

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Análisis comparativo del EEG de escaladores
nóveles en situaciones de trepa libre y prefijada en
rocódromo.



Universidad de Valladolid

AUTOR: *Samuel Moneo Vivar*

**GRADO EN EP. 4º CURSO.
CURSO 2022-2023**

INDICE

RESUMEN	3
1.OBJETIVO	4
2. JUSTIFICACIÓN.....	4
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
3.1 La escalada	5
3.2 Electroencefalografía	5
3.3 Áreas y ondas cerebrales	6
4. METODOLOGÍA.....	8
4.1 Participantes:	8
4.2 Procedimiento:.....	8
5. RESULTADOS	10
5.1 Análisis de los resultados por bandas de frecuencia.	11
5.2 Análisis de los recorridos por áreas funcionales.	16
6. CONCLUSIONES	18
REFERENCIAS.....	19

RESUMEN

Mediante este proyecto se pretende conocer la actividad cerebral en situaciones de escalada libre y escalada pre-fijada para obtener conclusiones aplicables en la intervención didáctica en Educación Física. Para ello, hemos realizado un análisis comparativo de EEG (electroencefalogramas) en diferentes situaciones de escalada registrados por un grupo de trabajo en el rocódromo de la universidad de Valladolid.

En este trabajo, se analiza la actividad cerebral a través del estudio de los espectros de diferentes bandas de frecuencia en distintas áreas de la corteza cerebral. Se ha registrado que, a mayor complejidad del recorrido, la actividad cerebral en las ondas theta, alpha y beta es mayor. Sin embargo, los participantes han requerido de una mayor activación cortical en el primer intento al enfrentarse por primera vez con el rocódromo.

PALABRAS CLAVE

Actividad cerebral, escalada, electroencefalograma, educación física.

ABSTRACT

The aim of this project is to know the brain activity in free climbing and pre-fixed climbing situations in order to obtain conclusions applicable in the didactic intervention in Physical Education. For this purpose, we have carried out a comparative analysis of EEG (electroencephalograms) in different climbing situations recorded by a working group in the climbing wall of the University of Valladolid.

In this work, the brain activity is analyzed through the study of the spectra of different frequency bands in different areas of the cerebral cortex. It has been recorded that the greater the complexity of the course, the greater the brain activity in the theta, alpha and beta waves. However, the participants required a greater cortical activation in the first attempt when facing the climbing wall for the first time.

KEY WORDS

Brain activity, climbing, electroencephalograms, physical education.

1. OBJETIVO

El objetivo de este estudio es conocer la actividad cerebral de escaladores principiantes en diferentes situaciones o recorridos, con el fin de recoger información para una posible aplicación en la etapa de Educación Primaria como docentes de Educación Física. En este caso, se ha querido conocer las diferencias de la actividad cerebral en recorridos libres frente a recorridos con presas prefijadas y obligatorias.

2. JUSTIFICACIÓN

A forma de breve exposición de las potencialidades educativas que tiene la escalada deportiva en niños de edades escolares, podríamos explicar que estas alcanzan diferentes planos: plano socio-afectivo, plano cognitivo, plano motriz, plano moral (Nonini y Saikin, 2011). A través de este estudio, hemos podido incidir en el plano cognitivo.

La dificultad presente en esta actividad, está caracterizada por el grado de concentración que se genera en la persona. Hepp, Güllich y Heidorn, (2001) la denominan como “una búsqueda creativa para solucionar los problemas que se presenten; se mira, se piensa, se gira, se trepa, se estira, se piensa y se vuelve a pensar”.

A pesar de encontrar numerosos estudios que exponen estas potencialidades, nos resulta más difícil encontrar estudios que analicen los procesos de actividad cerebral que ocurren durante su práctica.

Debido a la dificultad de poder realizar el estudio en escolares por falta de disponibilidad, materiales y espacios, este estudio exploró los estados cerebrales de escaladores universitarios e investigó el comportamiento de las ondas theta, alfa y beta.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 La escalada

La escalada tiene demandas psicomotrices (Mermier et al., 2000) y también psicológicas (Sánchez et al., 2010) en los que demanda la fuerza, la potencia, la resistencia, la flexibilidad, el equilibrio y el control neuromuscular para conseguir el óptimo rendimiento (Phillips et al., 2012).

El prestigio en la escalada no está directamente vinculado con variables somáticas individuales, más bien es el resultado de una múltiple interacción de factores fisiológicos y psicológicos (Giles, Rhodes, y Taunton, 2006).

Las oportunidades educativas que aportan las AFMN son diversas (Granero y Baena, 2007; Santos, 2006). Los beneficios físicos, emocionales e intelectuales son palpables a corto plazo y el comportamiento y los resultados académicos de los alumnos mejoran a través de tareas relacionadas con la naturaleza (Freire, 2010).

La atracción por la escalada, además, ha demostrado ser un factor concurrente con los niveles de ansiedad mental, ansiedad fisiológica y autoconfianza. Cuando el alumno tiene un mayor interés por la escalada, normalmente soporta menores niveles de las ansiedades nombradas anteriormente y una mayor autoconfianza (Morilla Portela et al., 2013).

3.2 Electroencefalografía

El EEG fue inventado por Hans Berger en 1924. El encefalograma (EEG) pertenece a una técnica de investigación de la actividad eléctrica del córtex cerebral. Esta se fundamenta en la actividad estimulante o inhibitoria del sistema piramidal de neuronas ubicadas en dicha región (Bear, Connors y Paradiso, 2016). En un sentido somático, la potencia del EEG refleja la cantidad de neuronas que descargan simultáneamente o en un sentido cognitivo, es la capacidad del procesamiento de la información cortical (Klimesch, 1999).

El casco de electroencefalografía, es un aparato de tela o malla compuesto por electrodos que registra la actividad eléctrica del cerebro. A través de los electrodos, se reconocen diferencias de voltaje entre ellos para poder realizar mediciones. Esta actividad se recoge en forma de ondas pudiéndolas diferenciar según su frecuencia.

Las mediciones de potencia se ven muy afectadas por una serie de factores inespecíficos, como el grosor del cráneo o el volumen de líquido cefalorraquídeo. También por factores metodológicos y técnicos, como la distancia entre electrodos o el tipo de montaje, o por factores más específicos, como la edad, el estado de excitación y el tipo de exigencias cognitivas durante la realización real de la tarea (Klimesch, 1999).

3.3 Áreas y ondas cerebrales

La actividad recogida en la corteza cerebral, está compuesta por un número de ondas que se diferencian a través de diferentes parámetros (Talamillo, 2011):

- ❖ Frecuencia: número de veces que aparece la onda en un tiempo determinado. Se denota en Herzios (Hz) que corresponde a las veces que se repite la onda en un segundo. Encontramos las siguientes bandas de frecuencia:

- Ondas delta (0,5 – 4Hz)

La actividad de estas ondas cerebrales aparece con frecuencia en estados de relajación y sueños profundos. Se ha demostrado que están involucradas en procesos motivacionales y se asocia con procesos en el sistema de recompensa de dopamina. Los movimientos relacionados con un impulso libre hacia objetos gratificantes biológicamente importantes se acompañan de una mayor actividad de onda delta (Knyazev, 2007).

- Ondas Theta (4-8 Hz)

Generalmente en el lóbulo temporal. A menudo se relacionan con la memoria y la habilidad emocional. Las ondas theta cumplen un rol en la percepción de prominencia, lo cual corrobora la estrecha relación entre los procesos motivacionales y emocionales (Knyazev, 2007).

- Ondas Alpha (8-13 Hz)

Las encontramos en la zona occipital del cerebro. Se basa en gran parte en mecanismos de inhibición y la conciencia perceptiva y control atencional (Knyazev, 2007). Según Klimesch, cuando hay atención, también podemos encontrar alpha alto, ya que esta actúa bloqueando las otras zonas.

- Ondas Beta (13-30 Hz)

Principalmente las encontramos en la zona frontal y central del cerebro. Estas oscilaciones se relacionan con la conducta sensoriomotora. La potencia de esta onda disminuye durante la preparación de los movimientos voluntarios y aumenta al producirse la acción (Nam, Jeon, Kim, Lee y Park, 2011). Se ha comprobado, que el cerebro responde de la misma forma en beta cuando visualiza o imagina la acción. No es necesario que se acompañe de ningún movimiento muscular, ya que la imaginación mental de un acto motor activa de forma similar las mismas zonas del córtex que en el movimiento real (Neuper et al., 2009).

Se pueden clasificar en las siguientes:

- Ondas beta bajas (12-15 Hz)
- Ondas beta medias (15-20 Hz)
- Ondas beta altas (20-30 Hz)

- Ondas gamma (30-100 Hz)

Son las señales más rápidas y se relacionan con una actividad cerebral elevada e intensa. Son responsables de la representación coherente de objetos, el aprendizaje interno y procesar la información (Tallon-Baudry y Bertrand, 1999).

❖ Áreas cerebrales:

La corteza cerebral se entiende como una lámina de sustancia gris que abarca los dos hemisferios cerebrales. Siendo esta una estructura compleja en la que los diferentes órganos sensitivos están estructurados en áreas llamadas áreas sensoriales primarias. Además, la corteza cerebral está compuesta por diversas áreas fisiológicas secundarias de asociación y motrices (Valverde, 2002).

La corteza se divide en diferentes áreas funcionales y lóbulos. Cada hemisferio cerebral se divide en seis lóbulos de acuerdo a un orden de surcos (depresiones) y giros (elevaciones):

- Lóbulo frontal
- Lóbulo parietal
- Lóbulo temporal
- Lóbulo occipital
- Lóbulo de la ínsula
- Lóbulo límbico

Brodmann divide el cerebro humano en 47 áreas diferentes. Dentro de cada área se pueden distinguir funciones de cada zona cerebral. De esa forma, hay áreas especializadas en acciones motrices, procesamiento de informaciones sensoriales, lenguaje, etc.

4. METODOLOGÍA.

4.1 Participantes:

Los participantes son estudiantes de la Universidad de Valladolid. Entre ellos encontramos 2 mujeres y 3 hombres. La media de edad de los participantes es de 22 años. Estos aseguran haber tenido contacto básico en rocódromo previamente: nivel de iniciación.

4.2 Procedimiento:

Contexto:

Desde los años 90, la escalada ha evolucionado surgiendo nuevos estilos. Estos se pueden clasificar según Draper, Jones, Fryer, Hodgson y Blackwell (2010) en: escalada *de primero, de segundo, top rope, solo o free y boulder*. Esta última consiste en escalar una vía corta, si cuerda ni demasiada altura y con un compañero que asegura una posible caída (Portela et al., 2013). Debido a las necesidades tecnológicas de los instrumentos que vamos a utilizar, se ha escogido el Boulder como modalidad para realizar el estudio.

Utilizamos un rocódromo situado en el gimnasio de la universidad. Los recorridos se realizaron en una vía transversal de 3 metros de altura por 5 metros de longitud. Agarres y nivel prefijado. La distancia de separación entre presas era de 30 cm y sus dimensiones facilitan el agarre a pesar de encontrar de diferentes tamaños.

Tras colocar los gorros EEG, la situación experimental tomaba un registro de base de 2 minutos con los ojos cerrados y 1 minuto con los ojos abiertos mirando a un punto fijo. Seguidamente, se traslada al individuo a la sala donde se encuentra el rocódromo, donde se explica la tarea a realizar. La tarea de escalada consistió en realizar 2 bloques: series de 4 repeticiones seguidas en un recorrido libre sin premisas al que llamamos “libre” y cada intento asignado del 1 al 4. A continuación 4 repeticiones seguidas en un recorrido prefijado en el que los participantes debían memorizar las presas que iban a utilizar y a continuación realizar los intentos tratando de recordar y usar estas. Este recorrido lo llamamos prefijado medio o “medio” y los intentos asignados del 1 al 4.

Los recorridos eran recogidos mediante cámara móvil, y los participantes comentaban a la cámara sus sensaciones y vivencias durante cada intento.

Instrumentos:

Para la recogida de la señal EEG se utilizó un dispositivo Eloc Flex (Emotiv, San Francisco). Se trata de un dispositivo de 32 canales con sensores pasivos de Ag/AgCl (EasyCap, Herrsching) montados sobre un gorro de neopreno de EasyCap que permite elegir las posiciones de montaje. La conductividad se facilita por un gel. La frecuencia de muestreo es de 128Hz. El amplificador

de Emotiv colocado en el gorro, envía de forma inalámbrica la señal al ordenador donde se recoge a través de una aplicación on-line (Emotiv Pro) desde la que, posteriormente, se pueden descargar los datos en formatos CSV o EDF. En el trabajo de Williams et al. (2020b) se recoge su validación.

Pre-procesado de la señal:

El pre procesamiento de datos y los análisis se llevaron a cabo utilizando la caja de herramientas EEGLAB (v. R2022b) (Delorme y Makeig, 2004) para Matlab (MathWorks, Natick, EE.UU.)

En el pre-procesado se aplicaron filtros IIR Butterworth de paso alto (0,5Hz) y paso bajo (45 Hz), Se limpiaron los datos de artefactos con una primera inspección visual, tras la que se aplicó un algoritmo de reconstrucción del subespacio de artefactos (ASR) para descartar los canales silenciados más de 5 segundos o con ruido de alta frecuencia de más de 4 desviaciones. Seguidamente, se re-referenciaron los datos mediante el cómputo de la referencia promedio (CAR). Finalmente se aplicó el análisis de componentes independientes (ICA) y se descartaron los componentes en los que predominaban fuentes no neuronales (artefactos).

Análisis:

Para el análisis de las características de las bandas de frecuencia se utilizó la aplicación “Study” de EEGLAB, que nos permitió comparar diferentes bandas de frecuencia en diferentes situaciones, canales y sujetos. Esta aplicación nos permite obtener diferentes parámetros espectrales como la media, la moda, la mediana, la desviación estándar y rango. También nos permite hacer pruebas de análisis de varianza a través de estadísticos no paramétricos mediante permutaciones.

5. RESULTADOS

Se presentan a continuación los resultados de los diferentes recorridos. Para ello, se ha realizado un promediado de los espectros de frecuencia de los diferentes participantes en cada uno de los recorridos libres (libre1, libre2, libre3 y libre4) y de la misma manera, de los recorridos prefijados en los que se había suprimido alguna presa y en los que los participantes debían recordar el recorrido para reproducirlo en varios intentos (denominados medio1, medio2, medio3 y medio4). A través de los promediados, se han comparado los niveles en las bandas de frecuencia theta (4-8 Hz), alpha (8-13 Hz) y beta (13-30 Hz) en los recorridos: libre1 vs medio1, libre2 vs medio2, libre3 vs medio3, libre4 vs medio4.

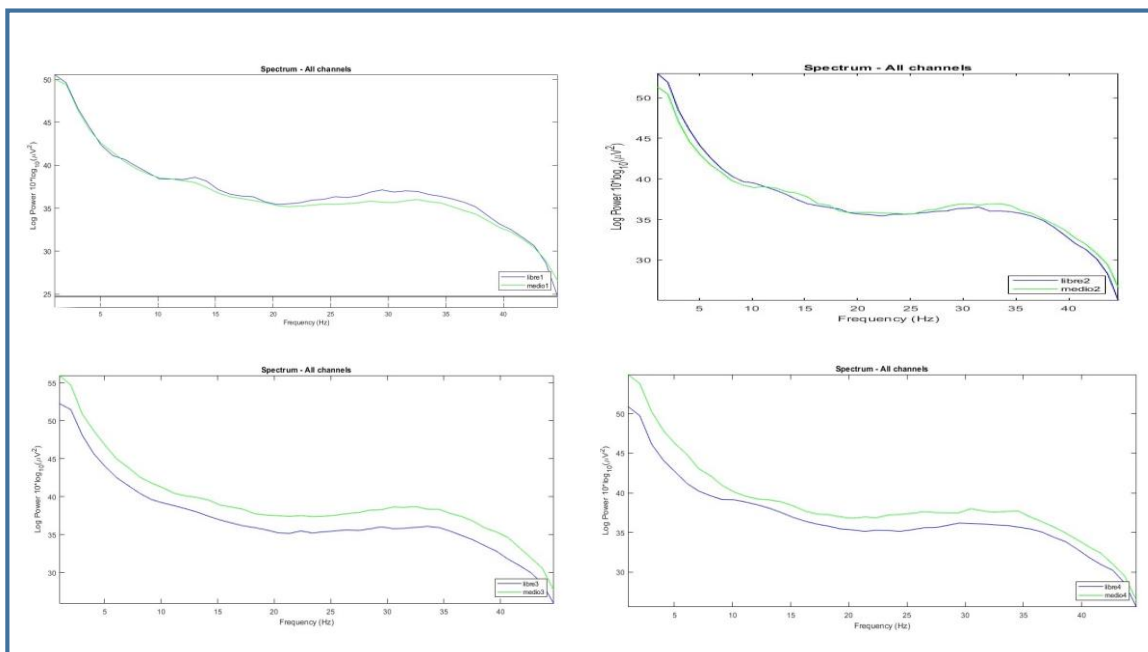


Figura 1. Gráfico del poder espectral del promediado de los 5 participantes entre 0,5 Hz y 40 Hz entre el tramo libre y prefijado (medio).

Podemos observar cómo la tendencia en el espectro de frecuencia realiza esta secuencia: Durante el recorrido 1 de ambos niveles encontramos una mayor actividad cerebral en el tramo libre (menor en las ondas bajas y de mayor diferencia en las ondas altas) en comparación con el tramo prefijado. Se puede pensar que esta diferencia está relacionada con una mayor dificultad psicomotriz en el primer intento libre en comparación con el primer intento prefijado debido a la exposición de los participantes ante un nuevo contexto exploratorio. Es decir, que los participantes encontraron una mayor dificultad cognitiva al enfrentarse por primera vez con el rocódromo en el primer tramo libre, mientras que, al hacer los recorridos prefijados ya se había producido una adaptación al contexto.

En el recorrido 2 en ambos niveles, observamos como la diferencia de actividad cerebral disminuye entre los dos tramos. Incluso se observa una mayor actividad en las ondas primarias (theta y alfa) en el tramo libre, posiblemente consecuencia de la tarea de aprendizaje motor en este tramo inicial (van der Cruisen, 2021).

Encontramos en el recorrido 3, cómo la actividad cerebral aumenta en el recorrido medio posiblemente, debido a la memorización de presas. Sin embargo, en el tramo libre, debido a un mayor número de repetición de intentos, los participantes registran una menor carga cognitiva ya que se vuelven más “expertos”. Las repeticiones de la habilidad producirían un proceso de adaptación, que implicaría una menor actividad cerebral (Janelle et al., 2000).

Estos niveles se mantienen en el recorrido 4 por lo que encontramos una mayor actividad cerebral en el nivel medio en comparación con el libre. De esta forma, a priori se observa una tendencia lógica en los resultados de valores, donde a mayor dificultad de la tarea, mayor activación cortical.

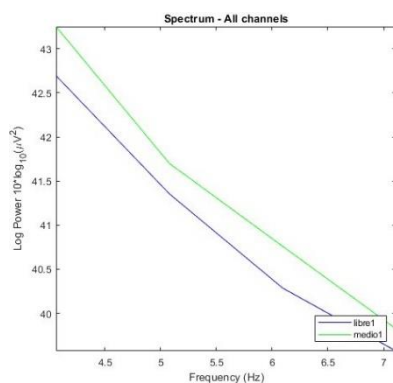
5.1 Análisis de los resultados por bandas de frecuencia.

Banda de frecuencia theta.

Según Cavanagh y Frank (2014) la actividad en theta se relaciona con procesos de control cognitivo. También se ha encontrado que aparece en tareas que implican atención sostenida (Clayton et al., 2015) y memoria de trabajo (Maurer et al., 2015).

Se han recogido los resultados obtenidos de la onda theta (4-8 Hz) en los diferentes recorridos:

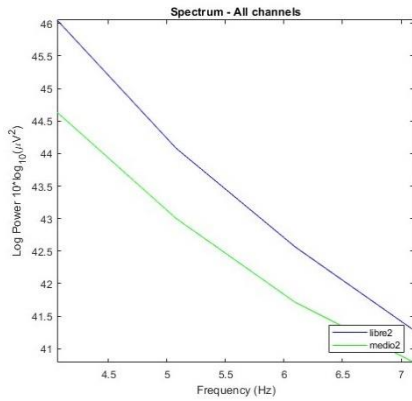
Recorrido de nivel 1:



Se puede observar una diferencia significativa ($Z=-2,80$; $p=.0051$) entre el primer intento de recorrido libre ($M=40.98$; $std=1.359$) y el segundo intento de recorrido prefijado medio ($M=41.38$; $std=1.462$). Se puede interpretar que la diferencia tiene que ver con la tarea de control cognitivo (Cavanagh y Frank, 2014) y atención sostenida (Clayton et al., 2015) propia del recorrido medio, donde los participantes deben prestar atención en las presas

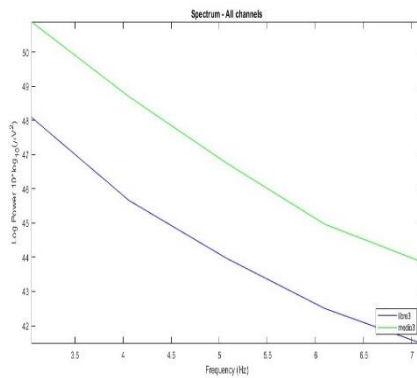
que utilizan para su siguiente memorización.

Recorrido de nivel 2:



Se aprecia una diferencia significativa ($Z=-2,80$; $p=.0051$) entre el segundo intento de los recorridos libre ($M=43.49$; $std=2.052$) y medio ($M=42.53$; $std=1.668$). Esta vez, los valores más altos se encuentran en el tramo libre. Interpretamos que la actividad cerebral theta en el recorrido libre aumenta debido a una implicación del aprendizaje motor (van der Crujisen, 2021) en un intento de realizar con técnica dicho intento. Los valores en el tramo medio se mantienen con los recogidos en el primer intento.

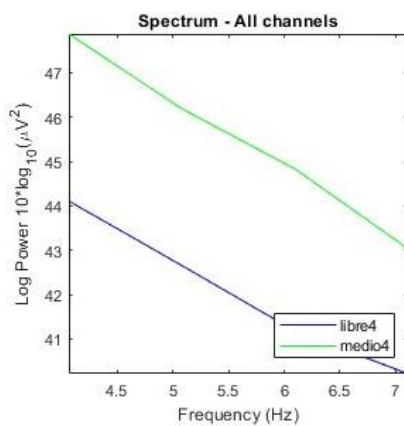
Recorrido de nivel 3:



Los valores theta en el recorrido tres muestran la tendencia lógica principal. La diferencia significativa ($Z=-2.80$; $p=.0051$) entre el tramo libre ($M=41.23$; $std=1.289$) y el medio ($M=42.89$; $std=1.82$) esta vez por encima este último, nos puede estar marcando esa tendencia de mayor demanda de memoria (Gärtner et al., 2014) y atención en el nivel prefijado medio. Así mismo, los valores del tramo libre comienzan a disminuir a medida que realizamos la

misma tarea consecutivamente (Janelle et al., 2000).

Recorrido de nivel 4:



Se aprecia un descenso en la potencia de ambas ondas en el recorrido cuatro. Encontramos diferencias significativas ($Z=-2.80$; $p=.0051$) entre recorrido libre ($M=41.59$; $std=1.545$) y el prefijado medio ($M=42.23$; $std=1.67$). La actividad cerebral tiene más potencia de onda theta en el nivel medio, siguiendo con la teoría de que la tarea de memorización y atención de este recorrido implican mayor carga cognitiva theta (Maurer et al., 2015). Se puede interpretar que a medida que realizamos

una misma tarea sin variantes, durante seguidas repeticiones, la implicación cognitiva de esta

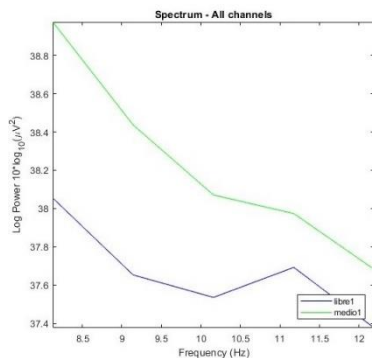
desciende progresivamente. Los valores bajos theta quizás marca un efecto del estrés sobre la memoria de trabajo (Gärtner et al., 2014).

Banda de frecuencia alpha

Se conoce que la banda alfa está estrechamente relacionada con la inhibición de la atención (Sauseng et al., 2005) ante estímulos, y se involucra en tareas de tratamiento interno de la información como la representación mental de objetos o acciones (Lustenberger et al., 2015) o la imaginación (Cooper et al., 2006).

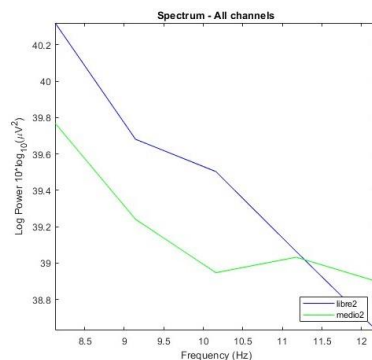
Valores de la banda de frecuencia alpha (8-12 Hz) en los diferentes recorridos:

Recorrido de nivel 1:



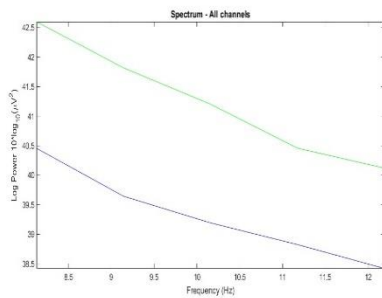
Los valores de alpha en el nivel 1 muestran una diferencia significativa ($Z=-2.80$; $p=.0052$) entre el recorrido libre ($M=38.84$; $std=0.6741$) y el recorrido medio ($M=38.53$; $std=0.5567$). En nivel de alpha es superior al realizar el recorrido medio, y se puede deducir que esto ocurre debido a la tarea de selección de presas que se realiza en este tramo. Alpha actúa como un inhibidor de los demás estímulos y muestra de atención (Sauseng et al., 2005).

Recorrido de nivel 2:



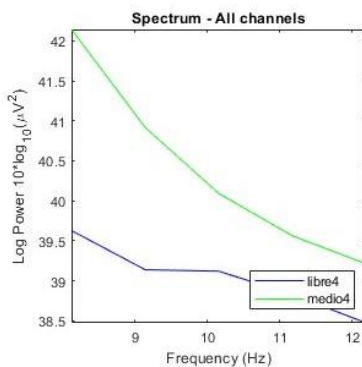
Los valores de alpha en el nivel 2 han aumentado en el tramo libre ($M=39.44$; $std=0.6394$) dejando una diferencia significativa ($Z=-2.803$; $p=.0052$) con los valores del recorrido medio ($M=39.18$; $std=0.3553$). Los valores del tramo medio se han mantenido respecto del intento anterior. Se relaciona alpha con una menor carga cognitiva por lo que podría representar una relajación del segundo intento libre frente al primero. Además, se aprecia un aumento en alpha alto (10-12Hz) en el intento prefijado (medio) superando al libre. Posiblemente se deba a su actuación como inhibidor de la atención (Sauseng et al., 2005)

Recorrido de nivel 3:



En el recorrido tres, los valores de alpha se encuentran más altos en el intento prefijado medio (M=39.5, std=0.4677) con una diferencia significativa ($Z=-2.803$; $p=.0051$) del tramo libre (M=38.28, std=0.3624). Se conoce que a mayor valor alpha menos actividad cerebral. Sin embargo, conociendo la naturaleza del tramo prefijado medio, se puede interpretar que los niveles altos de alpha indican una activación de inhibición ante la demanda de atención de la tarea.

Recorrido de nivel 4:



Los valores de alpha durante el recorrido de nivel cuatro se mantienen un poco más bajos en ambos recorridos, libre (M=38.54; std=0.2131) y medio (M=38.99; std=0.5805) pero con una diferencia significativa ($Z=-2.80$; $p=.0051$). Debido a la repetición de los tramos, la atención disminuye y con ella los valores de alpha. Sin embargo, el tramo medio continúa con una superioridad frente al libre seguramente por la tarea de recordar las presas.

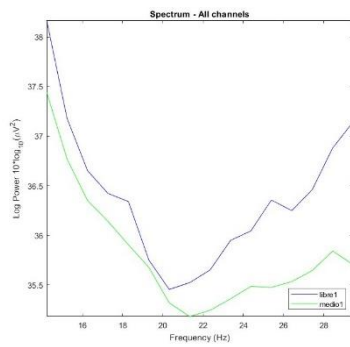
Banda de frecuencia beta:

Se implican en tareas sensoriomotoras (Nam et al., 2011). Responden ante la realización del movimiento, e incluso ante la imaginación mental del mismo (Neuper et al., 2009).

Actividad cerebral, procesamiento de información y análisis (García Monge, 2023).

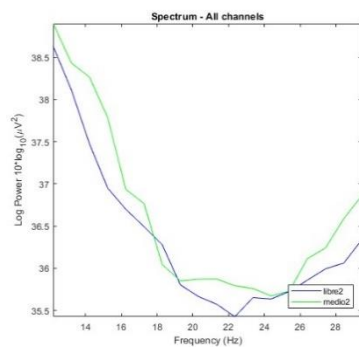
Valores de la banda de frecuencia beta (13-30 Hz) en los diferentes recorridos:

Recorrido de nivel 1:



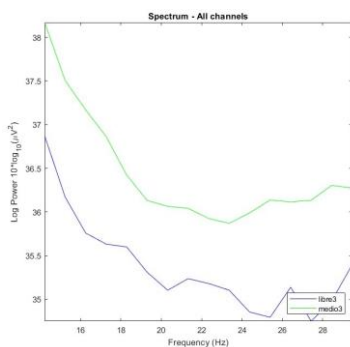
Los valores de beta durante el intento 1 de ambos recorridos, muestran una diferencia significativa ($Z=-2.80$; $p=.0051$) entre el tramo libre ($M=36.52$; $std=8747$) y el tramo medio ($M=35.95$; $std=0.7904$). Seguramente se hallan valores beta más altos en el recorrido libre debido al procesamiento de las sensaciones (Nam et al., 2011) ante un primer contacto con las presas. La tarea de procesamiento es mayor que en un recorrido medio en el que los participantes se han adaptado al rocódromo.

Recorrido de nivel 2:



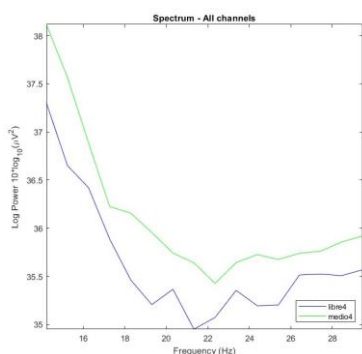
En los tramos de nivel dos, se ha recogido la banda de frecuencia beta en los valores bajos (12 -15 Hz) y altos (20-30 Hz). Observamos como en beta baja, encontramos una distanciaci3n apreciable entre libre ($M=36.35$; $std=0.9119$) y medio (36.64 ; $std=1.037$) de la potencia mientras que, en beta alta, la potencia tiende a igualarse. De esta forma beta en el recorrido medio es algo m3s potente que en el intento libre de manera significativa ($Z=-2.80$; $p=.0051$). Seguramente esto se debe a una mayor demanda de procesamiento de la informaci3n (Alfonso) en el tramo prefijado frente al tramo libre donde los participantes pueden realizar el recorrido "sin pensar". Sin embargo, la incertidumbre de los primeros contactos con el roc3dromo del nivel libre, mantiene unos niveles altos de procesamiento de informaci3n y actividad cerebral en beta.

Recorrido de nivel 3:



Los valores de potencia del nivel 3 en el tramo libre ($M=35.49$; $std=0.7256$) y en el tramo medio ($M=36.57$; $std=0.8233$) son diferentes de manera significativa ($Z=-2.80$; $p=.0051$). En este nivel 3, el recorrido medio muestra una potencia media m3s alta, pudiendo representar la implicaci3n beta en la tarea de an3lisis de los movimientos (Neuper et al., 2009) a realizar para superar el intento utilizando las presas preseleccionadas.

Recorrido de nivel 4:



En el último nivel la potencia de la banda de frecuencia beta se ha mantenido en el recorrido libre ($M=35.76$; $std=0.8054$) y ha disminuido en tramo medio ($M=36.27$; $std=0.9351$). Esto posiblemente muestra la caída de implicación cerebral a medida que se repite la misma tarea y por consiguiente la misma habilidad motriz (Janelle et al., 2000). De esta manera se podría corroborar la teoría de la variabilidad de Ruiz Pérez, (1998).

5.2 Análisis de los recorridos por áreas funcionales.

Si analizamos con más detalle los espectros en los diferentes canales tendremos lo siguiente:

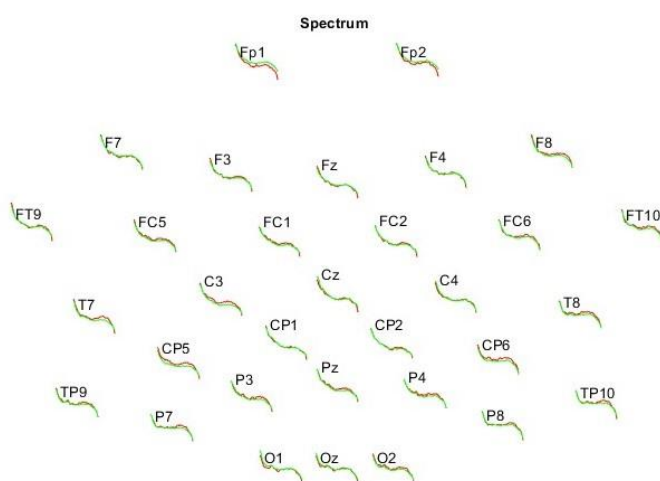


Figura 2. Espectro por canales en el promediado libre 1 (rojo) vs medio 1 (verde)

Como vemos en la figura 2, se aprecia una similitud en las dos condiciones en todos los canales, salvo en Fp1 (situado en el área de Brodmann 10, relacionada con la autorreflexión) y Cp5 (situado en el área de Brodmann 39, relacionada con el control ejecutivo y la secuencia de acciones). En el caso del canal Fp1 el espectro de potencia es más alto en la condición libre pudiendo interpretarse que los participantes activaron esta área cortical en un proceso de autorreflexión ante la incertidumbre del primer contacto con el rocódromo. En el caso del canal Cp5, el espectro tiene más potencia en la condición prefijada, donde puede que los participantes estuviesen centrados en controlar los movimientos que realizaban.

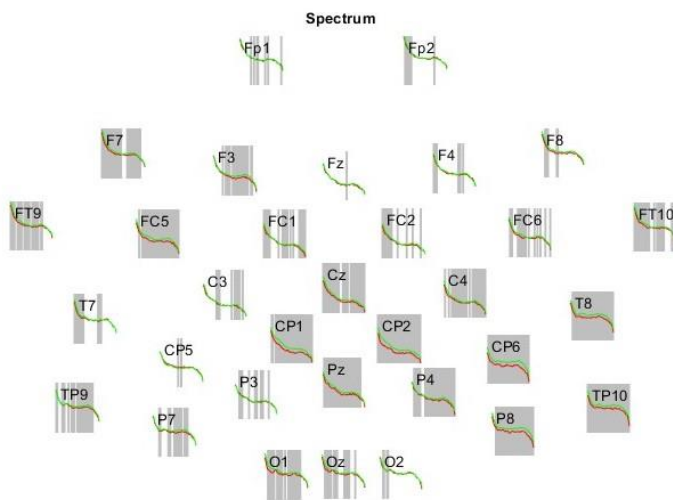


Figura 3. Espectro por canales en el promediado libre 3 (rojo) vs medio 3 (verde).

En el espectro del promediado de nivel 3, podemos observar como la condición prefijada (medio 3) alcanza valores más altos que la condición libre. Se observa diferencias significativas en los canales Cp6 (situado en el área de Brodmann 39, relacionada con el enfoque espacial) y en el canal Cp2 (situado en el área de Brodmann 7, relacionada con el espacio percibido).

Se puede interpretar que los participantes en el tramo prefijado (medio) de nivel 3 activan las áreas corticales encargadas de la percepción espacial relacionado con la tarea de reconocimiento de presas utilizadas. Se relaciona directamente el objetivo de la premisa de esta condición medio 3 (utilizar las mismas presas en los cuatro intentos) con las áreas activadas.

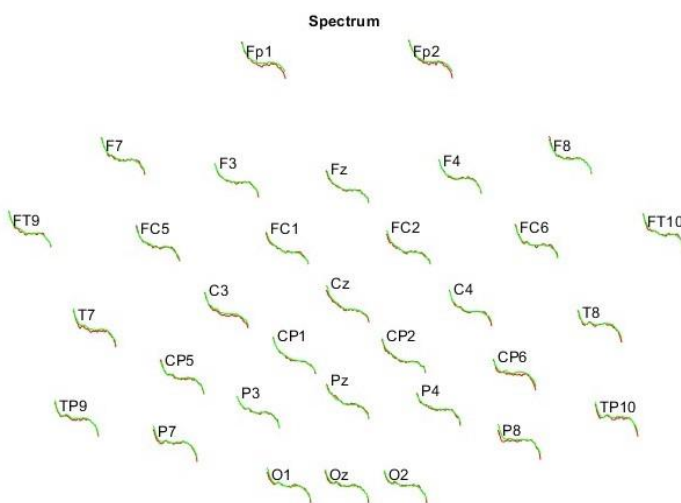


Figura 4. Espectro por canales en el promedio libre 4 vs medio 4.

Como observamos en la figura 4, hay una similitud entre ambos tramos en la mayoría de canales. Sin embargo, encontramos el canal P8 (situado en el área de Brodmann 37, relacionada con el movimiento y la categorización) y Fp1 (situado en el área de Brodmann 10, relacionada con la autorreflexión) más bajo en la condición libre en comparación con el intento prefijado. Se puede deducir que, en el recorrido libre de nivel 4 en dichas áreas, la actividad cerebral podría ser menor debido a la poca demanda cognitiva de la tarea. Si el escalador repite el mismo recorrido repetidamente, la complejidad de la actividad disminuye y con ella su carga cognitiva.

6. CONCLUSIONES

Con relación a los resultados obtenidos en los diferentes recorridos, se ha observado una tendencia similar en la actividad cerebral de los intentos libres y prefijados. Interpretamos que, al exponer al alumno ante un nuevo contexto de aprendizaje, la adaptación demandada supone una situación de alta actividad cerebral para él. A medida que la tarea se repite, la demanda cognitiva disminuye ya que el aprendiz se vuelve “especialista” y comienza a automatizar las habilidades motrices implicadas. Aunque se sostiene esta teoría durante los dos recorridos, se ha observado que los valores de la potencia espectral se mantienen altos también en los últimos intentos en el tramo prefijado. Se deduce que cinco intentos, quizás, no son suficientes para una consolidación del aprendizaje en tareas de demanda cognitiva alta.

A medida que el número de repeticiones de una tarea motriz aumenta, la actividad cognitiva de esta disminuye. Esta correspondencia, es interesante ya que, en la educación, la relación entre la dificultad de la tarea y el número de veces que se realiza, nos permite establecer una base de criterios para el diseño de sesiones. Cuanto más compleja sea la actividad, mayor número de repeticiones podremos realizar para el aprendizaje. A menor complejidad de la actividad, cuanto mayor sea el número que se repite, estaremos perdiendo efectividad y tiempo de trabajo. En este caso, se podría llevar a cabo en actividades diseñadas con objetivo de desarrollar la habilidad motriz de la trepa.

De ello se puede deducir para la práctica educativa que habría que guardar un equilibrio entre situaciones nuevas (que permitan estimular nuevos patrones) y situaciones que se repitan (para consolidar patrones). Si se tiene en cuenta para el diseño de sesiones, lograremos un desarrollo integral del alumnado que se enfrente ante nuevas situaciones de aprendizaje, ayudándolo a descubrir sus capacidades y desarrollar la plasticidad y transferencia

REFERENCIAS

- Giles, L.V., Rhodes, E.C. & Taunton, J.E. The Physiology of Rock Climbing. *Sports Med* **36**, 529–545 (2006). <https://doi.org/10.2165/00007256-200636060-00006>
- Portela, P. M., Rico, S. R., Extremera, A. B., León, M. T. M., & Marín, M. M. (2013). Análisis del perfil sociodemográfico, deportivo y psicológico en una práctica de escalada deportiva de estudiantes universitarios. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (24), 9-15. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i24.34513>
- Klimesch, W. (1999) *Brain Research Reviews*, 169–195
- Bear, M., Connors, B. & Paradiso, M. (2016). *Neurociencia, la exploración del cerebro*. Madrid: Wolters Kluwer.
- Valverde, F. (2002) Estructura de la corteza cerebral. Organización intrínseca y análisis comparativo del neocórtex. *Revista de neurología*, 34 (8): 758-780
- Knyazev, GG (2007). La motivación, la emoción y su control inhibitorio reflejados en las oscilaciones cerebrales. *Revisiones de neurociencia y biocomportamiento*, 31(3), 377-395.
- Klimesch, W., Sauseng, P. y Hanslmayr, S. (2007). Oscilaciones alfa de EEG: la hipótesis de la sincronización de la inhibición. *Revisiones de investigaciones cerebrales*, 53 (1), 63-88., OM y Vernon, D. (2014). Interpretación de la actividad alfa del EEG. *Revisiones de neurociencia y biocomportamiento*, 44, 94-110
- Tallon-Baudry, C. y Bertrand, O. (1999). Actividad gamma oscilatoria en humanos y su papel en la representación de objetos. *Tendencias en ciencias cognitivas*, 3 (4), 151-162.
- Neuper, C., Scherer, R., Wriessnegger, S., & Pfurtscheller, G. (2009). Motor imagery and action observation: modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a brain–computer interface. *Clinical neurophysiology*, 120(2), 239-247.
- Janelle, C. M., Hillman, C. H., Apparies, R. J., Murray, N. P., Meili, L., Fallon, E. A., & Hatfield, B. D. (2000). Expertise differences in cortical activation and gaze behavior during rifle shooting. *Journal of Sport and Exercise psychology*, 22(2), 167-182.
- Cavanagh, J. F., & Frank, M. J. (2014). Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends in cognitive sciences*, 18(8), 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.04.012>
- Clayton, M. S., Yeung, N., & Cohen Kadosh, R. (2015). The roles of cortical oscillations in sustained attention. *Trends in cognitive sciences*, 19(4), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.02.004>

- Maurer, U., Brem, S., Liechti, M., Maurizio, S., Michels, L., & Brandeis, D. (2015). Frontal midline theta reflects individual task performance in a working memory task. *Brain topography*, 28(1), 127–134. <https://doi.org/10.1007/s10548-014-0361-y>
- Sauseng, P., Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pecherstorfer, T., Freunberger, R., & Hanslmayr, S. (2005). EEG alpha synchronization and functional coupling during top-down processing in a working memory task. *Human brain mapping*, 26(2), 148–155. <https://doi.org/10.1002/hbm.20150>
- Lustenberger, C., Boyle, M. R., Foulser, A. A., Mellin, J. M., & Fröhlich, F. (2015). Functional role of frontal alpha oscillations in creativity. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 67, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.03.012>
- Cooper, N. R., Burgess, A. P., Croft, R. J., & Gruzelier, J. H. (2006). Investigating evoked and induced electroencephalogram activity in task-related alpha power increases during an internally directed attention task. *Neuroreport*, 17(2), 205–208. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000198433.29389.54>
- Beltrán, D., Morera, Y., García-Marco, E., de Vega, M. (2019). Brain Inhibitory Mechanisms Are Involved in the Processing of Sentential Negation, Regardless of Its Content. *Evidence From EEG Theta and Beta Rhythms. Frontiers in Psychology*, 8(10), 1782. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01782>
- Gärtner, M., Rohde-Liebenau, L., Grimm, S. & Bajbouj, M. (2014). Working memory-related frontal theta activity is decreased under acute stress. *Psychoneuroendocrinology*, 43, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.02.009>