeto de registrar y analizar la activación emocional de los estudiantes a lo largo de los 45 minutos, dividimos los datos en tres rangos:

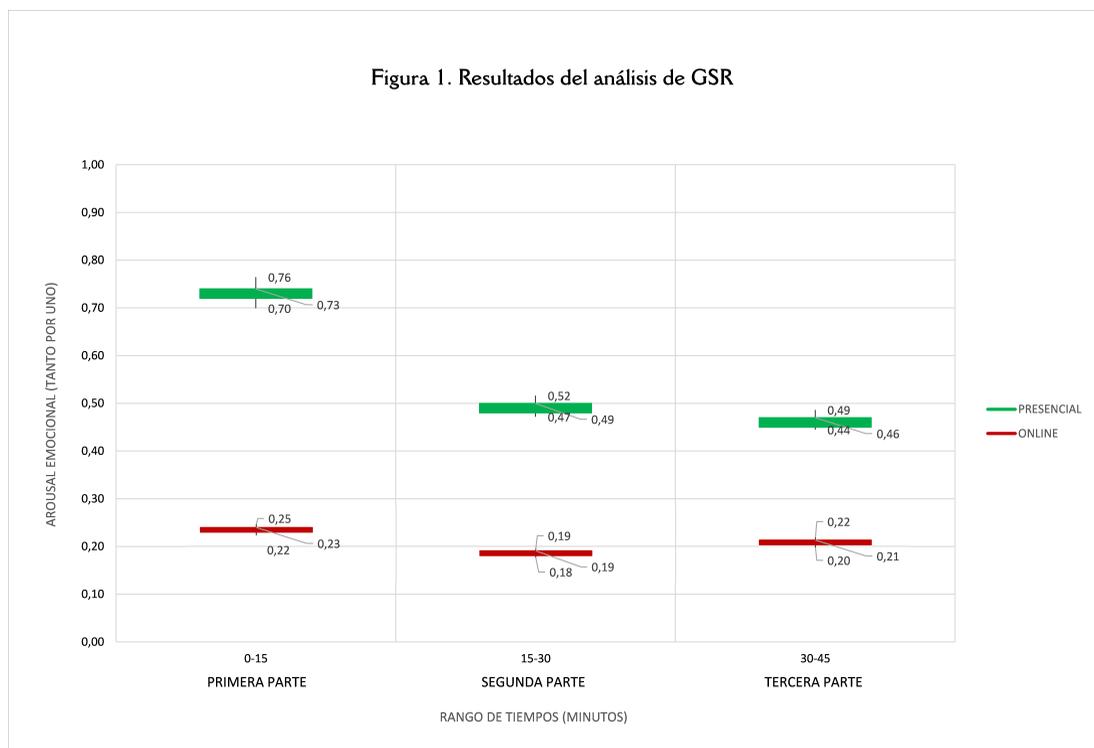
- Primera parte: 0-15 minutos.
- Segunda parte: 15-30 minutos.
- Tercera parte: 30-45 minutos.

La Tabla 1 muestra un resumen de los datos promedio recopilados para los 2 grupos (presencial y a distancia u online). Los valores registrados se muestran en tanto por uno, siendo 0 un valor nulo y 1 el valor máximo alcanzable para cada variable medida. El promedio de la experiencia hace referencia al promedio de los valores promedio de las tres franjas de tiempo (las 3 partes).

Parte de la clase (minutos)	Presencial			Promedio experiencia	A distancia/Online			Promedio experiencia
	0-15	15-30	30-45		0-15	15-30	30-45	
Emoción registrada (promedio – tanto por uno)								
Promedio Intensidad Emocional	0,73	0,49	0,46	0,56	0,23	0,19	0,21	0,21
Promedio Atención	0,41	0,44	0,46	0,44	0,42	0,42	0,46	0,43
Promedio Interés	0,74	0,59	0,63	0,65	0,56	0,62	0,66	0,61
Promedio Estrés	0,45	0,50	0,52	0,49	0,36	0,43	0,47	0,42
Promedio Engagement	0,74	0,59	0,63	0,65	0,56	0,62	0,66	0,61

##### 4.1. Análisis de la intensidad emocional – GSR

En la siguiente figura (Figura 1), se aprecia en cada parte el nivel emocional promedio, para los formatos presencial y online, medido a través de la respuesta galvánica de la piel (GSR).



Los niveles de intensidad emocional de los alumnos que siguieron la clase de forma presencial son más elevados que aquellos que asistieron de forma online/a distancia. El nivel de arousal emocional del grupo presencial alcanzó los siguientes valores:

- Primera parte (minutos 0-15): 0,73 (73%).
- Segunda parte (minutos 15-30): 0,49 (49%).

- Tercera parte (minutos 30-45): 0,46 (46%).

En promedio, en la totalidad de la clase, los alumnos presenciales presentaron un 56% de intensidad emocional. Por otra parte, los alumnos online alcanzaron los siguientes niveles de arousal emocional a lo largo de las 3 partes de la clase:

- Primera parte: 0,23 (23%).
- Segunda parte: 0,19 (19%).
- Tercera parte: 0,21 (21%).

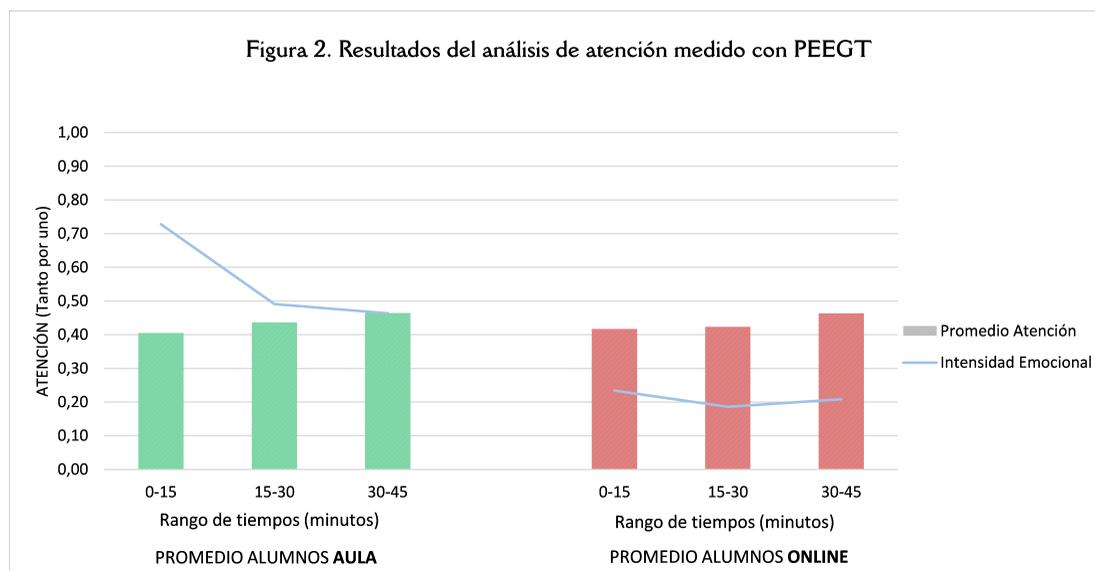
En promedio, en la totalidad de la clase, los alumnos online presentaron un 21% de intensidad emocional.

Cabe destacar que los valores de intensidad emocional son mayores en el grupo presencial durante el primer tercio de la clase, bajando conforme avanza la clase. Sin embargo, en el grupo online los valores son menores y más estables.

#### 4.2. Análisis de la actividad cerebral - EEG (electroencefalografía)

Analizamos y comparamos los niveles de atención, interés, estrés y engagement (conexión emocional), acompañados del nivel de intensidad emocional, diferenciando entre el grupo que siguió las clases en formato presencial y a distancia/online.

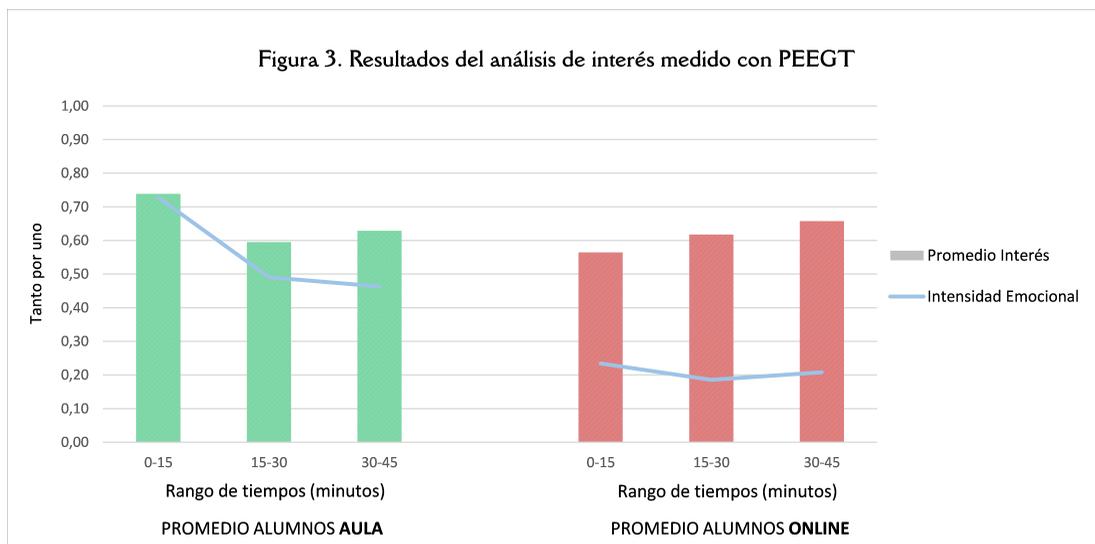
En la Figura 2 se muestra, para cada parte, el nivel de intensidad emocional promedio y el nivel promedio de atención, para los formatos presencial y a distancia/online, medido a través de la electroencefalografía portátil (PEEGT).



Se puede observar que los niveles de atención son similares, aunque ligeramente más elevados para los alumnos que asisten de manera online a la clase en la primera parte (minutos 0-15). Después, los niveles de atención aumentan para los alumnos presenciales y se mantiene en el grupo online (parte 2), finalizando con una igualdad de niveles en la parte 3 de la exposición. En el conjunto de la experiencia, los alumnos presenciales alcanzan un nivel promedio de atención igual al 44%, mientras que los asistentes online alcanzaron un 43% (en la figura se muestran los resultados en tanto por uno). Hay una diferencia mínima del 1% en nivel de atención en la escala porcentual en la que se registran los valores.

El nivel de atención de los alumnos online es más constante que el del grupo presencial, mientras que los alumnos presenciales inician la primera parte en un nivel menor de atención, pero finalizan con un nivel mayor en la tercera parte.

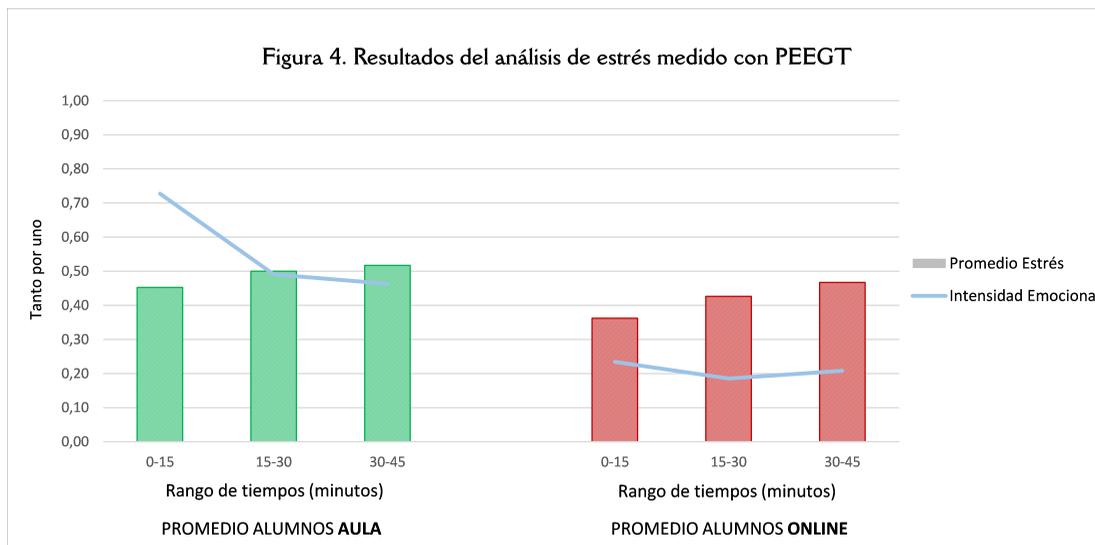
En la Figura 3 se muestra, para cada parte, el nivel de intensidad emocional promedio y el nivel promedio de interés, para los formatos presencial y a distancia/online, medido a través de la electroencefalografía portátil (PEEGT).



Los niveles de interés son mayores, en términos generales, para el grupo de asistencia presencial, con valores promedio del 65%, frente al 61% del grupo a distancia. En la primera parte (primeros 15 minutos de la clase), los niveles de interés son más elevados para los alumnos que asisten de manera presencial. Después, desciende el nivel de interés para el grupo presencial y aumenta para el grupo online, finalizando con un incremento de interés para el grupo online, por encima del grupo presencial (parte 3).

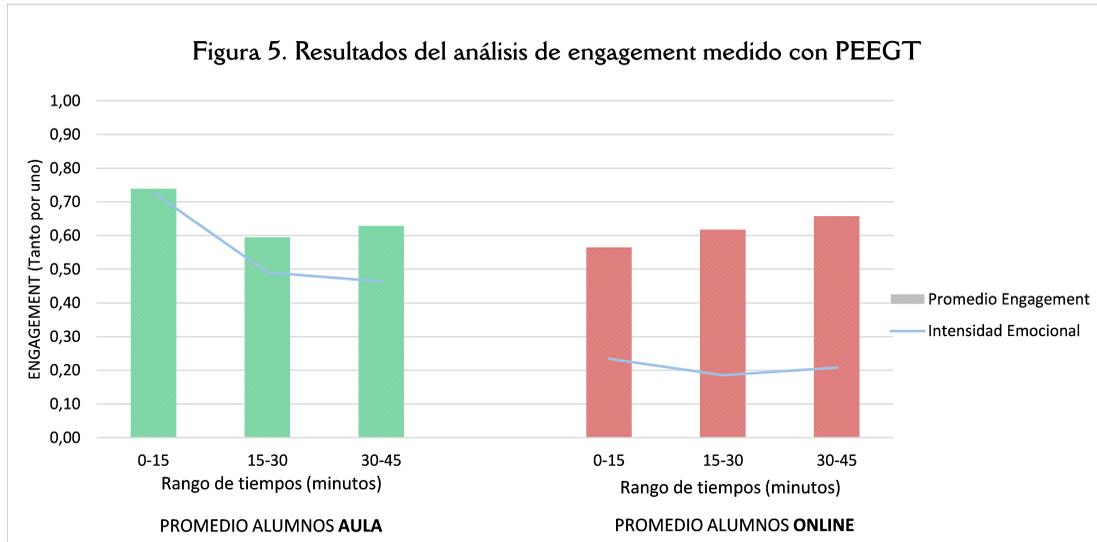
Los alumnos online son más constantes en su nivel de atención y crece conforme avanza la clase, mientras que los presenciales comienzan con un nivel de interés superior en la primera parte de la clase y baja conforme se desarrolla la clase, cambiando ligeramente la tendencia en la tercera parte.

En la Figura 4 se muestra, para cada parte, el nivel de intensidad emocional promedio y el nivel promedio de estrés, para los formatos presencial y a distancia/online, medido a través de la electroencefalografía portátil (PEEGT).



Los niveles de estrés son mayores, en términos generales, para el grupo de asistencia presencial, con valores promedio del 49%, frente al 42% del grupo a distancia. En las 3 partes de la clase los niveles de estrés son más elevados para los alumnos que asisten de manera presencial. En ambos grupos el nivel de estrés crece conforme avanza la clase, siempre con valores menores para los alumnos online (destacar que no conectan la cámara). En la Figura 5 se muestra, para cada parte, el nivel de intensidad emocional

promedio y el nivel promedio de engagement, para los formatos presencial y a distancia/online, medido a través de la electroencefalografía portátil (PEEGT).



Los niveles de engagement son mayores, en términos generales, para el grupo de asistencia presencial, con valores promedio del 65%, frente al 61% del grupo a distancia. La primera parte de la clase genera mayor nivel de engagement para los alumnos presenciales, bajando en la segunda parte y cambiando ligeramente la tendencia en la tercera parte. Sin embargo, el nivel de engagement tiene una tendencia creciente para los alumnos a distancia/online, finalizando la tercera parte de la clase por encima de los alumnos presenciales.

## 5. Discusión y conclusiones

La globalización actual obliga a los centros educativos a adaptarse, en un contexto de enseñanza en constante evolución, donde hay que diseñar continuamente nuevas formas de aprendizaje. La formación a distancia facilita la accesibilidad, independientemente de la ubicación del alumno y del profesor. No obstante, la calidad y cantidad de interacciones entre profesor y alumno es la clave, dejando en un plano secundario la ubicación de ambos (Hillman, 2011). El resultado final debe ser el mismo, tanto para alumnos presenciales, como para alumnos online (conocimientos y competencias). La innovación educativa se ve favorecida con la integración de tecnologías digitales, donde los diseños convergen al trabajar con métodos mixtos, de manera holística y mejorando el enfoque de los investigadores (Klingner & Boardman, 2011).

En un estudio realizado con estudiantes presenciales y online (Price et al., 2007), se compararon las experiencias de aquellos que tomaron el mismo curso mediante el aprendizaje a distancia, cuando el apoyo tutorial se brindó de manera convencional (usando sesiones presenciales limitadas con algún contacto por teléfono y correo electrónico) o en línea (usando una combinación de conferencias mediadas por computadora y correo electrónico). Los estudiantes que recibieron enseñanza en línea reportaron peores experiencias que aquellos que recibieron enseñanza presencial. Para los alumnos online, la tutoría era vista no solo como una actividad académica sino también como una actividad pastoral muy valorada. Para que la enseñanza en línea sea exitosa, tanto los tutores como los estudiantes necesitan capacitación sobre cómo comunicarse en línea en ausencia de señales paralingüísticas. Los ejemplos utilizados en el proceso de enseñanza-aprendizaje tienen un papel crucial en el fomento de la comprensión conceptual, y algunas variables pueden afectar el uso de ejemplos calificados por parte de los instructores (Sevimli, 2022).

La neurociencia educativa busca traducir los hallazgos de la investigación sobre los mecanismos neuronales del aprendizaje a la práctica y política educativa y comprender los efectos de la educación en el cerebro (Thomas et al., 2019). La neurociencia y la educación pueden interactuar directamente,

en virtud de considerar al cerebro como un órgano biológico que necesita estar en óptimas condiciones para aprender ('brain health'); o indirectamente, ya que la neurociencia da forma a la teoría psicológica y la psicología influye en la educación.

El objetivo principal de este trabajo ha sido demostrar que el aprendizaje a distancia (enseñanza online) es menos efectivo, a efectos de señales cerebrales, que la enseñanza en el aula, para una clase teórica destinada a estudiantes universitarios de nivel máster. Los resultados del experimento llevado a cabo en este trabajo indican que los niveles de intensidad emocional de los alumnos que siguieron la clase de forma presencial son más elevados que aquellos que asistieron de forma online/a distancia, pudiendo justificarse por la presencia del profesor, compañeros y participación. No obstante, es más estable el nivel de intensidad emocional vivido por parte del grupo que siguió la clase a distancia, cuya justificación pueda deberse a la ausencia de control visual, tanto del docente como de los compañeros, al no conectar la cámara.

En cuanto al registro de actividad cerebral por parte de los estudiantes, registrado mediante biometría portátil de electroencefalografía (PEEG), los valores son superiores en el grupo de asistencia presencial, en términos generales. Tres de las cuatro variables registradas son positivas, teniendo mayores valores en la formación presencial (atención, interés y engagement). Esto puede deberse a una actitud diferente y más motivacional por el hecho de estar en el aula. Sin embargo, la cuarta variable, estrés, también es superior en el grupo presencial, pudiendo justificarse debido a que los alumnos conectados online no activaban la cámara. Las sensaciones percibidas por el alumnado dan a entender que las clases son más productivas de manera presencial. Las sensaciones y emociones provocadas en los alumnos que asisten a distancia muestran que poseen menos interés y prestan menos atención, así como su intensidad emocional es más baja.

Finalmente, respecto a futuras líneas de investigación empleando neurotecnologías en el aula, es muy interesante analizar cómo las diferentes metodologías didácticas (dinámicas de grupo, docencia inversa, etc.) acercan o alejan los niveles de activación cerebral entre grupos presenciales y online, permitiendo una base de propuesta de acciones para potenciar y mejorar los resultados de los grupos que siguen la docencia a distancia. Igualmente, complementar las técnicas empleadas con el uso de encuestas cuantitativas enfocadas al registro de percepciones y posibles mejoras para cada metodología propuesta.

### Contribución de Autores

Idea, D.J.V., I.B.G.; Revisión de literatura (estado del arte), D.J.V., I.B.G., B.B.G.; Metodología, D.J.V., B.B.G.; Análisis de datos, D.J.V., I.B.G., B.B.G.; Resultados, D.J.V., I.B.G., B.B.G.; Discusión y conclusiones, D.J.V.; Redacción (borrador original), D.J.V., I.B.G.; Revisiones finales, D.J.V., B.B.G.; Diseño del Proyecto y patrocinios, D.J.V., B.B.G.

### Referencias

- Anand, K., Ruchika, K., Ram, S.K., Iqbal, A., & Puneet, V. (2014). Alternative healing therapies in today's era. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*, 5(3), 394-396. <https://doi.org/10.7897/2277-4343.05381>
- Bercík, J., Horská, E., Gálová, J., & Margianti, E.S. (2016). Consumer neuroscience in practice: The impact of store atmosphere on consumer behavior. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 24(2), 96-101. <https://doi.org/10.3311/PPso.8715>
- Bernal, I.M. (2022). El examen oral como promotor del aprendizaje activo. *Revista Científica Estudios e Investigaciones*, 11(1), 130-134. <https://doi.org/10.26885/rcei.11.1.130>
- Bittencourt, T., & Willetts, A. (2018). Negotiating the tensions: A critical study of international schools' mission statements. *Globalisation, Societies and Education*, 16, 515-525. <https://doi.org/10.1080/14767724.2018.1512047>
- Bowers, J.S. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*, 123(5), 600-600. <https://doi.org/10.1037/rev0000025>
- Bueno-I-Torrens, D., & Forés-Miravalles, A. (2018). 5 principles of neuroeducation that families should know to put in practice. *Revista Iberoamericana de Educación*, 78(1), 13-25. <https://doi.org/10.35362/rie7813255>
- Bueno-I-Torrens, D., & Forés-Miravalles, A. (2021). Neuroscience applied to education: How the brain learns and what consequences this has. *Llengua Societat i Comunicació*, 19, 37-45. <https://doi.org/10.1344/LSC-2021.19.5>
- Campbell, S.R. (2011). Educational Neuroscience: Motivations, methodology, and implications. *Educational Philosophy and Theory*, 43, 7-16. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2010.00701.x>
- Carew, T.J., & Magsamen, S.H. (2010). Neuroscience and education: An ideal partnership for producing evidence-based solutions to guide 21st century learning. *Neuron*, 67(5), 685-688. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.028>
- Chávez-Miyauchi, T.E., Benitez-Rico, A., Alcántara-Flores, M., Vergara-Castañeda, A., & Ogando-Justo, A.B. (2021). Personal motivation and learning self-management in students, as result of the transition to online courses during COVID-19 pandemic.

- Nova scientia*, 13. <https://doi.org/10.21640/ns.v13ie.2739>
- Clark, D.B., Tanner-Smith, E.E., & Killingsworth, S.S. (2016). Digital games, design, and learning: A systematic review and meta-analysis. *Review of Educational Research*, 86(1), 79-122. <https://doi.org/10.3102/0034654315582065>
- Cuesta-Cambra, U., Niño-González, J., & Rodríguez-Terceño, J. (2017). The cognitive processing of an educational app with EEG and 'Eye Tracking'. [El procesamiento cognitivo en una app educativa con electroencefalograma y «Eye Tracking»]. *Comunicar*, 52, 41-50. <https://doi.org/10.3916/C52-2017-04>
- Da-Silva, F.L., Slodkowski, B.K., Silva, K.K.A.D., & Cazella, S.C. (2023). A systematic literature review on educational recommender systems for teaching and learning: Research trends, limitations and opportunities. *Education and Information Technologies*, 28, 3289-3328. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11341-9>
- Doyle, A., Seery, N., Cauty, D., & Buckley, J. (2019). Agendas, influences, and capability: Perspectives on practice in design and technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(1), 143-159. <https://doi.org/10.1007/s10798-017-9433-0>
- Duchowski, A.T. (2007). Eye tracking techniques. *Eye tracking methodology*, (pp. 51-59). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57883-5>
- Ferrari, M. (2011). What can neuroscience bring to education? *Educational Philosophy and Theory*, 43, 31-36. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.2010.00704.x>
- Ghergulescu, I., & Hava-Muntean, C. (2016). ToTCompute: A novel EEG-based TimeOnTask threshold computation mechanism for engagement modelling and monitoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(3), 821-854. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0111-2>
- Hillman, T. (2011). The inscription, translation and re-inscription of technology for mathematical learning. *Technology, Knowledge and Learning*, 16, 103-124. <https://doi.org/10.1007/s10758-011-9182-1>
- Horn, C., Snyder, B.P., Coverdale, J.H., Louie, A.K., & Roberts, L.W. (2009). Educational Research Questions and Study Design. *Academic Psychiatry*, 33, 261-267. <https://doi.org/10.1176/appi.ap.33.3.261>
- Howard-Jones, P.A. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 817-824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- Huamán-Romani, Y.L., Estrada-Pantía, J.L., Olivares-Rivera, O., Rodas-Guizado, E., & Fuentes-Bernedo, F.E. (2021). Use of technological equipment for e-learning in Peruvian university students in times of Covid-19. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(20), 119-133. <https://doi.org/0.3991/ijet.v16i20.24661>
- Ilsen, A.M., & Reeve, J. (2005). The influence of positive affect on intrinsic and extrinsic motivation: Facilitating enjoyment of play, responsible work behavior, and self-control. *Motivation and Emotion*, 29(4), 295-323. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9019-8>
- Juarez, D., Tur-Viñes, V., & Mengual, A. (2020). Neuromarketing Applied to Educational Toy Packaging. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02077>
- Klingner, J.K., & Boardman, A.G. (2011). Addressing the "research gap" in special education through mixed methods. *Learning Disability Quarterly*, 34(3), 208-218. <https://doi.org/10.1177/0731948711417559>
- Lai, J.W.M., & Bower, M. (2019). How is the use of technology in education evaluated? A systematic review. *Computers & Education*, 133, 27-42. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.01.010>
- Lee, C., Yeung, A.S., & Cheung, K.W. (2019). Learner perceptions versus technology usage: A study of adolescent English learners in Hong Kong secondary schools. *Computers & Education*, 133, 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.01.005>
- Lin, J.S., & Hsieh, C.H. (2016). A wireless BCI-controlled integration system in smart living space for patients. *Wireless Personal Communications*, 88(2), 395-412. <https://doi.org/10.1007/s11277-015-3129-0>
- Morgado-Bernal, I. (2005). The psychobiology of learning and memory fundamentals and recent advances. *Revista De Neurología*, 40(5), 289-297. <https://doi.org/10.33588/rn.4005.2005004>
- Morgan, J. (2015). Online Versus face-to-face accounting education: A comparison of CPA exam outcomes across matched institutions. *Journal of Education for Business*, 90(8), 420-426. <https://doi.org/10.1080/08832323.2015.1087371>
- Plassmann, H., Zoëga-Ramsøy, T., & Milosavljevic, M. (2012). Branding the brain: A critical review and outlook. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 18-36. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.11.010>
- Price, L., Richardson, J.T.E., & Jelfs, A. (2007). Face-to-face versus online tutoring support in distance education. *Studies in Higher Education*, 32(1), 1-20. <https://doi.org/10.1080/03075070601004366>
- Prinzel, L.J., Freeman, F.G., Scerbo, M.W., Mikulka, P.J., & Pope, A.T. (2009). A closed-loop system for examining psychophysiological measures for adaptive task allocation. *The International journal of aviation psychology*, 10(4), 393-410. [https://doi.org/10.1207/S15327108IJAP1004\\_6](https://doi.org/10.1207/S15327108IJAP1004_6)
- Ramele, R., Villar, A.J., & Santos, J.M. (2012). *EPOC Emotiv EEG Basics*. <https://bit.ly/3FrQKPH>
- Ramírez-Montoya, M., & Lugo-Ocando, J. (2020). Systematic review of mixed methods in the framework of educational innovation. [Revisión sistemática de métodos mixtos en el marco de la innovación educativa]. *Comunicar*, 65, 9-20. <https://doi.org/10.3916/C65-2020-01>
- Rikkerink, M., Verbeeten, H., Simons, R.S., & Ritzen, H. (2016). A new model of educational innovation: Exploring the nexus of organizational learning, distributed leadership, and digital technologies. *Journal of Educational Change*, 17, 223-249. <https://doi.org/10.1007/s10833-015-9253-5>
- Saeed, S., & Zygier, D. (2012). How motivation influences student engagement: A qualitative case study. *Journal of Education and Learning*, 1(2), 252-267. <https://doi.org/10.5539/jel.v1n2p252>
- Sánchez-Mendiola, M., Martínez-Hernández, A.M.P., Torres-Carrasco, Agüero-Servín, M.M., Hernández-Romo, A.K., Benavides-Lara, M.A., Rendón-Cazales, V.J., & Vergara, C.A. (2020). Retos educativos durante la pandemia de COVID-19:

- Una encuesta a profesores de la UNAM. *Revista digital universitaria*, 21(3), 1-24. <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2020.v21n3.a12>
- Serrano-Díaz, N., Aragón-Mendizábal, E., & Mérida-Serrano, R. (2022). Families' perception of children's academic performance during the COVID-19 lockdown. [Percepción de las familias sobre el desempeño escolar durante el confinamiento por COVID-19]. *Comunicar*, 70, 59-68. <https://doi.org/10.3916/C70-2022-05>
- Sevimli, E. (2022). Evaluation of the didactic transposition process in teaching integral: Face-to-Face versus online education. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, 29(1), 37-48. [https://doi.org/10.1564/tme\\_v29.1.04](https://doi.org/10.1564/tme_v29.1.04)
- Talmi, D., Anderson, A., Riggs, L., Caplan, J.B., & Moscovitch, M. (2008). Immediate memory consequences of the effect of emotion on attention to pictures. *Learning & Memory*, 15(3), 172-182. <https://doi.org/10.1101/lm.722908>
- Thomas, M.S.C., Ansari, D., & Knowland, V.C.P. (2019). Annual Research Review: Educational neuroscience: progress and prospects. *Review]. Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60(4), 477-492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- Torras, M., Portell, I., & Morgado-Bernal, I. (2001). The amygdaloid body: Functional implications. *Revista de Neurología*, 33(5), 471-476. <https://doi.org/10.33588/rn.3305.2001125>
- Van-Ameringen, M., Mancini, C., & Favoriden, P. (2003). The impact of anxiety disorders on educational achievement. *Journal of Anxiety disorders*, 17(5), 228-229. [https://doi.org/10.1016/S0887-6185\(02\)00228-1](https://doi.org/10.1016/S0887-6185(02)00228-1)
- Van-Doorn, J., Lemon, K.N., Mittal, V., Nass, S., Pick, D., Pirner, P., & Verhoef, P.C. (2010). Customer engagement behavior: Theoretical foundations and research directions. *Journal of Service Research*, 13(3), 253-266. <https://doi.org/10.1177/1094670510375599>
- Varma, S., Mccandliss, B.D., & Schwartz, D.L. (2008). Scientific and pragmatic challenges for bridging education and neuroscience. *Educational Researcher*, 37(3), 140-152. <https://doi.org/10.3102/0013189X08317687>
- Villardón-Gallego, L., García-Carrión, R., Tánéz-Marquina, & Estévez, A. (2018). Impact of the interactive learning environments in children's prosocial behavior. *Sustainability*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072138>
- Wang, C.C., & Hsu, M.C. (2014). An exploratory study using inexpensive electroencephalography (EEG) to understand flow experience in computer-based instruction. *Information & Management*, 51(7), 912-923. <https://doi.org/10.1016/j.im.2014.05.010>
- Waxman, H.C., Wirth-Boriack, A., Lee, Y.H., & Macneil, A. (2013). Principals' perceptions of the importance of technology in schools. *Contemporary Educational Technology*, 4(3), 187-196. <https://doi.org/10.30935/cedtech/6102>
- Xu, J., & Zhong, B. (2018). Review on portable EEG technology in educational research. *Computers in Human Behavior*, 81, 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.037>
- Yadava, M., Kumar, P., Saini, R., Pratim-Roy, P., & Prosad-Dogra, D. (2017). Analysis of EEG signals and its application to neuromarketing. *Multimedia Tools and Applications*, 76, 19087-19111. <https://doi.org/10.1007/s11042-017-4580-6>