

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y TRABAJO SOCIAL

Trabajo Final de Grado
**Análisis de la evolución del EEG en
recorridos prefijados sencillos de
escalada**



Autor: Iván Pintado Gil

Correo electrónico: ivanpintadogil@gmail.com

4º Curso del Grado de Educación Primaria

Tutor: Alfonso García Monge

IVÁN PINTADO GIL

TUTOR: ALFONSO GARCÍA MONGE

Trabajo Fin de Grado, Educación Física

Curso: 2022-2023

RESUMEN

La escalada es una parte esencial de la Educación Física debido a los requisitos físico-motrices, perceptivo-motrices y coordinativos que implica. Se han realizado numerosos estudios sobre cómo incluir la escalada en las clases de Educación Física y sobre las habilidades cognitivas involucradas en este proceso. Sin embargo, hasta ahora no se han investigado los patrones que nos hablen sobre la actividad cerebral que se está dando en esta tarea.

El objetivo de este estudio es comprender mejor la actividad cerebral durante la escalada, específicamente analizar los datos obtenidos al realizar recorridos horizontales predefinidos en un rocódromo. Para ello, se utilizó la técnica de electroencefalografía para medir la actividad cerebral de un grupo de 6 participantes. Los participantes realizaron una serie de recorridos libres y luego realizaron dos series de recorridos prefijados.

Entre los resultados podemos ver que, al realizar el promediado de todos los participantes, en los primeros recorridos prefijados se requiere menos actividad cerebral y la potencia va en aumento, creando las diferencias más significativas entre el primer recorrido de la primera condición y los demás. También, al comentar los diferentes espectros de frecuencia del poder Theta, Alfa y Beta (bajo y alto), podemos analizar algunas experiencias grupales en los diferentes intentos de los recorridos prefijados y observamos relación entre los significados que tienen cada banda de frecuencia con los gráficos que se obtienen, como veremos más adelante.

Palabras clave: *Escalada, EEG, actividad cerebral, promediado, bandas de frecuencia*

ABSTRACT

Climbing is an essential part of Physical Education due to the physical-motor, perceptive-motor and coordination requirements that it implies. Numerous studies have been carried out on how to include climbing in Physical Education classes and on the cognitive skills involved in this process. However, until now the patterns that tell us about the brain activity that is taking place in this task have not been investigated.

The objective of this study is to better understand brain activity during climbing, specifically to analyze the data obtained when performing predefined horizontal routes in a climbing wall. For this, the electroencephalography technique was used to measure the brain activity of a group of 6 participants. Participants performed a series of free runs and then performed two sets of pre-set runs.

Among the results we can see that, when averaging all the participants, in the first preset runs less brain activity is required and the power increases, creating the most significant differences between the first run of the first condition and the others. Also, by commenting on the different frequency spectrums of Theta, Alpha and Beta (low and high) power, we can analyze some group experiences in the different attempts of the preset tours and observe a relationship between the meanings that each frequency band has with the graphs that are obtained, as we will see later.

Key words: Climbing, EEG, brain activity, averaged, frequency bands

ÍNDICE

Contenido

1. OBJETIVO	5
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
3.1. La escalada. Demandas perceptivo motrices y coordinativas	5
3.1.1. <i>Escalada en Educación Primaria</i>	6
3.2. Electroencefalografía (EEG)	7
3.2.1. <i>Limitaciones del EEG</i>	7
3.3. Ondas cerebrales y significados	8
3.4. Áreas cerebrales y funciones	10
3.5. Actividad cerebral en la escalada	10
4. METODOLOGÍA	11
PARTICIPANTES	11
CONTEXTO	11
PROCEDIMIENTO	11
PRE-PROCESADO DE LA SEÑAL	13
ANÁLISIS	13
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	13
5.1. THETA (entre 4 y 7 Hz)	17
5.2. ALFA (entre 7 y 12 Hz)	18
5.3. BETA	20
5.3.1. <i>Beta bajo (entre 13 y 20 Hz)</i>	20
5.3.2. <i>Beta alto (entre 20 y 30 Hz)</i>	22
6. CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS	24

1. OBJETIVO

El objetivo de este TFG será conocer y analizar la actividad cerebral de distintas personas que no tenían relación previa con la escalada, realizando recorridos sencillos prefijados en un rocódromo, para comprender los diferentes procesos mentales y fisiológicos que viven en este tipo de situaciones. Para ello se han tomado muestras a todos los participantes, ya que la escalada resulta una actividad en la que todas las personas progresan y siguen procesos cognitivos similares o hay matices individuales.

2. JUSTIFICACIÓN

La escalada es una actividad motriz muy completa y potente para la Educación Física que demanda diferentes capacidades perceptivo-motrices, coordinativas y físico-motrices. Hay muchos estudios, como veremos más adelante, que nos hablan sobre cómo hacer progresiones en la escalada, pero encontramos pocos estudios que nos muestren y nos hablen de los procesos corticales implicados en esa actividad. Con este trabajo intentamos aportar luz a lo que pasa dentro de la "caja negra", que supone nuestra actividad cerebral.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. La escalada. Demandas perceptivo motrices y coordinativas

La escalada es un deporte que se realiza en el medio natural con el objetivo de ascender paredes de roca, ayudándonos de materiales de aseguramiento en la modalidad tradicional. Hay muchas modalidades, cambiando el terreno, las técnicas que se utilizan y el material necesario para realizar una práctica segura. Se trata de un deporte que busca lograr una serie de movimientos dificultosos, por lo que es fundamental la preparación previa de la persona que lo va a realizar para conseguir el objetivo sin poner en riesgo la integridad física (Phillips et al., 2012, en Gil Gangoso, 2020).

Este deporte tiene demandas psicomotoras (Mermier et al., 2000, en Bailey et al., 2019) y a su vez psicológicas (Sánchez et al., 2010, en Bailey et al., 2019) en la que se deben optimizar la fuerza, la potencia, la resistencia, la flexibilidad, el equilibrio y el control neuromuscular para conseguir el máximo rendimiento (Phillips et al., 2012, en Bailey et al., 2019).

Según Tomaszewski et al. (2011, en Bailey et al., 2019) también influyen aspectos cognitivos en un escalador a la hora de desarrollar diferentes capacidades, por ejemplo, cuando se analiza una superficie y, en función de ella, crear una estrategia que provoque una optimización en el esfuerzo.

Se suele hacer referencia a la escalada como un deporte "mental". Los escaladores, a la hora de ejecutar los movimientos requeridos por este deporte, necesitan un control físico y mental. (Purves, 2012, en Bailey et al., 2019).

La escalada puede ser una actividad muy estimulante, ya que facilita la evasión y provoca un sentimiento de "unidad" entre el participante y la actividad. Además, el escalador debe ser imaginativo y resolutivo para poder afrontar los problemas que la escalada suponga con el fin de lograr los movimientos adecuados para tener éxito en la actividad (Seifert et al., 2017, en Bailey et al., 2019).

3.1.1. Escalada en Educación Primaria

Dentro del campo de la Educación Física, trepar se refiere a la capacidad básica de moverse en superficies verticales utilizando las manos y los pies. Por otro lado, escalar implica realizar esta actividad en entornos naturales y, debido a los posibles peligros involucrados, requiere el uso de técnicas específicas para garantizar la seguridad (Aguado, 2001, en Beas & Blanes, 2010).

Según Briongos (2006, en Beas & Blanes, 2010), el rocódromo es una construcción artificial diseñada para simular condiciones reales y permitir la práctica segura de la escalada. En él, se incluyen elementos como presas, agarres, anclajes, etc., que nos permiten realizar el ascenso, tanto en sentido horizontal como en vertical.

Siguiendo a Beas y Blanes (2010) la práctica de la escalada en Educación Primaria brinda una variedad de beneficios que incluyen: mejorar la autoestima, aumentar la confianza en uno mismo, desarrollar la capacidad de autocontrol, superar miedos y fobias y fomentar la responsabilidad.

Además, los mismos autores, señalan que hay un hecho significativo de poner la seguridad íntegra en manos de otra persona, aportando nuevas posibilidades pedagógicas que ayudarán a que todos los compañeros de Educación Primaria contribuyan a conocerse mejor y a facilitar las relaciones sociales.

3.2. Electroencefalografía (EEG)

La electroencefalografía (EEG) es un método utilizado para detectar y registrar la actividad eléctrica del cerebro. Esta actividad se manifiesta a través de ondas cerebrales, las cuales pueden ser captadas mediante electrodos colocados en la superficie del cuero cabelludo (Iriarte & Artieda, 2012). Estos electrodos están conectados a un dispositivo que recoge la señal, midiendo la actividad cortical.

La actividad EEG se evalúa mediante la detección de variaciones en los niveles de voltaje registrados en distintas ubicaciones del cuero cabelludo. Estas variaciones son el resultado de la suma de los cambios eléctricos generados por grupos de neuronas en la corteza cerebral, en proximidad a cada electrodo de registro.

Existen distintos tipos de sensores utilizados para detectar cambios de polaridad, pero no todos tienen la misma precisión. Encontramos electrodos húmedos que requieren de alguna sustancia electrolítica, como gel o solución salina, para facilitar la conductividad. Los electrodos secos son aquellos cuyos sensores captan la señal sin necesidad de preparación adicional. También existen los electrodos semisecos, que son una variante de los electrodos secos pero que se benefician de una pequeña cantidad de solución para mejorar la recepción de la señal. Los electrodos húmedos tienen una calidad óptima de señal; por su parte, los electrodos secos tienen la ventaja de acelerar el proceso de colocación del dispositivo, pero su señal puede ser más susceptible a la interferencia de artefactos (García Monge et al., 2023).

El propósito del análisis de frecuencia es descomponer las bandas de frecuencia básicas que componen las señales de EEG registradas, y establecer su relación con la activación y vigilancia general del cerebro (Babiloni et al., 2016).

Según estos mismos autores, las neuronas distribuidas por la corteza cerebral se consideran la fuente principal de los ritmos EEG del cuero cabelludo, tanto en reposo como en condiciones de tarea.

3.2.1. Limitaciones del EEG

No se refiere a señales específicas que puedan identificar los procesos cerebrales que están ocurriendo. Cada neuromarcador se extrae de diferente población, un registro particular, o procesados de características específicas. Al cambiar cualquier aspecto (como el equipo utilizado para recopilar los EEG, el tipo de experimento o contexto, las

edades de los participantes, el tipo de procesamiento previo realizado, etc.) los significados de esas señales pueden cambiar (García Monge et al., 2023).

Para distinguir entre las señales cercanas y las señales provenientes de áreas más distantes, es necesario realizar un proceso de análisis de componentes independientes. Los sensores capturan esas señales cercanas, pero también pueden verse afectados por señales generadas en otras regiones (Albera et al., 2012).

3.3. Ondas cerebrales y significados

La actividad cerebral se manifiesta a través de ondas cerebrales de diferentes frecuencias medidas en Hercios (Hz). Desde los estudios de Hans Berger sobre los procedimientos de EEG a principios del siglo XX, se han ido identificando diferentes bandas de frecuencia (Babiloni et al., 2020). Se pueden diferenciar cinco tipos de ondas según su frecuencia: Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma, las cuales se han ido asociando a diferentes funciones cerebrales (Basar et al., 1999).

Las ondas Delta representan la actividad cerebral más lenta, cuya frecuencia es menor a los 4 Hz, siendo más características de seres humanos de menor edad como bebés o niños. Esta frecuencia se observa fundamentalmente en el sueño profundo y predomina en regiones fronto-centrales de la cabeza (Nayal & Anilkumar, 2022). Estas ondas se aprecian de manera prominente cuando existen lesiones cerebrales como encefalopatía generalizada o disfunción cerebral local, problemas de aprendizaje y TDAH severo y su supresión con la falta de sueño o la revitalización del cerebro. En condiciones óptimas ayuda a sentirse rejuvenecido y a conciliar un sueño reparador y profundo (Priyanka et al., 2016; Nayal & Anilkumar, 2022). También, su mayor actividad está relacionada con procesos motivacionales y en concreto, con la satisfacción de las necesidades biológicas básicas (Suurmets, 2018).

Las ondas Theta son de baja frecuencia de 4 a 7 Hz (Suurmets, 2018). Este bajo rango de frecuencia está involucrado en actividades como soñar despierto o dormir. Predomina en las regiones fronto-centrales de la cabeza (Nayal & Anilkumar, 2022). En condiciones óptimas, estas ondas ayudan a la creatividad, la relajación o la conexión emocional. Cuando las ondas Theta son prominentes domina la tendencia a sufrir TDAH, depresión, hiperactividad y falta de atención; mientras que su supresión genera ansiedad y estrés (Priyanka et al., 2016).

Las ondas Alfa tienen un rango de frecuencia entre 7 y 12 Hz. Se encuentran de manera prominente en la actividad de soñar despierto, falta de concentración y relajación, mientras que si se suprimen pueden causar ansiedad, estrés e insomnio; el estado de relajación se produce en condiciones óptimas (Priyanka et al., 2016). Con el crecimiento y la maduración de los seres humanos de edades tempranas disminuye el poder de las ondas lentas como las Delta, y el poder de Alfa aumenta (Suurmets, 2018). Las ondas Alfa son dominantes en adultos humanos, mientras que las ondas Theta y Delta en mamíferos no humanos o reptiles, explicando así el comportamiento más racional y emocional de los mamíferos (Suurmets, 2018). En la actualidad, numerosas investigaciones respaldan la idea que el ritmo Alfa juega un papel activo en el procesamiento cognitivo (Cooper et al., 2003; Klimesch et al., 2007, en Park et al., 2015). Como resultado, la actividad Alfa se puede detectar en diversas áreas del cuero cabelludo como respuesta a una amplia gama de demandas cognitivas. Desde esta perspectiva, la actividad Alfa refleja cambios en el procesamiento que son observables en varias funciones distintas. Este punto de vista está respaldado por hallazgos que indican que las diferentes sub-bandas de la frecuencia Alfa están asociadas con múltiples operaciones, muchas de las cuáles son altamente relevantes en el ámbito deportivo, como la activación general y los procesos de atención (Klimesch, 1999), elaboración de información sensorio motora o semántica (Klimesch et al., 1996, en Park, 2015).

Las ondas Beta son ondas de alta frecuencia, ocupando un amplio rango desde 12 a 30 Hz aproximadamente (Babiloni et al., 2020). Se observa con mayor frecuencia en niños y adultos normales (Nayal & Anilkumar, 2022). Algunos autores, como Priyanka et al. (2016), la subdividen en tres bandas: ondas Beta bajas o "Beta uno" (12-15 Hz), ondas Beta de rango medio o "Beta dos" (15-20 Hz) y ondas Beta altas o "Beta tres" (18-40 Hz). Estas ondas aparecen en estado de vigilia, y están involucradas en condiciones óptimas en el pensamiento lógico y consciente, en la concentración, memoria y en la resolución de problemas; mientras que por encima de su rango óptimo pueden provocar ansiedad, estrés y excitación. Su supresión puede provocar Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad, mal funcionamiento cognitivo y depresión (Priyanka et al., 2016). Las ondas Beta también se estudian en relación con el comportamiento motor, disminuyendo la potencia de la banda con la ejecución de movimientos voluntarios o su imaginación (Suurmets, 2018).

Las ondas Gamma representan la actividad cerebral más rápida. Su frecuencia es de más de 30 Hz (Babiloni et al., 2020) y está asociada al funcionamiento cognitivo y procesamiento de la información, la memoria, la comprensión y el aprendizaje. En condiciones óptimas representan una actividad cerebral relacionada con la atención, el enfoque y la percepción o la unión de los sentidos, mientras que puede producir estrés o ansiedad en su prominencia o Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) con su supresión (Priyanka et al., 2016).

3.4. Áreas cerebrales y funciones

En 1909 el científico alemán Dr. K. Brodmann publica su *Vergleichende Lokalisationslehre der grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues* (Teoría de la localización comparativa de la corteza cerebral) (Brodmann, 1909). En dicha obra Brodmann se propone tres objetivos: 1) la localización histológica de la corteza cerebral desde el punto de vista anatómico, 2) la división de la corteza cerebral en función de sus características anatómicas y 3) formular una teoría orgánica de la superficie cortical del cerebro basada en las características anatómicas.

Cada una de estas áreas está asociada a diferentes funciones cognitivas y sensoriales concretas. Por ejemplo, las áreas 17, 18 y 19, situadas en el lóbulo occipital, se encargan del procesamiento de la información visual. Las áreas 1, 2, 3 y 43, que corresponden a la corteza somatosensorial primaria se encargan de identificar las sensaciones corporales (procesamiento somestésico) (Portellano, 2005).

En la actualidad se han generado críticas hacia estas áreas funcionales debido a visiones del cerebro más conexionistas. Dado el enfoque de este estudio, nos apoyaremos en esas visiones para comprender los procesos que ocurren en la corteza cerebral, aunque también somos conscientes de las limitaciones que implica adoptar un enfoque localizacionista.

3.5. Actividad cerebral en la escalada

En los últimos años se ha observado que las actividades físicas se ven alteradas por la cognición y que, recíprocamente, la cognición se ve alterada por la actividad física. Un estudio reciente de 2021: *The impact of cognitive load on climbing and climbing on cognitive performance* (Blakely et al., 2021) examina cómo el desempeño de dos tareas simultáneas (una física y otra cognitiva) hace disminuir el rendimiento de ambas. En el citado estudio varios escaladores expertos realizaron una escalada solos y otra

realizando tareas de conteo. Se observó que dichas tareas de conteo fueron deficientes y que el rendimiento en la escalada disminuyó cuando realizaban tareas cognitivas.

Aunque el anterior estudio solo se realizó tomando como muestra de actividad física la escalada, otros estudios como *The impact of cognitive load on volitional running, kayaking, rock climbing and arithmetic tasks and the effect of fatigue on risk perception*, realizaron pruebas parecidas en diferentes deportes (además de escalada se probó con el kayak y el *running*) (Blakely, 2017). Las conclusiones a las que se llegaron fueron que, efectivamente, la realización simultánea de tareas cognitivas y físicas disminuye el rendimiento de ambas. Pero, además, se concluyó que la escalada, de por sí, es una actividad física que involucra aspectos cognitivos por la necesidad de planificación, el movimiento, el alcance, el control de la postura, el miedo a caer, etc.

Por esto, entender qué aspectos cognitivos se involucran en la escalada, así como cuales son las diferentes funciones que están presentes cuando alguien escala, es de sumo interés en nuestros días.

4. METODOLOGÍA

PARTICIPANTES

En el estudio participará un grupo de 6 personas, todas ellas estudiantes de 4º curso del Grado de Educación Primaria. De los seis participantes 3 son hombres y 3 son mujeres, de entre 22 y 30 años.

Todos los participantes han tenido un contacto previo con la escalada en una asignatura de la carrera en ese mismo rocódromo, que se corresponde con un nivel bajo o de iniciación.

CONTEXTO

Se utilizó una vía transversal de 5 metros de longitud y 3 metros de altura, de un rocódromo en un polideportivo. Las presas eran de todos los tamaños, pero tenían todas un buen agarre. La distancia máxima de presas era de unos 30 centímetros.

PROCEDIMIENTO

Los datos fueron tomados en parejas que participaban simultáneamente. Dos personas se encargaban de filmar el proceso y tomar las vivencias de los participantes al finalizar

cada recorrido, mientras que otras dos personas registraban los datos en dos ordenadores portátiles.

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 online (Emotiv Pro) desde la que, posteriormente, se pueden descargar los datos en formatos CSV o EDF. En el trabajo de Williams et al. (2020) se recoge su validación.

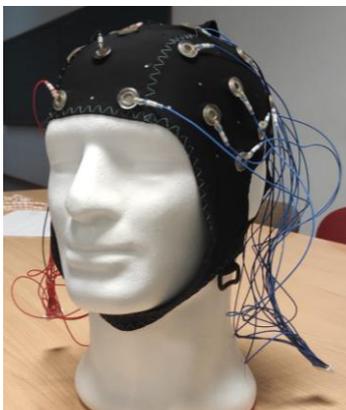


Ilustración 1 Dispositivo Eloc Flex (Emotiv, San Francisco) utilizado para recoger la señal EEG

La situación experimental tomaba un registro de base en una sala insonorizada. Tras colocar los gorros de EEG, se realizaba un registro de base de 2 min con los ojos cerrados y 2 min con los ojos abiertos mirando a un punto fijo. Después se traslada al participante al gimnasio.

Se explicó a los participantes las tareas a realizar. Debían pasar cinco veces por un recorrido que tenían que memorizar para las posteriores travesías, en el que podían agarrar todo tipo de presas. Denominamos estos recorridos como "bajo" y a cada uno de los intentos le asignaremos un número del uno al cinco, por ejemplo, "bajo4" será el cuarto intento en este nivel prefijado. Antes de comenzar los recorridos se hace un chequeo en el que los participantes estudian donde van a realizar los agarres; después se procede a realizar los cuatro primeros intentos de forma continuada; tras el cuarto intento se realiza una visualización con los ojos abiertos mirando al rocódromo y una

visualización imaginaria con los ojos cerrados, para acabar realizando el quinto y último recorrido.

Los recorridos eran filmados y tras cada uno de ellos, los participantes comentaban a la cámara sus sensaciones y vivencias durante cada intento.

PRE-PROCESADO DE LA SEÑAL

Para el pre-procesado de la señal se ha utilizado la caja de herramientas para MATLAB R2022b, EEGLAB (Delorme & Makeig).

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/sujetos y diferentes canales. Esta aplicación nos permite obtener diferentes parámetros espectrales, como la media la moda la mediana la desviación estándar y el rango. También nos permite hacer pruebas de balance de varianza a través de estadísticos no paramétricos basados en permutaciones.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados de los diferentes recorridos. Se ha realizado un promediado de los espectros de frecuencia de los diferentes participantes en cada uno de los recorridos prefijados bajos en los que los participantes tenían que recordar cada recorrido. Se denominan bajo1, bajo2, bajo3, bajo4 y bajo5.

En ésta primera gráfica se observa el promediado en todos los recorridos "bajos" de todos los participantes.

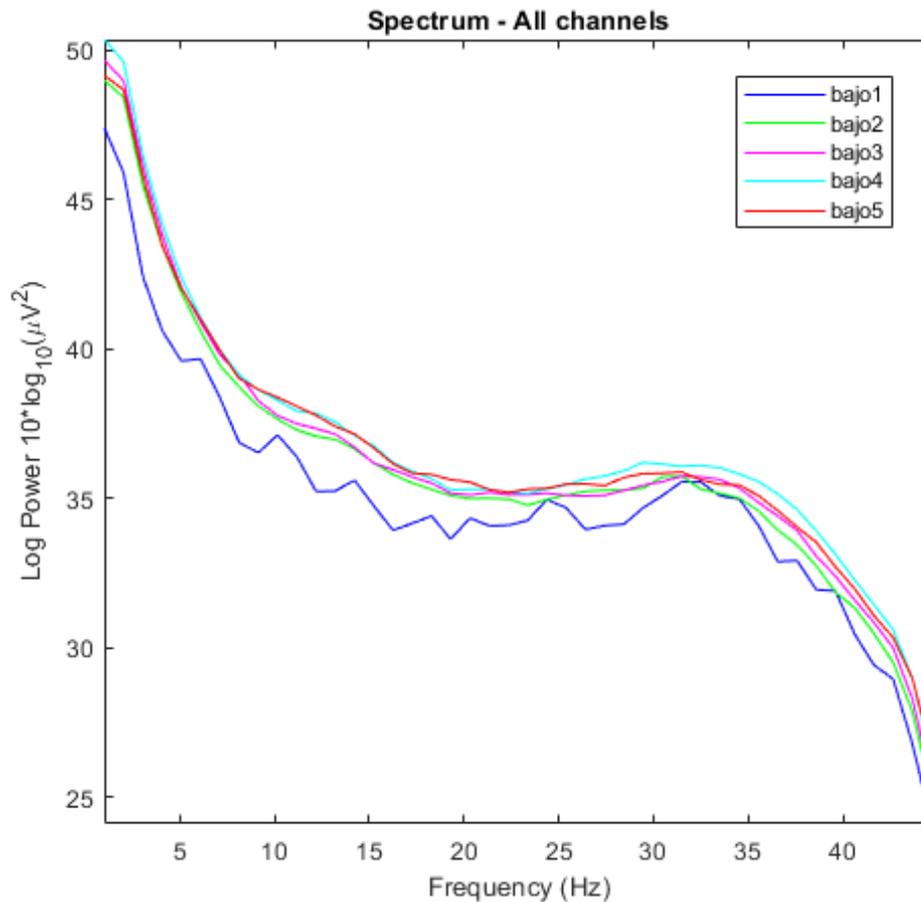


Ilustración 2 Gráfica de promediados de todos los participantes en los recorridos prefijados "bajo"

Los valores más bajos los encontramos en la condición "bajo1" (M=35.01; std=4.145) y van aumentando en los recorridos posteriores, aunque todos muy parejos. La condición "bajo2" (M=36.07; std= 4.537) y "bajo3" (M=36.32; std=4.581) aparecen con valores similares. La condición "bajo4" muestra los valores más altos (M=36.76; std=4.535), incluso por encima de la condición "bajo5" (M=36.54; std=4.369); ello se puede deber a que, entre el cuarto intento y el quinto, hay un tiempo de visualización que puede ayudar al recuerdo del recorrido y, por lo tanto a una mayor automatización de movimientos; así los valores de la condición "bajo5" (M=36.54; std=4.369) están por debajo de la condición "bajo4" (M=36.76; std=4.535).

Podemos apreciar diferencias significativas ($Z=-2.8031$; $p=.00512$) entre el primer intento de la condición "bajo" (M=35.01; std=4.145) y el cuarto intento de la condición "bajo" (M=36.76; std=4.535).

Tabla 1 Datos estadísticos del promediado en los recorridos prefijados "bajo"; media y std (desviación típica). X corresponde con la frecuencia media, e Y con la potencia espectral

	Bajo1		Bajo2		Bajo3		Bajo4		Bajo5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Media	22.86	35.01	22.86	36.07	22.86	36.32	22.86	36.76	22.86	36.54
Std (Desviación Típica)	13.05	4.145	13.05	4.537	13.05	4.581	13.05	4.535	13.05	4.369

En general, podríamos afirmar que en la condición "bajo", el primer recorrido que se realiza tiene diferencias significativas con los recorridos posteriores.

Si buscamos las diferencias por canales individuales del cuero cabelludo, en la imagen, observamos que FP1, FP2, F7, FC6, CP1, P3 y O1, muestran alguna diferencia.

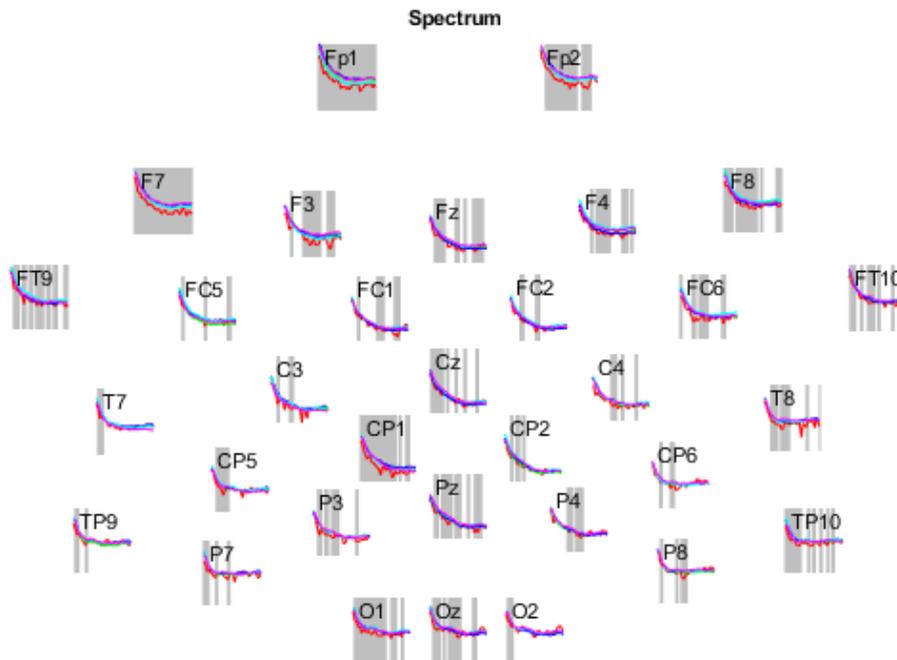


Ilustración 3 Gráficas por canales individuales del cuero cabelludo

Siguiendo el trabajo de Scrivener y Reader (2022) vemos que estos canales coinciden con diferentes áreas de Brodmann cuya funcionalidad pasamos a describir.

FP1 y FP2 se sitúan en el área de Brodmann 10, asociado a funciones de memoria de trabajo, memoria espacial, reconocimiento, recuerdo y atención conjunta. Con lo cual podríamos interpretar que, a partir del segundo intento, hay una carga de memoria espacial y de recuerdo. En el segundo y tercer intento el participante necesita recordar

más la travesía, debido a las pocas repeticiones del mismo, que en los últimos intentos en los que se va mecanizando.

F7 está situado en el área de Brodmann 45, asociado a funciones de memoria de trabajo y respuestas de inhibición. Se podría interpretar que en el primer intento hay menos demanda cognitiva porque se hace de manera más relajada que en los demás, en los que aumenta esa demanda, debido a que se memoriza el resultado para realizar la travesía de la misma manera.

FC6 está situado en el área de Brodmann 6, asociado a funciones de memoria de trabajo, inicio de movimientos y guía ocular. Podríamos decir que a medida que realizamos intentos de la condición "bajo" incrementa la guía ocular, es decir, guiamos nuestros movimientos de las manos con los ojos antes de cambiar a la siguiente presa y así iniciamos el movimiento.

CP1 está situado en el área de Brodmann 7, asociado a funciones de auto-reflexión, recuerdo de episodios y procesamiento de imágenes. En el tercer intento de la condición "bajo", se puede decir que los participantes tratan de recordar los episodios anteriores y crear una imagen fotográfica para realizar el mismo recorrido que en los dos intentos anteriores. Esto puede suponer más carga de trabajo llegando a tardar más en hacer la travesía debido a que se piensa más intentando recordarlo.

P3 está situado en el área de Brodmann 39, asociado a funciones de atención espacial y control de secuencias de acción. En este caso podríamos decir que hay un aumento progresivo en la atención espacial ya que, cada vez que el participante realiza una travesía de la condición "bajo", se atiende a las diferentes presas que hay que agarrar para seguir correctamente el patrón inicial. Focalizamos los esfuerzos en controlar las secuencias de movimientos en todos los intentos del nivel bajo. En general, podríamos afirmar que la gráfica que tenemos en el canal P3 coincide y tiene sentido ya que, a la hora de escalar, se presta mucha atención a la pared y las presas donde se realiza la travesía; por ello, en todos los intentos del "bajo" salen todos los valores de la gráfica muy parejos y queda por debajo el primer intento del nivel bajo porque no hay tanta carga cognitiva.

O1 está situado en el área de Brodmann 18, asociado a funciones de recibir patrones visuales ordenados, organizar el llenado visual, imágenes mentales visuales y

procesamiento viso-emocional. Esto podría significar que a medida que se van realizando recorridos de la condición "bajo", aumenta la visión fotográfica en la cabeza de la persona ya que vamos adquiriendo imágenes y un llenado visual por la repetición de las travesías.

Pasamos a describir las gráficas de las bandas de frecuencia Theta, Alpha y Beta.

5.1. THETA (entre 4 y 7 Hz)

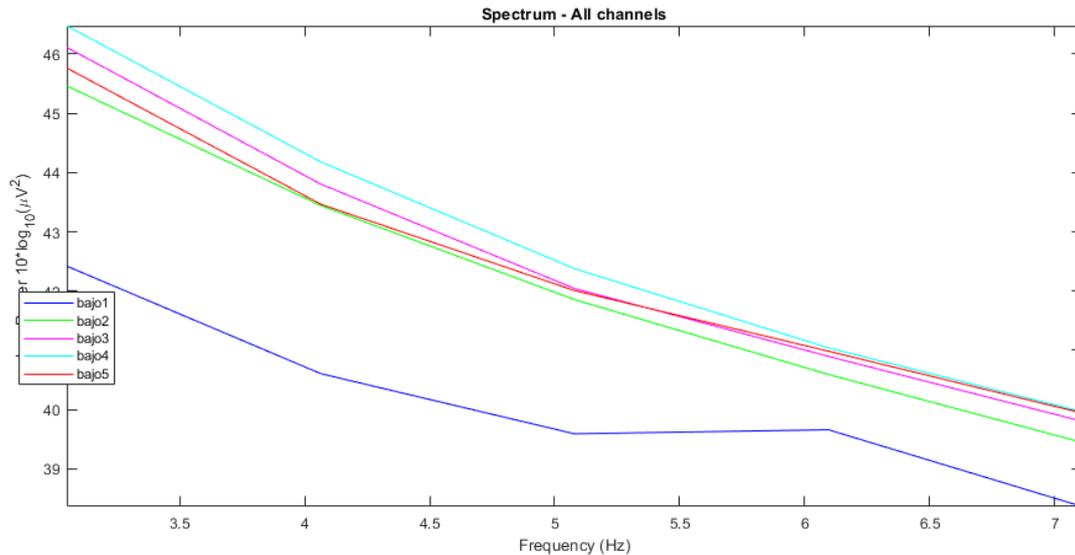


Ilustración 4 Gráfica del espectro del poder Theta a lo largo del nivel "bajo"

Éste gráfico nos muestra Theta a lo largo del nivel bajo.

En el espectro del poder Theta muestra alguna diferencia. La condición bajo1 es menor ($M=40.13$; $std=1.509$) que en los demás valores. La media y la desviación típica de las demás condiciones son parecidas en este orden de menor a mayor: bajo2 ($M=42.16$; $std=2.371$), bajo5 ($M=42.43$; $std=2.272$), bajo3 ($M=42.53$; $std=2.49$), bajo4 ($M=42.81$; $std=2.586$). Podemos observar que el bajo4 es el que tiene los valores más altos. La condición "bajo1" en el espectro del poder theta, está por debajo de todos los niveles. Podemos apreciar diferencias significativas ($Z=-2.93$; $p=.0033$) entre el primer intento del nivel bajo ($M=40.13$; $std=1.509$) y el segundo intento del nivel bajo ($M=42.16$; $std=2.371$).

Tabla 2 Datos estadísticos del espectro del poder Theta en los recorridos prefijados "bajo"; media y std (desviación típica). X corresponde con la frecuencia media, e Y con la potencia espectral

	Bajo1		Bajo2		Bajo3		Bajo4		Bajo5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Media	5.089	40.13	5.079	42.16	5.079	42.53	5.079	42.81	5.079	42.53
Std (Desviación Típica)	1.606	1.509	1.606	2.371	1.606	2.49	1.606	2.586	1.606	2.272

El rango Theta se ha descrito como un ritmo estrechamente relacionado con los procesos de la memoria de trabajo y carga cognitiva. Se observa principalmente en niños. Disminuye progresivamente con la edad y se potencia al realizar tareas de atención y memoria de trabajo (Carretié, 2001, en Henz y Schöllhom, 2016).

Además, a medida que aparece la fatiga cognitiva va aumentando Theta. Por lo tanto, la gráfica nos estaría diciendo que en el primer intento la memoria de trabajo y la fatiga cognitiva es muy baja y aumenta progresivamente en los siguientes. En el primer intento empezamos sin ningún tipo de carga excesiva, pero a medida que hacemos las siguientes travesías hay que ir memorizándolas, por lo que aumenta desde el segundo intento hasta el cuarto, que tiene los valores más altos.

Se aprecia una disminución de los valores de Theta. Ello puede ser debido a tres factores: uno, entre el intento cuatro y el intento cinco hay un tiempo de visualización que puede ayudar a mejorar el recuerdo y provocar una disminución, por tanto de la carga en Theta y puede provocar un efecto de descanso, que sería el segundo factor; el tercer factor que puede estar interviniendo es que tras cuatro intentos y una visualización puede haberse dado una automatización (un aprendizaje del recorrido) que podría disminuir las demandas de memoria de trabajo.

5.2. ALFA (entre 7 y 12 Hz)

Éste gráfico nos muestra Alfa a lo largo del nivel bajo.

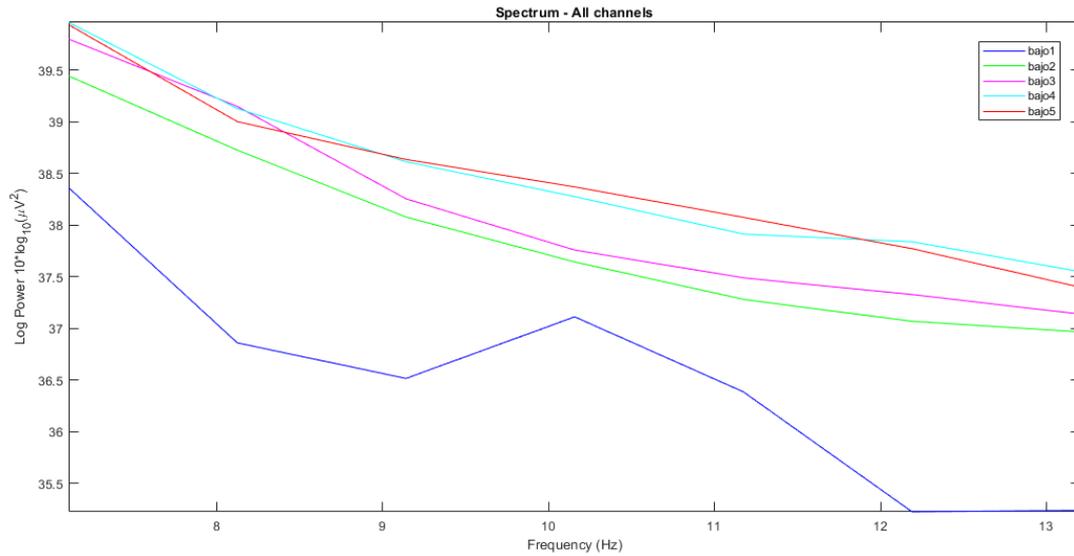


Ilustración 5 Gráfica del espectro del poder Alfa a lo largo del nivel "bajo"

En el espectro del poder Alfa muestra diferencias. La condición bajo1 es menor ($M=36.53$; $std=1.095$) que en los demás valores, seguido por la condición bajo2 ($M=37.89$; $std=0.922$), bajo3 ($M=37.76$; $std=1.001$) y bajo5 ($M=38.46$; $std=0.8435$). Vemos que los valores de la condición bajo4 son los más altos ($M=38.47$; $std=0.8438$). Los niveles que están más agrupados en el espectro del poder Alfa son el bajo2 y bajo3, cercanos al bajo4 y bajo5, para dejar bastante por debajo al bajo1. Apreciamos diferencias significativas ($Z=-2.8031$; $p=.00512$) entre el primer intento de la condición "bajo" ($M=36.53$; $std=1.095$) y el segundo intento de la condición "bajo" ($M=37.89$; $std=0.922$).

Tabla 3 Datos estadísticos del espectro del poder Alfa en los recorridos prefijados "bajo"; media y std (desviación típica). X corresponde con la frecuencia media, e Y con la potencia espectral

	Bajo1		Bajo2		Bajo3		Bajo4		Bajo5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Media	10.16	36.53	10.16	37.89	10.16	37.76	10.16	38.47	10.16	38.46
Std (Desviación Típica)	2.195	1.095	2.195	0.922	2.195	1.001	2.195	0.8438	2.195	0.8435

Las ondas Alfa están asociadas a situaciones de escasa actividad cerebral, sujetos despiertos con ojos cerrados, no se caracterizan por focalizar la atención y en situaciones disipadas de conciencia (Torres et al., 2014)

Otros autores las vinculan con la atención flotante, disminución de la conciencia del mundo exterior y conducta automática (García et. al, 2013).

Éstos estudios vinculan las ondas Alfa con la poca actividad cerebral. Por lo tanto, cuanto mayor Alfa menos actividad cognitiva en la tarea que se realiza.

Por lo tanto, recordando que las ondas Alfa están asociadas a situaciones de escasa actividad cerebral, inhibición de respuestas y desconexión neuronal pasamos a describir.

En el primer intento, el poder Alfa es menor a los demás ($M=36.53;std=1.095$) por lo que la gráfica podría significar que supone menos inhibición en la tarea que se realiza, es decir, más actividad cortical. En los siguientes intentos se automatiza la ejecución de la tarea por lo que Alfa aumenta y podría estar dándose esa inhibición, relajación y desconexión neuronal debido a la repetición de la tarea.

Aunque parezca contradictorio Alfa respecto a Theta, hay que tener en cuenta que estamos haciendo un estudio promediado de todo el cuero cabelludo. Puede haber zonas que se están inhibiendo, por lo tanto sube Alfa, y otras que se están activando (Theta y Beta).

5.3. BETA

5.3.1. Beta bajo (entre 13 y 20 Hz)

Este es el gráfico de Beta bajo (entre 13 y 20 Hz).

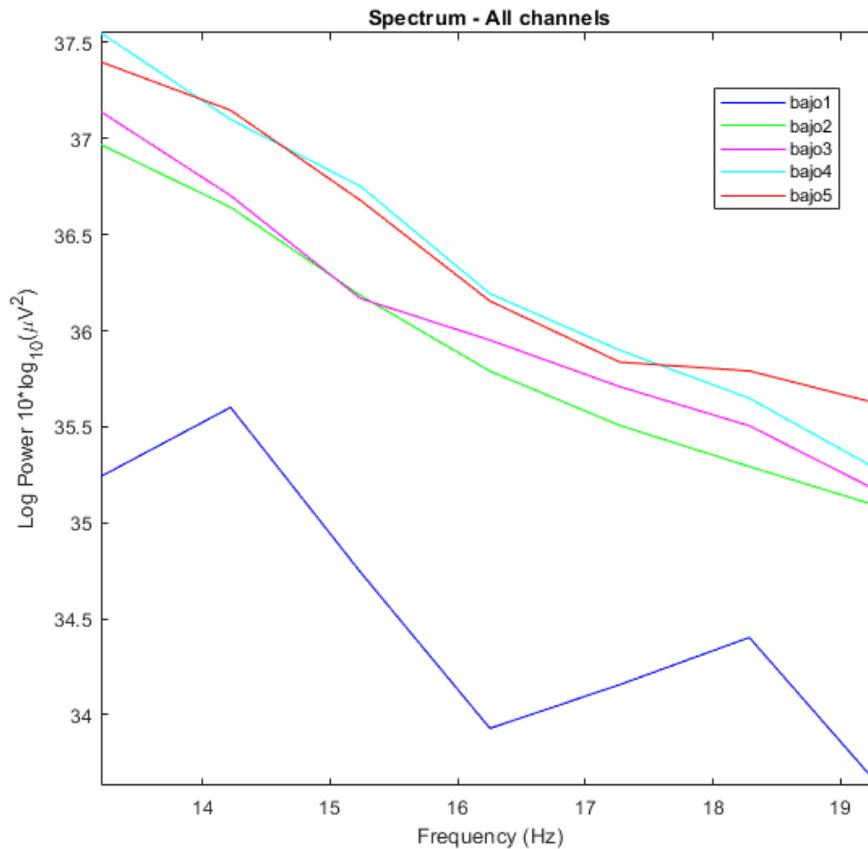


Ilustración 6 Gráfica del espectro del poder Beta bajo, a lo largo del nivel "bajo"

En el espectro del poder Beta bajo muestra diferencias. La condición "bajo1" vuelve a dar unos valores de beta bajo ($M=34.53$; $std=0.7096$) muy diferenciados de los demás recorridos quedando más agrupados, por un lado, la condición "bajo2" ($M=35.92$; $std=0.7035$) y la condición "bajo3" ($M=36.05$; $std=0.688$), y por el otro lado la condición "bajo4" ($M=36.34$; $std=0.8212$) y la condición "bajo5" ($M=36.38$; $std=0.706$). Como ya se ha comentado, la condición "bajo1" vuelve a quedar desagrupada. Entre otras, apreciamos diferencias significativas ($Z=-2.8031$; $p=.00512$) entre la condición "bajo2" ($M=35.92$; $std=0.7035$) y la condición "bajo3" ($M=36.05$; $std=0.688$).

Tabla 4 Datos estadísticos del espectro del poder Beta bajo en los recorridos prefijados "bajo"; media y std (desviación típica). X corresponde con la frecuencia media, e Y con la potencia espectral

	Bajo1		Bajo2		Bajo3		Bajo4		Bajo5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Media	16.25	34.53	16.25	35.92	16.25	36.05	16.25	36.34	16.25	36.38
Std (Desviación)	2.195	0.7096	2.195	0.7035	2.195	0.688	2.195	0.8212	2.195	0.706

5.3.2. Beta alto (entre 20 y 30 Hz)

Este es el gráfico de Beta alto (entre 20 y 30 Hz).

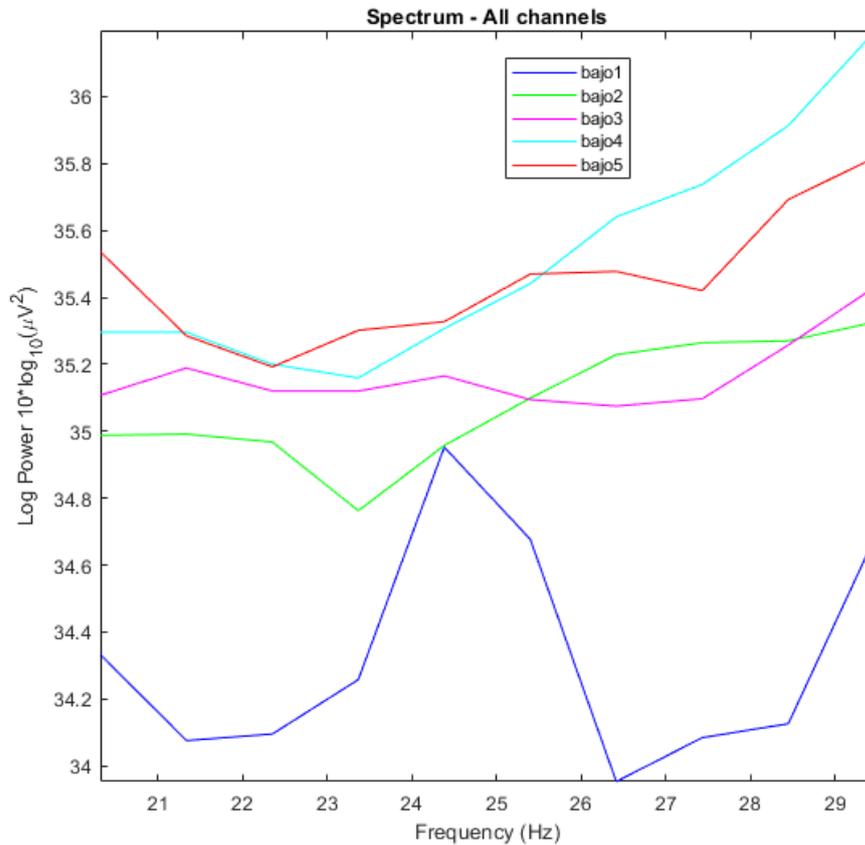


Ilustración 7 Gráfica del espectro del poder Beta alto a lo largo del nivel "bajo"

En el espectro del poder Beta alto muestra diferencias. La condición "bajo1" ($M=34.32$; $std=0.3331$) queda por debajo de los demás valores y, por lo tanto, del agrupamiento. En este caso, la condición "bajo2" ($M=35.09$; $std=0.1819$), "bajo3" ($M=35.17$; $std=0.1077$), "bajo5" ($M=35.45$; $std=0.1925$) y "bajo4" ($M=35.52$; $std=0.3422$), también se encuentran por encima de la condición "bajo1" y se mantienen en unos valores bastante parejos; se podría decir que forman otro agrupamiento por encima. Aún así, apreciamos diferencias significativas ($Z=-2.8031$; $p=.00512$) entre el intento "bajo3" ($M=35.17$; $std=0.1077$) y el intento "bajo5" ($M=35.45$; $std=0.1925$), entre otros.

Tabla 5 Datos estadísticos del espectro del poder Beta alto en los recorridos prefijados "bajo"; media y std (desviación típica). X corresponde con la frecuencia media, e Y con la potencia espectral

	Bajo1		Bajo2		Bajo3		Bajo4		Bajo5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Media	24.89	34.32	24.89	35.09	24.89	35.17	24.89	35.52	24.89	35.45
Std (Desviación Típica)	3.076	0.3331	3.076	0.1819	3.076	0.1077	3.076	0.3422	3.076	0.1925

Las ondas Beta imperan en los momentos de actividad cerebral o trabajo mental. Se considera que las ondas de Beta bajo (entre 15 y 20 Hz) trabajan cuando se enfoca, analiza o piensan en el ambiente externo. Tienen mayor intensidad mientras se realizan actividades y conversaciones, y se asociaron con operaciones cerebrales sensorio motoras (Gourab y Schmit, 2010, en Ghergulescu y Muntean, 2016), así como actividades cognitivas activas, concentradas o ansiosas (Baumeister et al., 2008, en Ghergulescu y Muntean, 2016).

Como ya hemos comentado anteriormente, según Pryanka et al. (2016), las ondas Beta se observan en estados de vigilia e intervienen en el pensamiento consciente; en condiciones óptimas las ondas Beta ayudan al enfoque consciente, la memoria y la resolución de problemas.

Beta bajo se asocia con una concentración tranquila, enfocada e introvertida. Beta alto se asocia con estrés significativo, ansiedad, paranoia, alta energía y alta excitación (Pryanka et al., 2016).

Se aprecia menor actividad cerebral en el primer intento frente al último; esto podría significar que el chequeo inicial que se realiza antes de comenzar los recorridos prefijados no tuvo mucho efecto sobre los siguientes intentos de la condición "bajo" ya que en el último recorrido le da mucha actividad cerebral.

6. CONCLUSIONES

Con estos estudios realizados, tanto en mi trabajo como en los de los demás compañeros y participantes del experimento, podemos descubrir que el funcionamiento cortical y el aprendizaje en esta tarea concreta (e incluso en diferentes situaciones), es muy diferente y personal en cada participante. Aún así llegamos a algunas conclusiones e hipótesis probadas.

Al realizar el estudio del promediado de todos los participantes en la condición "bajo" y analizar las bandas de frecuencia Theta, Alfa y Beta encontramos algunos resultados que, según los significados que dan diferentes autores a cada banda de frecuencia, podrían ser lógicos; por ejemplo, en el caso de Theta cuando aumenta en los diferentes intentos de la condición "bajo" podría significar carga cognitiva o fatiga cognitiva debido a los muchos intentos memorizados.

También hemos descubierto que la banda de frecuencia Alfa es muy personal en cada participante, teniendo procesos cognitivos distintos. Todos aprendemos de diferente manera y ello puede ir enfocado a entender nuestra futura profesión de maestro. En este experimento nos hemos dado cuenta que cada uno tenía diferentes estrategias para realizar las travesías y diferentes sensaciones después de realizar los recorridos y, por lo tanto, diferentes procesos mentales.

Este estudio aplicado en la escalada podría realizarse en diferentes intervenciones pedagógicas. La investigación podría encaminarse a incidir más en la "caja negra" y de forma más precisa, aunque los resultados de este trabajo son satisfactorios.

Como futuras mejoras se podría realizar el experimento con más participantes obteniendo mayor número de datos, comparar participantes expertos en la escalada, en diferentes modelos de escalada, con diferentes reglas y condiciones, etc.

Ha sido muy enriquecedor investigar a cerca del funcionamiento de nuestra "caja negra" y los diferentes procesos que pueden estar ocurriendo en una determinada tarea, estudiando con las herramientas necesarias y siguiendo un minucioso proceso para conseguir resultados óptimos y poder comentarlos.

REFERENCIAS

- Abhang, Priyanka A. (2016). Technical Aspects of Brain Rhythms and Speech Parameters. *En* Abhang, P. A., Gawali, B., & Mehrotra, S. C. (Eds). *Introduction to EEG-and speech-based emotion recognition.*, 51–79. Academic Press doi:10.1016/B978-0-12-804490-2.00003-8
- Albera, L., Kachenoura, A., Comon, P., Karfoul, A., Wendling, F., Senhadji, L., & Merlet, I. (2012). ICA-based EEG denoising: a comparative analysis of fifteen methods. *Bulletin of The Polish Academy of Sciences-technical Sciences*, 60, 407-418
- Babiloni, C., Barry, R. J., Başar, E., Blinowska, K. J., Cichocki, A., Drinkenburg, W. H., ... & Hallett, M. (2020). International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN)–EEG research workgroup: Recommendations on frequency and topographic analysis of resting state EEG rhythms. Part 1: Applications in clinical research studies. *Clinical Neurophysiology*, 131(1), 285-307
- Bailey, A., Hughes, A., Bullock, K., & Hill, G. (2019). A climber’s mentality: EEG analysis of climbers in action. *Journal of Outdoor Recreation, Education, and Leadership*, 11 (1)
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., & Schürmann, M. (1999). Oscillatory brain theory: a new trend in neuroscience. *IEEE engineering in medicine and biology magazine: the quarterly magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society*, 18(3), 56–66. <https://doi.org/10.1109/51.765190>
- Beas Jiménez, M., & Blanes Rubia, M. (2010). Posibilidades pedagógicas de la escalada en rocódromo. *Espiral. Cuadernos del profesorado*
- Blakely, M. (2017). *The impact of cognitive load on volitional running, kayaking, rock climbing and arithmetic tasks and the effect of fatigue on risk perception.* University of Canterbury
- Blakely, M., Smith, S., Russell, P., Helton, W. (2021). The impact of cognitive load on climbing and climbing on cognitive performance. *Applied Ergonomics*, 94

- Brodmann, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationslehre der grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig, Barth
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Fontana, H. (2010). *Resumen del libro de "Teoría de la localización comparativa de la corteza cerebral" expuesta en sus principios en base a la estructura celular*. *Revista argentina de neurocirugía*, 24(Supl. 1), S1-S22
- García-Monge, A., Rodríguez-Navarro, H., & Marbán, J. M. (2023). Potencialidades y limitaciones de la usabilidad de dispositivos EEG en contextos educativos. *Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación*, 31(76)
- García, S., Suárez, S. S., Dávalos, E. M., & de Jesús Villagómez, A. (2013). Estado de coma y trastornos de la conciencia: una revisión analítica desde un enfoque neurofuncional. Parte I. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 18(1), 56-68
- Ghergulescu, I. y Muntean, CH (2016). ToTCompute: un novedoso mecanismo de cálculo de umbral de TimeOnTask basado en EEG para el modelado y la supervisión de la participación. *Revista Internacional de Inteligencia Artificial en Educación*, 26, 821-854. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0111-2>
- Gil Gangoso, D., (2020). *Factores de rendimiento asociados a la escalada en roca. Revisión sistemática*. Universidad de Zaragoza
- Henz, D., & Schöllhorn, W. I. (2016). Differential training facilitates early consolidation in motor learning. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 10, 199
- Iriarte, J. & Artieda, J. (2012). *Manual de neurofisiología clínica*. Editorial Médica Panamericana
- Nayak CS, Anilkumar AC. Formas de onda normales de EEG. [Actualizado el 8 de mayo de 2022]. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): Publicación de

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539805/>

Park, J. L., Fairweather, M. M., & Donaldson, D. I. (2015). Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 52, 117-130

Portellano, J. A. (2005). *Introducción a la Neuropsicología*. McGraw-Hill Madrid

Scrivener, C. L., & Reader, A. T. (2022). Variability of EEG electrode positions and their underlying brain regions: visualizing gel artifacts from a simultaneous EEG-fMRI dataset. *Brain and Behavior*, 12(2), e2476

Skiltopo (2023). Brodmann Atlas. https://www.brainm.com/software/pubs/dg/BA_10-20_ROI_Talairach/functions.htm

Suurmets, S. (2018). Oscilaciones neuronales: interpretación de las bandas de frecuencia de EEG. <https://imotions.com/blog/neural-oscillations/>

Torres, F., Sánchez, C., & Baus, K. P. (2014). Adquisición y análisis de señales cerebrales utilizando el dispositivo MindWave. *Maskana*, 5, 83-93

Williams, N. S., McArthur, G. M., de Wit, B., Ibrahim, G., & Badcock, N. A. (2020b). A validation of Emotiv EPOC Flex saline for EEG and ERP research. *PeerJ*, 8, e9713. <https://doi.org/10.7717/peerj.9713>