



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Grado:

**“Evaluación de la atracción o rechazo hacia explicaciones docentes
más o menos corporeizadas mediante el análisis de características
electroencefalográficas”**

Autor: María Cesteros Ciprián

Tutor: Alfonso García Monge

RESUMEN

Este trabajo, explora la influencia de los estímulos sensoriales en la motivación y el aprendizaje en educación física, empleando electroencefalografía (EEG) para analizar la actividad cerebral. A través del estudio de bandas de frecuencia (delta, theta, alpha y beta) y el uso de un modelo de clasificación Random Forest, se identificaron patrones de activación, según la valencia emocional y el tipo de tarea (abstracta vs concreta). Los resultados indican que los estímulos positivos favorecen un estado de mayor relajación y predisposición al aprendizaje, mientras que los negativos pueden generar mayor activación cortical relacionada con estrés o evitación. Estos hallazgos permiten desarrollar estrategias pedagógicas que mejoren la motivación y participación del alumnado.

PALABRAS CLAVE

Estimulación sensorial, educación corporeizada, electroencefalografía (EEG), procesamiento cognitivo y aprendizaje, neurociencia de la educación.

ABSTRACT

This work explores the influence of sensory stimuli on motivation and learning in physical education, using electroencephalography (EEG) to analyze brain activity. Through the study of frequency bands (delta, theta, alpha and beta) and the use of a Random Forest classification model, activation patterns were identified, according to emotional valence and type of task (abstract vs concrete). The results indicate that positive stimuli favor a state of greater relaxation and predisposition to learning, while negative stimuli can generate greater cortical activation related to stresses of avoidance. These findings allow us to develop pedagogical strategies that improve student motivation and participation.

KEYWORDS

Sensory stimulation, embodied education, electroencephalography (EEG), cognitive processing and learning, educational neuroscience neuroscience.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
4. METODOLOGÍA Y DISEÑO	16
5. RESULTADOS	21
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
7. REFERENCIAS	36
8. ANEXOS	40

INTRODUCCIÓN

La motivación es el aprendizaje es un elemento clave en el rendimiento académico, especialmente en la educación física, donde la disposición del alumnado puede verse influenciada por diversos factores. Entre ellos, los estímulos sensoriales desempeñan un papel fundamental, ya que afectan la percepción, la atención y la implicación en la actividad. Desde un enfoque neurocientífico, se ha demostrado que la actividad cerebral varía según la valencia emocional de los estímulos, modulando, el nivel de participación y el compromiso del estudiante.

Este estudio analiza cómo los estímulos sensoriales, influyen en la actividad cerebral y la motivación, utilizando electroencefalografía (EEG) para registrar la respuesta de un neuronal ante diferentes condiciones experimentales. Mediante la lisis de bandas de frecuencia y un modelo de clasificación Random Forest, se han identificado patrones de activación cerebral, asociados a la percepción de estímulos positivos o negativos, así como a la naturaleza de la tarea (abstracta o concreta).

Los resultados de esta investigación ofrecen una nueva perspectiva sobre el impacto de los estímulos sensoriales en el aprendizaje y la participación del alumnado en educación física. Comprender estos mecanismos permite diseñar estrategias pedagógicas más eficaces, optimizando el entorno educativo y fomentando una experiencia de aprendizaje más atractiva, inclusiva y adaptada a las necesidades del estudiante.

OBJETIVOS

El presente trabajo busca analizar cómo los estímulos visuales de atracción y rechazo, influyen en la respuesta emocional y cognitiva del estudiante. Para ello, se establecen los siguientes objetivos, que permitirán evaluar la relación entre la enseñanza corporeizada, la actividad cerebral y la atención en el aula.

Objetivo general:

- Analizar la influencia de los estímulos visuales de atracción y rechazo en la actividad cerebral, con el fin de evaluar la respuestas emocionales ante diferentes estilos, explicativos en la enseñanza (estilos de explicación más abstractos frente a otros más narrativo-corporeizados).

Objetivos específicos:

- Examinar como la gestualidad y la corpóreo del docente influyen en los estados emocionales y la atención de los estudiantes, utilizando EEG para clasificar la respuestas de atracción y rechazo hacia estilos explicativos narrativo-corporeizados y abstractos.
- Determinar si las características electroencefalográficas asociadas a estímulos visuales de atracción y rechazo, permiten predecir la respuesta emocional del estudiante ante distintos enfoques docentes y disciplinas académicas.
- Explorar el impacto de la educación corporeizada en el aprendizaje emocional y cognitivo, evaluando cómo los estilos docentes, narrativos y gestuales, favorecen una mayor conexión emocional y atracción, en comparación con enfoques teóricos y abstractos.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Introducción

La Educación Física juega un papel fundamental en el desarrollo integral de los estudiantes, ya que contribuye tanto al bienestar físico como emocional y cognitivo. La motivación, es un factor clave en este contexto, ya que influye de manera directa en la participación del alumnado en las actividades físicas, fomentando un aprendizaje significativo y un desarrollo motor adecuado. Tal y como señala Schnitzler et al. (2021), “los patrones de participación en educación física están directamente relacionados con el autoconcepto académico y la motivación intrínseca”. Esto resalta la necesidad de generar estrategias pedagógicas basadas en la comprensión de los factores que impactan la motivación de los estudiantes.

Desde una perspectiva neurocientífica, la motivación está estrechamente relacionada con la actividad cerebral, especialmente en la **corteza prefrontal**, responsable de la toma de decisiones y la regulación emocional. Herramientas como la **electroencefalografía (EEG)** permiten examinar la actividad cerebral en tiempo real, dando la oportunidad de obtener información valiosa sobre cómo los estímulos sensoriales pueden modular la motivación y la conducta de los estudiantes. Según Harmon-Jones (2017), “la actividad de la corteza prefrontal izquierda se asocia con la motivación de aproximación, mientras que la corteza prefrontal derecha está relacionada con la evitación”.

Uno de los conceptos clave de esta investigación es la **asimetría frontal**, la cual ha sido estudiada con bastante amplitud como un indicador de la predisposición de los individuos a enfrentar o evitar estímulos específicos. Estudios recientes redactan que “la asimetría alfa frontal refleja diferencias individuales en la sensibilidad a la recompensa y el castigo”. Esta evidencia neurocientífica resulta de gran relevancia para comprender los procesos de motivación en el ámbito de la educación física.

Por otra parte, la teoría de la **cognición corporeizada (Embodied Cognition)** afirma que es el aprendizaje el que se encuentra profundamente vinculado a las experiencias sensoriales y físicas. Este enfoque sugiere que “las experiencias sensoriales influyen en la construcción del conocimiento, ya que la percepción del entorno impacta directamente en el compromiso y la

retención del aprendizaje”. Así, los estímulos visuales, auditivos, olfativos, gustativos y táctiles, desempeñan un papel crucial en la motivación de los estudiantes y en su disposición para participar en actividades físicas.

Este trabajo busca analizar si las sensaciones de atracción o rechazo generadas por estímulos sensoriales, pueden tener una correspondencia con las respuestas emocionales observadas en tareas académicas. Esta comparación permitirá comprender de manera más profunda, la relación entre los estímulos ambientales y la motivación del estudiante, contribuyendo al desarrollo de estrategias educativas más efectivas. Según el planteamiento general del estudio, “si los clasificadores de atracción-rechazo basados en diferentes estímulos sensoriales, predicen correctamente la actitud de los estudiantes ante tareas académicas, se podría demostrar que el aprendizaje está intrínsecamente ligado a procesos sensoriales básicos”.

Para llevar a cabo este análisis, se utilizará un enfoque experimental basado en la tecnología EEG, registrando la actividad cerebral de mi misma como participante en respuesta a estímulos sensoriales de diferentes categorías. Los estímulos, clasificados en agradables y desagradables, serán aplicados en cinco modalidades: visual, auditiva, olfativa, gustativa y táctil, garantizando un entorno controlado que permita obtener resultados fiables. Esta metodología permitirá identificar patrones de actividad cerebral que reflejen la motivación y el compromiso del estudiante en relación con cada tipo de estímulo.

En conclusión, la fundamentación teórica de este trabajo, aborda conceptos fundamentales como la motivación en educación física, la neurociencia aplicada, la simetría frontal y la cognición corporeizada, con el objetivo de establecer una base sólida que permita optimizar los procesos educativos desde un enfoque sensorial y neurocientífico.

Educación corporeizada y su relación con el aprendizaje

La **educación corporeizada**, también conocida o denominada como *Embodied Education*, explica que el aprendizaje no es sólo un proceso exclusivamente mental, sino que está estrechamente relacionado a la interacción del cuerpo con el entorno. Este enfoque considera

que “las experiencias sensoriales y motoras desempeñan un papel clave en la adquisición del conocimiento”. En el ámbito de la educación física, este modelo resulta de gran utilidad, ya que los estudiantes desarrollan habilidades mediante la experiencia directa y la percepción sensorial. La conexión entre el cuerpo, los sentidos y la cognición es un aspecto clave para lograr un aprendizaje significativo.

Desde el punto de vista de la **cognición corporeizada**, se argumenta que los procesos de enseñanza y aprendizaje están condicionados por la manera en que el cuerpo interactúa con el entorno. Según Alibali et al. (2013), “los gestos y las experiencias físicas facilitan la comprensión de dos conceptos abstractos al proporcionar representaciones tangibles”. Esto sugiere que la inclusión de elementos sensoriales y movimientos a la hora de explicar o hablar sobre un tema en la enseñanza permite una mayor retención y comprensión del contenido, sobre todo en la educación física, donde el aprendizaje mayormente depende de la interacción física con el entorno.

Muchos estudios han resaltado la importancia que tienen los estímulos sensoriales en la motivación del alumnado. Se ha observado que “las sensaciones de atracción o rechazo hacia ciertos estímulos pueden influir significativamente en la predisposición del estudiante hacia la actividad física”. Los estímulos positivos, como la música inspiradora, superficies agradables al tacto, olores agradables, etc, pueden potenciar la participación, mientras que aquellos que consideramos como negativos, como ruidos molestos, texturas incómodas, etc, pueden generar desmotivación. Por ello, se resalta la necesidad de diseñar entornos de aprendizaje que potencien los estímulos sensoriales, favoreciendo así un mejor rendimiento de todos los estudiantes.

La neurociencia educativa ha demostrado que los estímulos sensoriales afectan a la actividad cerebral y los procesos motivacionales de los estudiantes. Mediante el uso de técnicas como la **electroencefalografía (EEG)**, se ha observado que “la asimetría en la actividad de la corteza prefrontal permite predecir la inclinación del estudiante hacia la aproximación o evitación de una tarea”. Este enfoque permite analizar de manera precisa la influencia de los estímulos en la motivación de los estudiantes.

La aplicación de estrategias docentes basadas en la educación corporeizada ha demostrado efectos positivos de la motivación y el aprendizaje de los estudiantes. Se ha encontrado que “el uso de gestos y expresiones corporales por parte del docente contribuye a una mayor comprensión y retención de los conceptos”. Esto indica que una enseñanza que integre el movimiento y las experiencias sensoriales permite a los estudiantes conectar mejor con los contenidos y mejorar su rendimiento académico y físico.

Otro aspecto a destacar en la educación corporeizada es la creación de **entornos de aprendizaje multisectoriales**, los cuales estimulan de manera simultánea varios sentidos, generando una experiencia de aprendizaje más completa. Investigaciones recientes destacan que “un ambiente enriquecido con estímulos adecuados puede mejorar la motivación y fomentar una mayor implicación del estudiante”. Elementos como la iluminación, los colores, los sonidos ambientales y las texturas pueden influir en la percepción de la clase, favoreciendo un entorno más adecuado para el aprendizaje.

Asimetría frontal y Motivación de Aproximación-Evitación

La **asimetría frontal** es un concepto que se ha estudiado mucho en relación con las emociones y la motivación. Se ha descubierto que “la diferencia de actividad entre los hemisferios izquierdo y derecho del cerebro están relacionados con la tendencia de las personas a acercarse a estímulos positivos o a evitar los negativos”. En educación física, entender cómo funciona esta asimetría es importante para diseñar clases que motiven a los estudiantes de manera efectiva.

¿Qué es la asimetría frontal?

La simetría frontal se refiere a la manera en que los dos lados del cerebro, especialmente en la zona frontal, trabajan de forma diferente. Estudios han demostrado que “cuando el lado izquierdo del cerebro está más activo, las personas tienden a acercarse a experiencias positivas, mientras que si el lado derecho es el dominante, suelen evitar ciertas situaciones”. En el contexto de la educación física, esto significa que algunos estudiantes se sienten

motivados a participar en actividades nuevas, mientras que otros pueden sentirse inseguros o con poca motivación.

El uso de herramientas como la **electroencefalografía (EEG)** ha permitido a los investigadores observar cómo reacciona el cerebro ante diferentes estímulos. Los estudios muestran que “cuando se presentan estímulos positivos, se observa una mayor actividad en el hemisferio izquierdo, lo que genera un aumento en la participación y el interés”. Esto sugiere que los docentes pueden utilizar estímulos específicos para aumentar el compromiso del alumnado.

La Teoría de la Sensibilidad al Refuerzo (RST)

La **teoría de la sensibilidad al refuerzo (RST)** explica cómo las personas responden a los estímulos positivos y negativos a través de dos sistemas principales: **el sistema de activación, conductual (BAS)**, que motiva a buscar recompensas, y **el sistema de inhibición conductual (BIS)**, que hace que las personas sean más prudentes ante posibles riesgos. Según esta teoría, “el BAS está relacionado con la motivación de aproximación, mientras que el BIS se activa ante situaciones que se perciben como amenazas o desafíos”.

En el contexto de la educación física, es importante tener en cuenta estos sistemas para poder entender que algunos estudiantes se sientan entusiasmados con ciertas actividades, mientras que otros pueden mostrarse reacios a participar. Se ha encontrado que “los estudiantes con un BAS más fuerte tienden a disfrutar más de la actividad física, mientras que aquellos con un BIS predominante pueden sentirse inseguros o temerosos”. Esto significa que es crucial adaptar las actividades según las características de cada estudiante para fomentar su participación.

Aplicaciones en la Educación Física

La comprensión de la asimetría frontal y su relación con la motivación puede ayudar a los docentes a mejorar la forma en que organizan sus clases. Investigaciones recientes indican que “los estímulos sensoriales adecuados pueden influir positivamente en la activación del hemisferio izquierdo, favoreciendo una actitud más participativa”. Por ejemplo, el uso de la

música, imágenes atractivas o un ambiente positivo en las clases de educación física puede estimular la participación y el disfrute del estudiante.

Cada estudiante tiene una forma distinta de responder a los estímulos. Se ha observado que “las diferencias individuales en la actividad frontal del cerebro, pueden influir en cómo los estudiantes perciben las actividades físicas, afectando su nivel de compromiso y rendimiento”. Esto demuestra que una enseñanza más personalizada, adaptada a las necesidades individuales, puede ser clave para mejorar la motivación.

Las herramientas tecnológicas, como el EEG, ofrece la posibilidad de medir en tiempo real, cómo reacciona el cerebro de los estudiantes ante distintos estímulos, lo que permite ajustar las estrategias de enseñanza. Según estudios recientes, “la medición en tiempo real permite a los docentes, evaluar la efectividad de sus métodos y adaptarlos para mejorar la experiencia del estudiante”. Esto supone un avance importante para mejorar la motivación y optimizar la enseñanza en educación física.

Influencia de los Estímulos Sensibles en la Motivación Académica y Física

El entorno en el que se desarrolla el aprendizaje tiene un impacto directo en la motivación de los estudiantes. Los estímulos sensoriales, como los elementos visuales, auditivos, táctiles, olfativos y gustativos, pueden influir en la percepción de la actividad y en la predisposición a participar en ella. En el contexto de la educación física, el uso de estímulos adecuados podemos mejorar la actitud de los estudiantes hacia la actividad, aumentando su nivel de compromiso y participación

Estímulos sensoriales y su papel en la Educación Física

Los estímulos sensoriales proporcionan información fundamental al cerebro, ayudando a crear asociaciones entre la actividad física y las emociones experimentadas. Un ambiente visualmente atractivo, acompañado de estímulos auditivos agradables, puede generar una experiencia positiva para el estudiante, fomentando la motivación intrínseca hacia la práctica

del ejercicio. Por el contrario, un entorno desordenado o con estímulos sensoriales negativos puede provocar desinterés.

Dentro de los estímulos más influyentes en educación física se encuentran:

- **Visuales:** el uso de colores vivos, imágenes, inspiradoras y materiales bien organizados.
- **Auditivos:** música motivadora o instrucciones claras que faciliten la concentración.
- **Táctiles:** superficies cómodas y adecuadas para la actividad física.
- **Olfativos:** un ambiente libre de olores desagradables que pueda influir negativamente en la percepción de la actividad.
- **Gustativos:** relacionados con la nutrición.

Relación entre Estímulos Sensoriales y la Motivación Académica

En el ámbito académico, los estímulos sensoriales, también juegan un papel crucial en la capacidad de atención y retención del estudiante. Se identificó que los entornos de aprendizaje enriquecidos con estímulos positivos favorecen la concentración y el interés, mientras que entornos monótonos o con estímulos inadecuados pueden generar desmotivación.

Por ejemplo, la aplicación de estímulos visuales, organizados en un aula o espacio deportivo puede facilitar el aprendizaje de nuevas habilidades motoras. También, los estímulos auditivos, como una voz motivadora o música de fondo adecuada, puede mejorar la percepción de la actividad y mantener a sus estudiantes concentrados en sus tareas.

Evidencia Neurofisiológica sobre los Estímulos Sensoriales

Los estudios en neurociencia han demostrado que los estímulos sensoriales afectan a la actividad cerebral, influyendo en la toma de decisiones y en la predisposición del individuo hacia la acción. Las tecnologías como la electroencefalografía (EEG) permiten registrar cómo ciertos estímulos, generan una mayor activación en regiones cerebrales asociadas con la motivación y la atención.

Se ha observado que cuando los estudiantes están expuestos a estímulos sensoriales, dispositivos, se activan áreas relacionadas con la motivación de aproximación, promoviendo una actitud proactiva hacia la actividad física. Por el contrario, la presencia de estímulos negativos o inesperados, puede generar respuesta de evitación, dificultando el aprendizaje y reduciendo la participación.

Aplicaciones Prácticas en la Educación Física

La incorporación de estímulos sensoriales adecuados en el diseño de las clases de educación física puede contribuir a la mejora del rendimiento del estudiante. Algunas estrategias prácticas son las siguientes:

- **Música motivadora:** durante las sesiones de calentamiento y actividades grupales.
- **Espacios visualmente organizados:** esto hará que se eviten distracciones y se proporcione un ambiente estructurado.
- **Texturas cómodas y seguras:** que faciliten la realización de los ejercicios.

Estos estímulos pueden ser adaptados por los docentes, según las preferencias individuales de los estudiantes, creando un entorno de aprendizaje más personalizado que ayude a maximizar su rendimiento y disfrute.

Estudios Previos sobre la Asimetría Frontal en la Educación

El análisis de la **asimetría frontal** ha cobrado una importancia creciente en el ámbito educativo, proporcionando una nueva perspectiva sobre la relación entre la actividad cerebral y el rendimiento académico. A través de diversas investigaciones, se ha podido comprobar que la actividad diferencial entre los hemisferios cerebrales desempeña un papel clave en los procesos de motivación, atención y toma de decisiones en entornos educativos.

Investigaciones sobre la Asimetría Frontal y la Motivación

Muchos estudios han demostrado que los estudiantes con mayor actividad en el lado izquierdo de la corteza frontal suelen estar más motivados para participar en actividades escolares, mientras que aquellos con mayor actividad en el lado derecho pueden sentirse más inseguros o desmotivados. Estas diferencias en la actividad cerebral explican por qué algunos alumnos están más dispuestos a aprender y a participar activamente, mientras que otros pueden tener dificultades.

Se ha encontrado que ciertos métodos de enseñanza pueden ayudar a equilibrar esta actividad cerebral, haciendo que los estudiantes se sientan más motivados. Por ejemplo, actividades que incluyen experiencias positivas, pueden aumentar la participación, mientras que en un ambiente tenso o poco estimulante pueden afectar negativamente la actitud del alumno. También se ha observado que la práctica constante de actividades físicas y mentales puede mejorar la motivación a largo plazo.

Aplicaciones de la Asimetría Frontal en la Enseñanza

Los descubrimientos sobre la simetría frontal han permitido crear unas estrategias de enseñanza que buscan mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Algunas de esas estrategias incluyen:

- **Clases con contenido positivo:** Usando ejemplos o historias que ayuden a los estudiantes a involucrarse más en las actividades.
- **Enseñanza multisensorial:** Con imágenes, sonidos y actividades prácticas que ayuden a los estudiantes a recordar mejor la información.
- **Técnicas de relajación:** Ejercicios de respiración que ayuden a los estudiantes a reducir el estrés.

Factores que Afectan la Asimetría Frontal en el Aprendizaje

Hay varios factores, pero algunos de los que considero más importantes son los siguientes:

- **El ambiente escolar:** Un aula organizada, con buena iluminación y sin ruido excesivo, puede mejorar la concentración y la motivación.
- **Diferencias individuales:** Como ya he mencionado anteriormente cada estudiante es único, y su cerebro responde de manera diferente a los estímulos del entorno.
- **Métodos de enseñanza:** Los profesores suelen utilizar técnicas en las que los alumnos se involucren y tengan participación, como el trabajo en equipo y la experimentación práctica, logrando así mejores resultados en la motivación de los estudiantes.

Retos y oportunidades en la Aplicación de la Asimetría Frontal en Educación

A pesar de todos los beneficios que ofrece el estudio de la simetría frontal, su aplicación en las escuelas presenta algunos desafíos. Uno de los principales problemas es el acceso a esta tecnología (EEG), que permite medir la actividad cerebral. Aunque esta herramienta es útil, no siempre es fácil de utilizar en las escuelas debido a su costo y la necesidad de personal capacitado.

Sin embargo, hay muchas oportunidades para aplicar estos conocimientos en la educación. Cada vez más profesores están interesados en aprender sobre neurociencia para mejorar sus clases. Con el tiempo, podrían desarrollarse métodos más simples y accesibles para adaptar la enseñanza a las necesidades de los estudiantes, basándose en cómo funciona su cerebro.

METODOLOGÍA

Este estudio tuvo como objetivo analizar la influencia de los estímulos sensoriales en la motivación y aprendizaje en educación física, utilizando herramientas de neurociencia como la electroencefalografía (EEG). A partir del registro de actividad cerebral, se buscó identificar patrones neurofisiológicos en respuesta a distintos estímulos de atracción y rechazo, así como diferentes estilos explicativos en educación.

La motivación en el aprendizaje es un factor clave en el desarrollo del alumnado, y su relación con los estímulos sensoriales ha sido objeto de múltiples estudios en neurociencia y educación. Se ha demostrado que la percepción de estímulos positivos o negativos pueden modular la actividad cerebral, incluyendo la predisposición del estudiante hacia una determinada tarea. En este sentido, la presente investigación aborda cómo estos estímulos pueden impactar en el contexto educativo, particularmente en la enseñanza de la educación física.

Para ello, se diseñó un estudio experimental en el que se analizaron respuestas cerebrales ante distintos estímulos sensoriales y explicaciones docentes con diferentes niveles de corporeización. A través del análisis espectral de frecuencias y el uso de un modelo de clasificación Random Forest, se evaluó la forma en que la actividad cerebral se ve afectada por la exposición a imágenes, sonidos, olores, texturas y sabores, así como por distintos estilos de enseñanza.

Este enfoque no solo permite entender cómo el cerebro procesa y responde a la información sensorial, sino que también proporciona un marco para diseñar estrategias educativas que optimicen la implicación del alumnado en el aprendizaje. Además, el uso de métodos neurocientíficos como el EEG aporta un nivel de precisión en la medición de la actividad neuronal, que resulta difícil de obtener a través de métodos tradicionales de evaluación educativa.

El experimento fue realizado bajo condiciones controladas, asegurando la reducción de posibles factores externos, que pudieran afectar la atención y concentración del participante, en este caso yo misma. Se estableció un protocolo riguroso que incluyó la eliminación de

estímulos irrelevantes, tales como ruidos ambientales o elementos visuales distractores. Para ello, el ordenador utilizado se cubrió con cartones blancos, de manera que cualquier objeto o luz en el entorno, no desviara la atención de la tarea principal.

El estudio se diseñó con un enfoque intra-sujeto, lo que significa que la única participante en el experimento fui yo misma. Este diseño permite un análisis detallado y controlado de la respuestas neurofisiológicas, eliminando la variabilidad inter individual que podría afectar la interpretación de los resultados.

Y las siguientes secciones se detallan los estímulos utilizados, el procedimiento experimental, los instrumentos de medición, y las técnicas de análisis de datos empleadas en la investigación.

Diseño del estudio

El experimento consistió en la exposición a diferentes estímulos sensoriales, previamente clasificados, en atracción y rechazo, y a distintas tareas explicativas, diferenciadas en abstractas y concretas.

1. Estímulos sensoriales

Se presentaron estímulos correspondientes a los cinco sentidos, organizados en dos categorías:

- **Atracción:** Estímulos agradables o positivos.
- **Rechazo:** Estímulos desagradables o negativos.

Ejemplos de estímulos utilizados:

- **Visual:** Imágenes placenteras (bebés con mascotas, paisajes) y aversivas (basura, arañas, serpientes).

- **Auditivo:** Sonidos agradables (canciones favoritas) y desagradables (rayar un plato).
- **Olfativo:** Aromas agradables (vainilla, perfume) y olores fuertes (vinagre, bomba fétida).
- **Gustativo:** Sabores dulces (bombones) y amargos (potito de crema de patatas con lenguado).
- **Táctil:** Superficies suaves y texturas ásperas o incómodas.

2. Tareas explicativas (vídeos)

Se incluyeron vídeos de explicaciones, docentes, diferenciados en estilos abstractos y concretos:

- **Mates_abstract:** explicación teórica del número π sin ejemplos visuales.
- **Mates_concreto:** explicación del número π con ejemplos prácticos y gestualidad.
- **Lengua_abstract:** Explicación teórica sobre el sustantivo sin contexto práctico.
- **Lengua_concreto:** Explicación narrativa y contextualizada del sustantivo con ejemplos concretos.

Este diseño experimental permitió evaluar la actividad cerebral en función del tipo de estímulo y estilo de docente, identificando diferencias en la respuesta neuronal según el grado de corporeización en la enseñanza.

Instrumentación y Registro de Datos

Para recolección de datos se utilizó un dispositivo EEG de 32 canales, con una frecuencia de muestreo de 128 Hz, asegurando una cobertura precisa de las principales regiones corticales implicadas en el procesamiento cognitivo y emocional:

- **Frontal:** Control ejecutivo, atención y procesamiento emocional.
- **Central:** Actividad sensoriomotora y simulación gestual.
- **Parietal:** Integración de información y atención espacial.

- **Occipital:** Procesamiento visual.
- **Temporal:** Lenguaje y memoria.

El EEG registró la actividad cerebral en tiempo real, permitiendo analizar variaciones en la respuesta neuronal ante cada estímulo presentado. Se aplicaron técnicas de preprocesamiento, incluyendo:

- **Filtrado banda pasante (0.5-40 Hz)** para eliminar ruido.
- **Corrección de artefactos** (parpadeos y actividad muscular).
- **Análisis en dominio de frecuencia**, evaluando diferentes bandas cerebrales.

Procedimiento

El experimento consiguió los siguientes pasos:

1. Colocación del EEG:

- Se instaló el gorro EEG y se verificó la transmisión de las señales.
- Se aplicó líquido conductor en los electrodos para mejorar la cantidad del registro.

2. Presentación de estímulos:

- Cada estímulo fue presentado durante un tiempo controlado.
- Se dejaron intervalos entre representaciones para evitar la fatiga mental.

3. Registro de actividad cerebral:

- Durante la exposición a cada estímulo, el EEG registró datos continuos.
- Se almacenaron los registros para su posterior análisis.

4. Recopilación y procesamiento de datos:

- Se aplicaron algoritmos de análisis espectral para evaluar la actividad en diferentes bandas de frecuencia.

Análisis de datos

Para el análisis neurofisiológico, se evaluaron diferentes bandas cerebrales, relacionadas con funciones cognitivas y emocionales específicas:

- **Delta (0-4 Hz):** Atención, sostenida y esfuerzo cognitivo.
- **Theta (4-7 Hz):** Memoria de trabajo y procesamiento emocional.
- **Alpha (7.5-12 Hz):** Relajación y actividad inhibitoria.
- **Beta baja (12-20 Hz):** Atención, focalizada y actividad sensoriomotora.
- **Beta alta (20-30 Hz):** Estados de alerta y estrés.
- **Gamma (>30 Hz):** Procesamiento avanzado e integración de información.

Se calcularon indicadores específicos como:

- **Poder espectral (PSD):** Medición de la potencia en cada banda.
- **Z-scores de los poderes espectrales:** Estandarización de valores por canal y banda.
- **Asimetría frontal:** Evaluación de laterización emocional y cognitiva.
- **Coefficiente de implicación (Engagement):** Medición del nivel de atención ($\text{beta}/(\text{alpha}+\text{theta})$).

Clasificación de los datos con Random Forest

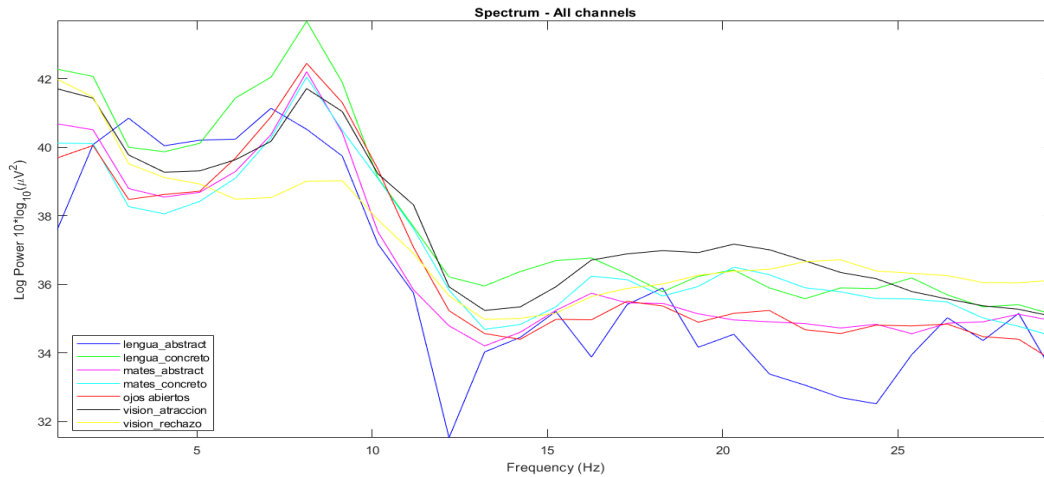
Para identificar patrones en la actividad cerebral, se utilizó un clasificador Random Forest, que permitió analizar cómo los estímulos influían en la activación cerebral.

- **Rendimiento del modelo:**
 - Se obtuvo una precisión del 100% (exactitud = 0.1), aunque se reconoce la posibilidad de sobreajuste debido al tamaño reducido de la muestra (un solo participante).

El uso de este modelo permitió extraer información detallada sobre la respuesta neuronal ante estímulos sensoriales y estilos explicativos, facilitando el estudio de la enseñanza corporeizada en educación física.

RESULTADOS DEL ESTUDIO

Análisis de frecuencias



La gráfica representa el **espectro promedio de potencia en los diferentes canales** (en escala logarítmica) en las frecuencias de 0 a 30 Hz para diferentes condiciones experimentales: “ojos abiertos” (como línea base), “lengua abstracto”, “lengua concreto”, “mates abstracto”, “mates concreto”, “visión atracción” y “visión rechazo”. La condición de “**ojos abiertos**” sirve como referencia de comparación (baseline) para analizar cómo varían las diferentes bandas de frecuencia cuando se realiza una tarea cognitiva o se presenta un estímulo sensorial. A continuación destacó los puntos clave:

1. Presencia de un poco en la banda Alpha (8-10 Hz)

- La mayoría de las condiciones muestran un pico prominente alrededor de 8-10 Hz, característico de la banda Alpha. Este pico refleja un estado de relajación o atención moderada y varía según la condición.
 - **Condiciones como “mates concreto” y “ojos abiertos”** presentan un pico Alpha más pronunciado, asociado a una menor carga cognitiva o mayor a relajación.
 - Por otro lado, en “**lengua abstracto**” el pico Alpha disminuye notablemente, lo que indica un mayor esfuerzo cognitivo en esta tarea.

2. Diferencias en bandas bajas (delta y theta, <7 Hz)

- Algunas condiciones muestran mayor potencia en las frecuencias bajas (3-5 Hz), asociadas a procesos de atención, sostenida o esfuerzo mental:
 - **Tareas abstractas (mates y lengua):** Incremento en bandas theta, reflejando mayor procesamiento cognitivo.
 - **Tareas concretas:** Niveles más bajos en estas frecuencias, probablemente debido a una menor demanda cognitiva abstracta.

3. Comportamiento en la banda beta (13-30 Hz)

- A partir de ~12 Hz, las curvas de las distintas condiciones tienden a converger, pero aún se observan variaciones:
 - **Tareas con mayor activación cognitiva** (como “mates abstracto” o “lengua abstracto”) muestran incrementos en la beta baja (~13 -20 Hz).
 - La banda beta alta (20-30 Hz) podría relacionarse con estados de tensión o estrés, aunque las diferencias entre condiciones son menos marcadas.

4. Condiciones de atracción vs rechazo (visión)

- Las condiciones de “visión atracción” y “visión rechazo” presentan patrones similares en las bandas bajas, pero se aprecian diferencias en Alpha y beta:
 - La condición “atracción” muestra un pico Alpha más definido, indicando una respuesta emocional positiva.
 - La condición “rechazo” presenta una ligera disminución de Alpha y beta alta, posiblemente reflejando una activación emocional negativa.

5. Condiciones abstractas vs concretas (Matemáticas y Lengua)

- Las tareas abstractas (mates y lengua) presentan una supresión significativa en la banda Alpha, lo que sugiere una mayor carga cognitiva y atención a la tarea.
- Las tareas concretas, como “mates concreta” o “lengua concreta”, muestran un pico Alpha más elevado, asociado con un estado más relajado o un procesamiento menos demandante, posiblemente vinculado al uso de redes visomotoras o narrativas.

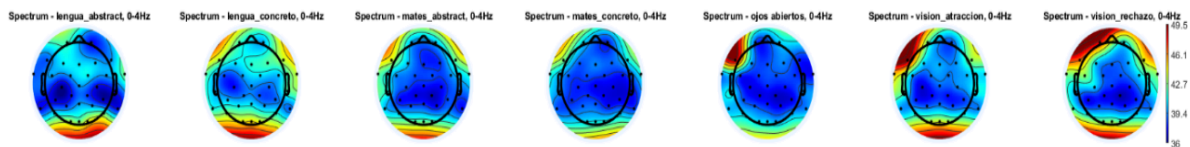
6. Condición “ojos abiertos” como línea base

- Esta condición refleja un estado basal con la vista activa. Como es típico, el pico Alpha disminuye, especialmente en la región occipital, debido a la estimulación visual.

- Comparada con condiciones experimentales:
 - Las tareas abstractas muestran mayor supresión Alpha, reflejando un mayor esfuerzo mental.
 - Las tareas concretas exhiben un patrón más relajado, con menor supresión en Alpha.
 - Las condiciones emocionales (atracción/rechazo) presentan patrones propios, con diferencias en Alpha y en bandas bajas, asociadas a respuestas emocionales, positivas o negativas.

Análisis de mapas topográficos en las diferentes frecuencias

Análisis de la banda Delta (0-4 Hz)



La banda Delta está asociada con procesos de muy baja frecuencia, reflejando estados de somnolencia, actividad, cortical de fondo o demandas cognitivas muy elevadas, e incluso actividad subcortical. Los mapas topográficos permiten observar diferencias en esta banda según las condiciones experimentales

1. Distribución frontal y fronto-central:

- Las tareas abstractas (por ejemplo, lengua_abstract y mates_abstract) muestran mayor potencia Delta en las áreas frontales, lo que indica mayor carga cognitiva relacionada con el razonamiento abstracto por atención sostenida.

2. Condiciones concretas vs abstractas:

- En tareas concretas (lengua_concreto y mates_concreto), la actividad Delta es menos concentrada en la región frontal y se distribuye de forma más homogénea, lo que sugiere una menor carga cognitiva abstracta.

- En contraste, las condiciones abstractas presentan un realce delta frontal, reflejando el esfuerzo necesario para procesar conceptos más complejos sin apoyo práctico.

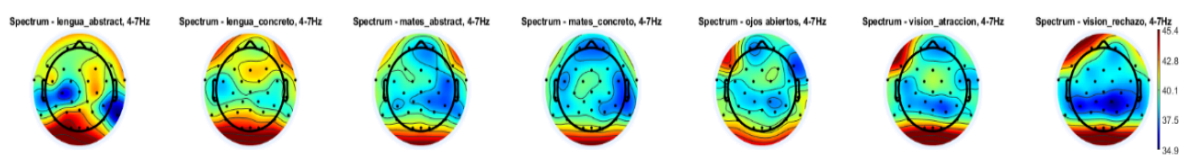
3. Condición ojos abiertos:

- En reposo con ojos abiertos, la actividad Delta es más homogénea y de menor intensidad (tonos azulados), indicando un estado de alerta normal en ausencia de tareas exigentes.

4. Visión atracción vs rechazo:

- En vision_rechazo, la actividad Delta se desplaza hacia áreas prefrontales, centrales y derechas, posiblemente, debido a un mayor componente emocional o de tensión asociado con estímulos negativos.

Análisis de la Banda Theta (4-7 Hz)



La banda theta está relacionada con procesos de memoria de trabajo, carga cognitiva, procesamiento emocional y atención sostenida durante tareas mentales exigentes. Los mapas topográficos theta ofrecen las siguientes observaciones clave:

1. Condición ojos abiertos como línea base:

- En reposo, theta frontal se mantiene en niveles bajos o moderados si el estado de alerta es estable.
- Un aumento excesivo. En esta condición podría sugerir somnolencia o pensamiento interno, pero si permanece estable (azul/verde), sirve como referencia para evaluar cambios en las tareas experimentales.

2. Mayor potencial frontal en condiciones abstractas:

- La actividad theta aumenta en la región frontal y fronto-central cuando la tarea demanda un mayor procesamiento o retención en memoria de trabajo.

- Lengua muestra más activación que Matemáticas, las tareas abstractas más que las concretas, reflejando, mayor esfuerzo cognitivo.

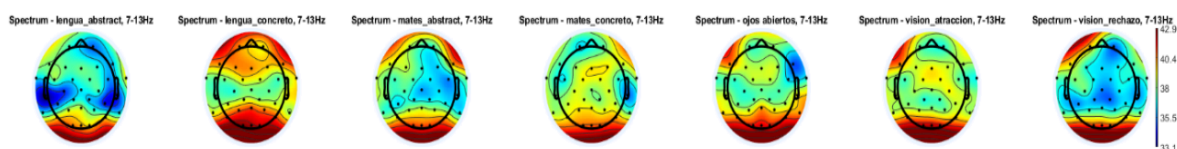
3. Distribución en condiciones concretas:

- En lengua_concreto y mates_concreto, la potencia theta se distribuye de manera más homogénea, lo que sugiere un cambio en la estrategia de procesamiento.
- El uso de ejemplos prácticos de apoyo gestual, podría reducir la necesidad de mantener información en memoria de trabajo, activando en su lugar, redes visuoespaciales o multi sensoriales.

4. Valencia emocional (visión atracción vs rechazo)

- Theta frontal alta, puede asociarse con procesamiento emocional o evaluación de estímulos.
- Si visión_rechazo muestra mayor realce frontal, podría estar relacionada con una respuesta de alerta agresiva ante un estímulo negativo.
- En cambio, visión_atracción reflejaría un nivel de activación más moderado, posiblemente vinculado con un procesamiento emocional, positivo o menos demandante.

Análisis de la Banda Alpha (7.5-12 Hz)



La banda Alpha está relacionada con estados de reposo cortical en regiones parieto-occipitales cuando no hay una alta demanda cognitiva. Su presencia sugiere un estado de baja, activación o la inhibición de procesos irrelevantes para la tarea, mientras que su supresión (desincronización) indica un mayor procesamiento cognitivo y atención activa. Los mapas topográficos permiten identificar patrones específicos según la condición experimental.

1. Distribución occipito-parietal típica:

- El incremento de Alpha (colores cálidos) suele concentrarse en las regiones occipitales y parietales, reflejando, estados de relajación o menor carga atencional.
- Por el contrario, cuando estas áreas se activan en el procesamiento de la información, se observa una supresión Alpha (colores fríos), lo que indica un mayor nivel de involucración cognitiva.

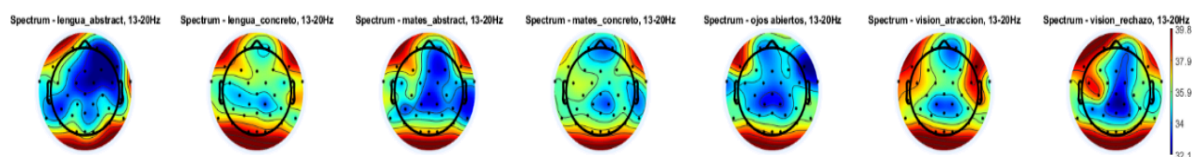
2. Diferencias entre tareas abstractas y concretas:

- En tareas abstractas (mates_abstract, lengua_abstract), se observa una desincronización más pronunciada en regiones frontales, temporales y parietales, lo que sugiere un mayor esfuerzo cognitivo al procesar información teórica.
- En condiciones concretas (mates_concreto, lengua_concreto), se aprecia un mayor mantenimiento de Alpha en zonas posteriores, lo que podría indicar una menor carga cognitiva. La introducción de ejemplos prácticos o apoyo gestual puede reducir la demanda en redes asociadas al razonamiento abstracto o redistribuir la carga cognitiva hacia otras bandas (beta/gamma).

3. Efecto de la valencia emocional (visión_atracción vs visión_rechazo):

- **Visión_atracción** (estímulos positivos) presenta menor supresión Alpha en regiones frontales y parietales, lo que sugiere un estado más relajado y contemplativo.
- **Visión_rechazo** (estímulos negativos) muestra una mayor Alpha en áreas frontales, parietales y temporales, reflejando un estado de mayor alerta, tensión emocional en respuesta a la percepción de una amenaza o desagrado.

Análisis de Banda Beta Baja (12-20 Hz)



La banda beta baja está relacionada con atención focalizada, procesamiento, sensorio, motor y control ejecutivo. En particular, la franja de 13-15 Hz se asocia con el ritmo mu, presente en la corteza sensorio, motora y vinculado a la planificación imaginación motora. El análisis de los mapas topográficos. En esta banda reverá distintos patrones según la tarea o estímulo presentado.

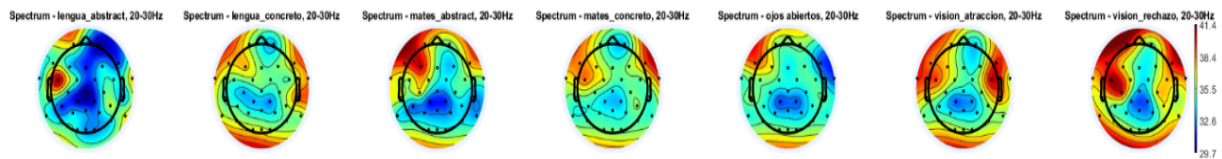
1. Actividad en zonas sensoriomotoras (C3, Cz, C4):

- La beta baja está conectada con el ritmo mu, que se activa en tareas que requieren planificación o simulación motora.
- En condiciones como mates_concreto y lengua_concreto, donde hay mayor uso de ejemplos prácticos y gestualidad, se observa un realce de beta en la región central, lo que sugiere que el cerebro podría estar procesando simulando internamente los movimientos observados.
- Un incremento en estas zonas podría indicar una mayor participación de redes motoras incluso cuando el estudiante no está realizando un movimiento físico directo.

2. Diferencias entre visión_atracción y visión_rechazo:

- Los estímulos emocionales pueden modular la banda beta, ya que influyen en el estado de alerta y en los procesos atencionales.
- En visión_rechazo, se observa una mayor activación beta en áreas frontales, lo que podría estar relacionado con una respuesta emocional, negativa y procesos de evitación o alarma.
- En visión_atracción, en cambio, la activación se concentra en zonas temporales y centrales, reflejando, un procesamiento más contemplativo y posiblemente una menor carga de tensión emocional.

Análisis de la Banda Beta Alta (20-30Hz)



La banda vital alta está relacionada con procesos cognitivos, exigentes, estados de activación elevada y actividad motora involuntaria. Un aumento en esta frecuencia puede reflejar atención intensa, estrés o tensión emocional, incluso contracciones musculares en la zona craneal o mandibular que pueden influir en la señal EEG.

Y el análisis de los mapas topográficos permite identificar varios patrones clave:

1. Focos frontales y fronto-laterales:

- No se observa una activación significativamente mayor en las tareas abstractas, en comparación con las concretas, lo que sugiere que la carga cognitiva no se traduce en un aumento evidente de beta alta.
- El hemisferio frontal izquierdo suele asociarse con procesamiento lingüístico (en tareas de lengua) y con estrategias analítico-verbales (en Matemáticas abstractas).
- En cambio, en las tareas concretas, se aprecia una mayor activación en las zonas prefrontales derechas, temporales y centrales, lo que sugiere una redistribución de la actividad cerebral en función del tipo de procesamiento.

2. Áreas sensoriomotoras:

- En la región central (C3, Cz, C4), la beta alta puede aumentar cuando hay tensión motora o la persona simula movimientos de forma gestual, aunque este efecto suele ser más notable en la banda beta media.

3. Valencia emocional (atracción vs rechazo):

- En visión_rechazo, se observa un aumento de beta alta en la región frontal, lo que puede estar relacionado con una respuesta emocional negativa, activando circuitos de estrés y vigilancia.

- En visión_atracción, la activación beta alta es menor y se encuentra más lateralizada en las zonas temporales, lo que sugiere una menor tensión emocional y un procesamiento más relajado. Esto también podría indicar un cambio de foco hacia áreas visuales y temporales, relacionadas con la percepción de estímulos agradables.

Clasificación de características con Random Forest

Métricas de clasificación: Se obtuvo una precisión perfecta en todas las métricas evaluadas:

Clase	Precisión	Recall	F1-Score	Support
Atracción	1.00	1.00	1.00	22
Rechazo	1.00	1.00	1.00	22
Promedio	1.00	1.00	1.00	44

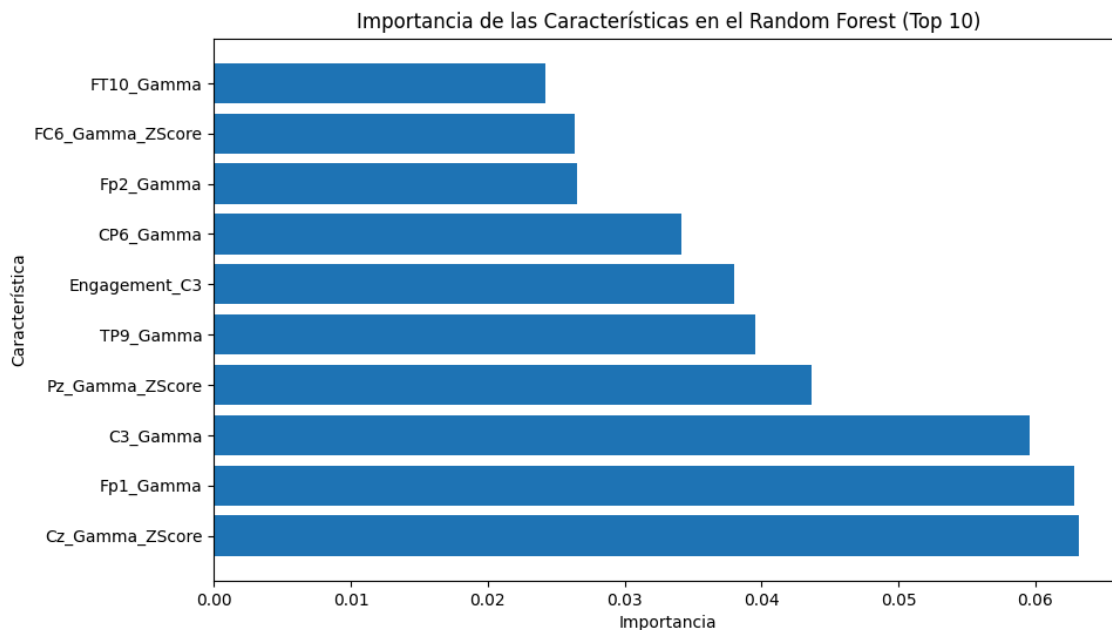
Validación cruzada:

Métrica	Valor
Scores	[1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0]
Media	1.0
Desviación Estándar	0.0

La precisión perfecta indica un desempeño óptimo en la clasificación de ambas condiciones. Sin embargo, dado el tamaño reducido de la muestra y la participación de un solo individuo, los resultados sugieren un posible sobreajuste del modelo. La falta de variabilidad entre los datos podría haber facilitado que el modelo memorice las características específicas de las condiciones experimentales, reduciendo su generalizabilidad.

En la siguiente gráfica se muestra la importancia de las características del modelo Random Forest aplicado a los datos EEG, destacando las 10 características más relevantes para la

clasificación de los estados de atracción y rechazo.



Las características relacionadas con la banda Gamma predominan, siendo las más relevantes el Z-score del canal Cz (Cz_Gamma_ZScore) y las potencias Gamma de los canales Fp1 y C3. Esto sugiere que estas regiones cerebrales, asociadas a funciones de procesamiento cognitivo, movimiento y atención, desempeñan un papel crucial en la diferenciación entre los estados evaluados. El coeficiente de implicación (Engagement_C3) también tiene relevancia, lo que refuerza la importancia de la activación cortical en la toma de decisiones emocionales. Finalmente, la menor importancia relativa de los canales FT10 y FC6 indica que su contribución es secundaria en comparación con las áreas centrales y frontales. Esto destaca la relevancia de los procesos de integración cognitivo-emocional en este contexto.

CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido analizar cómo los estímulos sensoriales influyen en la actividad cerebral y, en consecuencia, en la motivación y el aprendizaje en educación física. A través de la aplicación de electroencefalografía (EEG), se ha registrado la respuesta neuronal a distintos estímulos de atracción y rechazo, así como a diferentes estilos explicativos en la enseñanza.

Los resultados obtenidos confirman que los estímulos sensoriales tienen un impacto significativo en el procesamiento cognitivo y emocional. En particular, los estímulos agradables (atracción) se asociaron con una mayor relajación y una disposición más favorable hacia la actividad, mientras que los estímulos desagradables (rechazo) generaron una activación cortical relacionada con alerta y tensión.

Además, la comparación entre tareas abstractas y concretas, mostró diferencias claras en la carga cognitiva percibida. Las tareas abstractas requirieron mayor esfuerzo mental, reflejado en la supresión de la banda Alpha y un incremento en theta y beta alta, mientras que las tareas concretas permitieron una participación más fluida y menos demandante a nivel cognitivo.

Estos hallazgos refuerzan la idea de que el contexto sensorial en el aula puede condicionar la predisposición del alumnado hacia el aprendizaje, especialmente en educación física, donde la experiencia corporal y emocional juegan un papel clave en la motivación.

Análisis de los resultados: lo que funcionó según lo previsto

Uno de los principales logros de este estudio fue la identificación de patrones neurofisiológicos coherentes con la literatura científica previa. Los resultados confirmaron que los estímulos positivos activaron regiones cerebrales asociadas con la motivación de aproximación, lo que facilitó una actitud receptiva ante la tarea. En contraste, los estímulos

negativos generaron una mayor activación en regiones frontales, vinculadas con estados de alerta y procesamiento del rechazo. Asimismo, la música, las imágenes y los olores agradables contribuyeron a un estado de relajación, mientras que los sonidos y olores desagradables provocaron un aumento en la tensión. Estos hallazgos refuerzan la idea de que los estímulos sensoriales tienen una influencia directa en la predisposición del estudiante hacia el aprendizaje y pueden modular la implicación cognitiva y emocional.

Por otro lado, los resultados también respaldan la hipótesis de que las estrategias docentes basadas en la corporeización generan una mayor conexión emocional y motivacional en comparación con explicaciones más abstractas. Se observó que las explicaciones narrativas y con apoyo gestual, facilitaron la retención de información y redujeron la carga cognitiva, lo que permitió una mejor comprensión del contenido. Además, el uso de ejemplos prácticos aumentó la implicación del participante, reflejándose en una menor supresión de la banda Alpha. En contraste, las tareas abstractas requirieron un mayor esfuerzo mental, lo que generó una activación más pronunciada en bandas theta y beta alta, sugiriendo que la falta de apoyo contextual y sensorial demandaba una mayor carga cognitiva para la comprensión.

El análisis también permitió confirmar que los estilos explicativos que combinaban narración, gestualidad y referencias contextuales resultaron más efectivos para captar la atención y facilitar la asignación de conocimientos. La enseñanza basada en experiencias concretas y visuales no solo promovió una mejor comprensión del contenido, sino que también favoreció una respuesta neuronal más equilibrada, reduciendo la tensión asociada a la resolución de problemas en entornos educativos. Estos hallazgos coinciden con teorías previas sobre aprendizaje corporeizado, reforzando la importancia de considerar el cuerpo y la emoción, como elementos clave de la enseñanza.

Desde una perspectiva neuroeducativa, los resultados obtenidos permiten consolidar la idea de que la estimulación multi sensorial en el aula, no solo mejora la comprensión, sino que también optimiza la motivación y el bienestar del estudiante. La combinación de estímulos adecuados y estrategias dinámicas representa una herramienta valiosa para potenciar la implicación activa en el aprendizaje.

Aspectos que no funcionaron como se esperaba

Hubo algunos aspectos que no se comportaron como se esperaba. En la activación de la banda beta, se anticipaba que las tareas más exigentes generarían un aumento uniforme. En esta frecuencia, reflejando un estado de alerta. Sin embargo, se observó que en algunas tareas concretas, la beta baja presentó niveles, inesperadamente altos, lo que podría estar relacionado con una mayor participación sensoriomotora en la comprensión. Además, en la condición de visión rechazo, la beta alta no mostró un incremento tan marcado como se había previsto, lo que sugiere que la respuesta emocional negativa no siempre implica una mayor activación de alerta, sino que podría depender de otros factores como la familiaridad con el estímulo o la interpretación subjetiva del mismo.

Otro aspecto a considerar es la variabilidad individual en la percepción de los estímulos. Dado que el estudio se realizó con un único participante, no fue posible evaluar como diferencias personales, como experiencias previas o sensibilidad emocional, pueden influir en la respuesta neural. Investigaciones previas han señalado que los estímulos negativos pueden generar respuestas diversas, según el contexto y las características individuales, lo que representa una limitación en la generalización de los resultados.

A pesar de estas discrepancias, la metodología empleada permitió extraer información valiosa sobre los efectos de los estímulos en la actividad cerebral. No obstante, estos hallazgos sugieren la necesidad de ampliar la muestra en futuras investigaciones, para comprender mejor las diferencias individuales y refinar las interpretaciones sobre la relación entre actividad cerebral y estimulación sensorial en el aprendizaje.

Recomendaciones y aplicaciones prácticas

Los hallazgos obtenidos en este estudio permiten extraer diversas recomendaciones tanto para la práctica educativa como para futuras investigaciones en neuroeducación. Dado que los estímulos sensoriales demostraron un impacto significativo en la activación cerebral y

la motivación del estudiante, es fundamental considerar su integración en el diseño de estrategias pedagógicas más efectivas.

En primer lugar, es importante adaptar el diseño del entorno educativo para optimizar la experiencia de aprendizaje. Incorpora estímulos visuales, auditivos y táctiles positivos. Pueden mejorar la disposición del estudiante hacia la actividad, favoreciendo un estado emocional más receptivo. Del mismo modo, es recomendable reducir la presencia de estímulos que generen distracción o tensión, especialmente en entornos donde la motivación del alumnado es baja. Pequeños cambios en el aula, como el uso de colores agradables, música motivadora o materiales sensorialmente atractivos pueden marcar una diferencia en la implicación de los estudiantes.

Desde una perspectiva metodológica, los resultados obtenidos respaldan la necesidad de adaptar las estrategias docentes para incluir explicaciones narrativas y contextualizadas. El uso de gestualidad de apoyo visual ha demostrado facilitar la comprensión y reducir la carga cognitiva, lo que sugiere que la enseñanza debe evolucionar hacia enfoques más dinámicos e interactivos. Es recomendable que los docentes alternen entre tareas abstractas y concretas, permitiendo que los estudiantes tengan momentos de reflexión teórica combinados, con experiencias más prácticas que refuerzan el aprendizaje. Además, integrar herramientas tecnológicas que favorezcan la experimentación sensorial podría potenciar aún más el efecto positivo de estos enfoques.

En el ámbito de la educación física, estos hallazgos refuerzan la importancia de la enseñanza basada en la experiencia corporal. Fomentar la participación activa del alumnado, mediante la integración de movimiento y sensaciones, puede contribuir a mejorar la motivación y la implicación en la actividad física. También es recomendable aplicar técnicas de autorregulación emocional a través del control de estímulos sensoriales, permitiendo a los estudiantes, desarrollar una mayor conciencia sobre cómo su entorno influye en su rendimiento y bienestar.

Finalmente, para futuras investigaciones, sería fundamental ampliar la muestra y explorar cómo las diferencias individuales pueden modular la respuesta a los estímulos sensoriales

en el aprendizaje. Además, se podrían analizar los efectos de la exposición prolongada a ciertos estímulos y su impacto en el rendimiento académico a largo plazo. Integrar metodologías neurocientíficas. En la educación representa una oportunidad innovadora para mejorar la calidad de la enseñanza, optimizando la manera en que los estudiantes procesan y retienen la información.

Este estudio ha permitido comprender mejor la relación entre los estímulos sensoriales, la actividad cerebral y la motivación en el aprendizaje, especialmente en el contexto de la educación física. Los resultados obtenidos confirman que los estímulos positivos favorecen un estado de mayor receptividad y motivación, mientras que los estímulos negativos pueden generar tensión o distracción. Asimismo, se ha evidenciado que las explicaciones concretas y con apoyo gestual, facilitan la comprensión y reducen la carga cognitiva en comparación con las explicaciones abstractas.

Estos hallazgos resaltan la importancia de integrar estrategias pedagógicas que aprovechen el impacto de la estimulación sensorial para optimizar el aprendizaje. Además, abren la puerta a futuras investigaciones que amplíen el estudio a una muestra más amplia y analicen la aplicación de estos principios en diferentes contextos educativos. En definitiva, este trabajo subraya la necesidad de diseñar entornos de enseñanza que fomenten la implicación del alumnado a través de experiencias sensoriales y métodos didácticos, más dinámicos e interactivos.

REFERENCIAS

- Valenzeno, L., Alibali, M. W., & Klatzky, R. (2003). Teachers' gestures facilitate students' learning: A lesson in symmetry. *Contemporary Educational Psychology*, 28(2), 187–204. [https://doi.org/10.1016/S0361-476X\(02\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0361-476X(02)00007-3)
- Alibali, M. W., Young, A. G., Crooks, N. M., Yeo, A., Wolfgram, M. S., Ledesma, I. M., Nathan, M. J., Church, R. B., & Knuth, E. J. (2013). Students learn more when their teacher has learned to gesture effectively. *Gesture*, 13(2), 210–233. <https://doi.org/10.1075/gest.13.2.05ali>
- Church, R. B., Perry, M., Singer, M. A., Cook, S. W., & Alibali, M. W. (2024). Teachers' gestures and how they matter. *Topics in Cognitive Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/tops.12755>
- Novack, M., & Goldin-Meadow, S. (2015). Learning from gesture: How our hands change our minds. *Educational Psychology Review*, 27(3), 405–412. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9325-3>
- Herrington, J. D., Heller, W., Mohanty, A., Engels, A. S., Banich, M. T., Webb, A. G., & Miller, G. A. (2010). Localization of asymmetric brain function in emotion and depression. *Psychophysiology*, 47(3), 442–454. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00958.x>
- Wimmer, S., Lackner, H. K., Papousek, I., & Paechter, M. (2018). Goal orientations and activation of approach versus avoidance motivation while awaiting an achievement situation in the laboratory. *Frontiers in Psychology*, 9, 1552. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01552>
- Spielberg, J. M., Miller, G. A., Engels, A. S., Herrington, J. D., Sutton, B. P., Banich, M. T., & Heller, W. (2011). Trait approach and avoidance motivation: Lateralized neural activity associated with executive function. *NeuroImage*, 54(1), 661–670. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.08.037>
- Firth, J., Standen, B., Sumich, A., Fino, E., & Heym, N. (2024).** The neural correlates of reinforcement sensitivity theory: A systematic review of the frontal asymmetry and spectral

power literature. *Psychophysiology*, 61, e14594. <https://doi.org/10.1111/psyp.14594>

Garrison, K. E., Schmeichel, B. J., Baldwin, C. L., & Harmon-Jones, E. (2022). Meta-analysis of the relationship between frontal EEG asymmetry and approach/avoidance motivation. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/xyz123>

Harmon-Jones, E., & Gable, P. A. (2017). On the role of asymmetric frontal cortical activity in approach and withdrawal motivation: An updated review of the evidence. *Psychophysiology*, 55(1), e12879. <https://doi.org/10.1111/psyp.12879>

Gainotti, G. (2024). A historical approach to models of emotional laterality. *Brain Research*, 1836, 148948. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2024.148948>

Kelley, N. J., Hortensius, R., Schutter, D. J. L. G., & Harmon-Jones, E. (2017). The relationship of approach/avoidance motivation and asymmetric frontal cortical activity: A review of studies manipulating frontal asymmetry. *International Journal of Psychophysiology*, 112, xx–xx. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.03.00>

Zamora García, R. (2024). Reconocimiento de emociones a partir de la actividad eléctrica cerebral con técnicas de deep learning. *Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Valladolid*. <https://uvadoc.uva.es>

Fitzgerald, P. J. (2024). Frontal alpha asymmetry and its modulation by monoaminergic neurotransmitters in depression. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 22(3), 405-415. <https://doi.org/10.9758/cpn.23.1138>

Gable, P. A., Neal, L. B., & Threadgill, A. H. (2018). Regulatory behavior and frontal activity: Considering the role of revised-BIS in relative right frontal asymmetry. *Psychophysiology*, 55(1), e12910. <https://doi.org/10.1111/psyp.12910>

Perone, S., & Vaughan, A. M. (2024). Frontal alpha asymmetry dynamics: A window into active self-regulatory processes. *Biological Psychology*, 193, 108872. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2024.108872>

Lacey, M. F., & Gable, P. A. (2021). Frontal asymmetry in an approach–avoidance conflict paradigm. *Psychophysiology*, 58, e13780. <https://doi.org/10.1111/psyp.13780>

Sabu, P., Stuldreher, I. V., Kaneko, D., & Brouwer, A.-M. (2022). A review on the role of affective stimuli in event-related frontal alpha asymmetry. *Frontiers in Computer Science*, 4, 869123. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.869123>

Gainotti, G. (2018). A historical review of investigations on laterality of emotions in the human brain. *Journal of the History of the Neurosciences*. <https://doi.org/10.1080/0964704X.2018.1524683>

Papousek, I., Reiser, E. M., Weber, B., Freudenthaler, H. H., & Schulte, G. (2012). Frontal brain asymmetry and affective flexibility in an emotional contagion paradigm. *Psychophysiology*, 49(4), 489–498. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01324.x>

Reznik, S. J., & Allen, J. J. B. (2018). Frontal asymmetry as a mediator and moderator of emotion: An updated review. *Psychophysiology*, 55, e12965. <https://doi.org/10.1111/psyp.12965>

Lin, Y., & Sun, X. (2024). The effect of induced regulatory focus on frontal cortical activity. *Behavioral Sciences*, 14(4), 292. <https://doi.org/10.3390/bs14040292>

Lacey, M. F., & Gable, P. A. (2022). Frontal asymmetry as a neural correlate of motivational conflict. *Symmetry*, 14, 507. <https://doi.org/10.3390/sym14030507>

Bolta Ballester, J. P. (2024). Clasificación de emociones mediante señales EEG y técnicas de aprendizaje automático. *Trabajo de Fin de Grado, Universitat Politècnica de València*

Tullett, A. M., Harmon-Jones, E., & Inzlicht, M. (2012). Right frontal cortical asymmetry predicts empathic reactions: Support for a link between withdrawal motivation and empathy. *Psychophysiology*, 49(8), 1145–1153. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01395.x>

Lacey, M. F. (2021). Frontal asymmetry in an approach-avoidance conflict paradigm. *Psychophysiology*, 58, e13780. <https://doi.org/10.1111/psyp.13780>

Lacey, M. F., Neal, L. B., & Gable, P. A. (2020). Effortful control of motivation, not withdrawal motivation, relates to greater right frontal asymmetry. *International Journal of Psychophysiology*, 147, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.09.013>

Calvo Moratilla, J. J. (2022). Análisis de emociones de sujetos a partir de señales de EEG, una aproximación con modelos de aprendizaje automático. *Trabajo de Fin de Máster, Universitat Politècnica de València*.

Khalsa, S. S., Ritz, T., & Diener, E. (2024). The golden age of integrative neuroscience? The brain joins the body in the latest renaissance of interoception research. *Biological Psychology*, 192, 108851. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2024.108851>

ANEXOS