

TRABAJO

FIN GRADO



Universidad de Valladolid

Análisis de la evolución de registros

EEG en recorridos de escalada libre

M<sup>a</sup> ÁNGELES RODRÍGUEZ GARCÍA

# ÍNDICE

## Resumen

Finalidad del estudio  
Palabras Clave

1

## 1 . Introducción

El objetivo de este estudio

3

## 2 . Justificación

3

## 3 . Fundamentación Teórica

3.1 La escalada  
3.2 Electroencefalografía  
3.3 Actividad cerebral de la escalada  
3.4 La escalada y la Actividad Cerebral

3

## 4 . Metodología

4.1 Participantes  
4.2 Contexto  
4.3 Procedimiento de recogida de datos  
4.4 Pre- procesamiento de la señal: filtro 0.5 - 45 Hz  
4.5 Análisis: función "study"

10

## 5 . Resultados

Análisis e interpretación de los datos

15





## **RESUMEN**

La escalada es un contenido fundamental del área de la Educación Física dado a todas las exigencias físico – motrices, perceptivo – motrices y coordinativos que requiere. Constan numerosos estudios, desde la introducción de la escalada en las clases de Educación Física como sobre las demandas cognitivas y motrices implicadas en esta práctica, sin embargo no existen estudios que nos hablen de la actividad cerebral que se producen en este proceso.

Este trabajo tiene como finalidad conocer más sobre la actividad cerebral comparando situaciones de escalada en diferentes personas, realizando recorridos sencillos y libres en un rocódromo. Para ello se estudió a través de electroencefalografía la actividad cerebral en 6 participantes. Entre los resultados encontramos que hay procesos personales y que a mayor número de intentos, la actividad cerebral disminuye en la mayor parte de los casos. Es decir, la repetición sucesiva del recorrido implica una adaptación que ayuda a utilizar menos recursos cognitivos en la práctica.

**PALABRAS CLAVE:** Actividad cerebral, escalada, recursos cognitivos, encefalograma, repeticiones.

## **ABSTRACT**

Sports climbing is a fundamental area of Physical Education due to the immense physical, motor, perceptible and coordination requirements it demands. There are numerous studies around it, from sports climbing introduction in the classes to the cognitive and motor demands involved in this practice. However, there are no studies on the cerebral activity that is produced in this process.

The purpose of this project is to find out more about the cerebral activity of multiple individuals while practicing sports climbing in a controlled environment with simple circuits. For this, encephalography studies were conducted on 6 patients to document any changes on cerebral activity. The results displayed that as the patients took more tries on the circuit, the cerebral activity decreased in most cases, along with individual processes. This would mean the continuous repetition of the circuit triggers an adaptation that helps use less cognitive resources in practice.

**KEY WORDS:** Cerebral activity, sports climbing, cognitive resources, encephalogram, repetition.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad existen numerosos estudios que muestran la relación cuerpo y mente, un enfoque muy interesante para los docentes. Carnine (1995), señalaba que la investigación sobre el cerebro tendría repercusiones directas en la educación. Uno de las líneas de investigación en Neurociencia tiene como propósito comprender los procesos mentales a los que nos vemos sometidos en el camino del aprendizaje.

En este trabajo analizaremos la actividad cerebral en un proceso de aprendizaje de la escalada. El objetivo de este estudio es *“conocer la actividad cerebral comparando situaciones de escalada en distintas personas realizando recorridos sencillos y libres en un rocódromo”*

## **2. JUSTIFICACIÓN**

La escalada es un contenido educativo de la Educación Física, es una actividad muy completa que demanda diferentes capacidades perceptivo – motrices, coordinativas y físico – motrices que guarda especial relación con aspectos como la convivencia en el centro, el clima favorable en de aula, las habilidades sociales, valores y la gestión de emociones, de ahí que la hayamos seleccionado para esta comparación.

A pesar del amplio número de estudios sobre diferentes ámbitos de la escalada, hasta donde sabemos, no existen estudios que analicen la actividad cerebral producida en esta habilidad, por ello este trabajo intenta aportar algo de luz a lo que ocurre en el cerebro cuando se practica esta actividad.

## **3. FUNDAMENTACIÓN TEORICA**

### **3.1 La escalada**

En este apartado me gustaría plasmar desde un punto de vista genérico la escalada, esa habilidad motriz específica y compleja que demanda la adquisición de capacidades perceptivo motrices, coordinativas y emocionales, convirtiéndola en una actividad física interesante y llamativa para trabajar contenidos en el ámbito educativo.

La escalada es una de las actividades físicas que el medio natural nos regala y que ha estado en constante relación con el ser humano desde el inicio de los tiempos, por ello guarda tanta relación con el origen de las propias actividades físicas (Arribas, H.; 2008). Sin embargo, no siempre fue así, la escalada se vio relegada como actividad física debido a la excesiva urbanización de la sociedad. A día de hoy, podemos decir, que ha habido nuevamente un cambio a favor de esta actividad, el desarrollo de nuevos equipamientos recreativos y deportivos (parques y rocódromos) vuelve a acercar la escalada a la sociedad urbanita para poder seguir utilizándola como contenido fundamental en la Educación Física en el caso de no poder disfrutar de ella en el medio natural.

La escalada, en el contexto educativo, es una habilidad específica de carácter adquirido, que apenas se trabaja en la Educación Física por falta de recursos y dotaciones espaciales, además tiene una didáctica muy específica y bastante desconocida para el docente, además presenta carencias en los centros ya que no hay infraestructuras para trabajarla. Es necesario contar con un espacio seguro y adecuado para la práctica de la escalada.

La escalada en Educación primaria es una actividad física muy recomendada, ya que ayuda a desarrollar habilidades físicas y mentales importantes, como la fuerza, la

flexibilidad, el balance, la coordinación, la resolución de problemas y el trabajo en equipo, por lo que es muy beneficiosa para su desarrollo en los centros.

### **3.1.1 Factores que intervienen en la escalada**

Siguiendo a Romero Ramos (1999) nos hablan de 4 factores que intervienen en la escalada:

1. Factores físico-motores: estos factores se relacionan a la fuerza, que nos permite a mantener la postura corporal; la resistencia; mejora de la flexibilidad, desarrollando la amplitud de movimientos de forma estática o dinámica; la velocidad; la coordinación; aumento del repertorio gestual.
2. Factores cognitivos y psicológicos: ayuda a un buen desarrollo en la gestión en las emociones y favorece el grado de autoconfianza de la persona.
3. Factores perceptivos: visualización y orientación en el espaciotemporal ; favorece el desarrollo del equilibrio y del tacto;
4. Componentes sociales: se trabaja de manera grupal, lo que favorece las relaciones entre iguales y el clima favorable en ellas.

En factores psicológicos, encontramos el modelo de Sanches y Torregrossa (2005, et al., 2022), según este modelo, hay tres dimensiones psicológicas principales implicadas en la actividad de la escalada:

1. Procesos básicos para captar y procesar información.
2. Aspectos motivacionales.
3. Mecanismos emocionales

### **3.1.2 Procesos cognitivos implicados en la escalada**

En los procesos cognitivos implicados en la escalada, Santolaya, Rubio, y Ruiz-Barquín (2022) nos hablan de:

Anticipación: predecir los movimientos y las circunstancias que puedan ocurrir en la práctica de la escalada; Atención-concentración: el escalador debe focalizar la atención la lectura de la ruta y evitar distracciones; Memorización-imaginación: previo y durante el recorrido; Creatividad: realizar nuevos movimientos para resolver los retos que surjan en la ejecución del recorrido; Capacidad de aprendizaje: comprender y asimilar la información para realizar futuras rutas que se presenten; Estilo de aprendizaje: la forma de aprender las habilidades puede condicionar en la ejecución de la ruta; Resolución de problemas: identificar posibles problemas y ser eficaces en solucionarlos.

Santolaya, Rubio, y Ruiz-Barquín (2022) hablan de los aspectos motivacionales de la escalada, que son los siguientes:

Autoeficacia: conocimiento de capacidad personal; Confianza en sí mismo: saberse capaz de resolver una tarea de manera exitosa; Motivación y mostrar actitud positiva; Autorrealización: necesidad de mejora y sensación de satisfacción cuando la consigues; Autonomía: ser capaz de tomar decisiones.

Santolaya, Rubio, y Ruiz-Barquín (2022) desarrollan los mecanismos emocionales de la escalada:

Control del estrés, gestión de la activación (maximizar el rendimiento), gestión de riesgos (asumir decisiones arriesgadas en bases a sus capacidades), autorregulación, tolerancia a la frustración y gestión de las emociones.

### **3.1.2 Escalada en Educación primaria.**

La escalada en Educación primaria es una actividad física recomendada para los niños y niñas, ya que les ayuda a desarrollar su fuerza, flexibilidad, balance y coordinación, así como su capacidad de resolución de problemas y trabajo en equipo.

La escalada ayuda a desarrollar la confianza y la autoestima de los niños y niñas. A medida que van superando los diferentes niveles de dificultad en el muro de escalada, pueden sentirse más seguros de sí mismos y con más autoconfianza. También les ayuda a aprender a trabajar en equipo, ya que pueden darse ánimo y consejos mutuos para alcanzar la cima.

Las posibilidades educativas que nos ofrecen la escalada (Beas, Blanes, 2010):

- Favorecer la socialización y el respeto de normas, cooperación y el trabajo en equipo. La necesidad de cooperación con el compañero y la confianza que se deposita en él, en nuestro caso no hemos estado ligados con nadie ya que no hemos necesitado arnés, pero hemos estado cerca del compañero que nos ha estado tomando los datos para realizar este trabajo.
- Estimulan la capacidad de autosuperación: el escalador, alumno, se enfrenta a retos nuevos e intensos a los que haciendo frente mejora la autoestima y la capacidad de afrontar nuevos desafíos con mayor facilidad en venideras ocasiones.
- Incrementa el aprendizaje de destrezas y habilidades motrices básicas.
- Son motivadoras ya que el alumno siempre está acostumbrado a las mismas actividades, y esta actividad sale del ámbito normal de la actividad física por ello siempre se muestra un mayor interés y mejor predisposición a la práctica.

En definitiva, la escalada en Educación primaria es una actividad física muy recomendada, ya que ayuda a desarrollar habilidades físicas y mentales importantes, como la fuerza, la flexibilidad, el balance, la coordinación, la resolución de problemas y el trabajo en equipo.

### **3.2 ELECTROENCEFALOGRAFÍA**

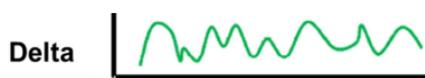
El electroencefalograma, EEG que es una prueba que mide la actividad eléctrica en el cerebro utilizando electrodos colocados en el cuero cabelludo. El análisis de frecuencia tiene como objetivo descomponer las bandas de frecuencia básicas que forman las señales EEG registradas y relacionarlas con la actividad del cerebro. Así, observando la actividad cerebral en varios estímulos es posible analizar las respuesta cerebrales (García Monge, 2023).

En las primeras décadas del s. XX, Hans Berger ya comenzó a estudiar este procedimiento EEG, a lo largo de los años se han ido identificando diferentes bandas de frecuencia (Babiloni et al., 2020) y asociándolas con diferentes funciones cerebrales (Basar et al., 1999)

### 3.2.1 Ondas cerebrales y significados

Las ondas cerebrales son patrones de actividad eléctrica que se generan en el cerebro y que se pueden medir por medio de la electroencefalografía (EEG). Estas ondas se clasifican en diferentes tipos, según su frecuencia y amplitud, y se asocian con distintos estados de conciencia y procesos cognitivos, la atención, la memoria, el aprendizaje y la creatividad. La frecuencia de la onda EEG se mide en Hercios (Hz), que son bits por segundo.

Las ondas cerebrales se clasifican en (Maureira, 2017; Maureira y Flores, 2016):



Esta frecuencia posee un rango de 1 – 3 Hz. Son ondas lentas. Están presentes durante el estado de sueño profundo en adultos y bebés despiertos. Cuando dominan estas ondas es debido a la pérdida del reconocimiento del cuerpo físico. Por ejemplo en estados de inconsciencia, por ello esta frecuencia no se analizará en este estudio ya que este trabajo predomina la actividad física.

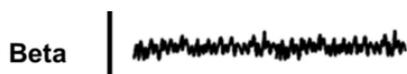


La frecuencia theta posee un rango de 3.5 – 7.5 Hz, esta onda es predominante en estados de sueño liviano, se ha asumido que las ondas theta son portadoras de procesos mnemotécnicos (Lisman e Idiart, 1995; Miller, 1989; Raghavachari et al. 2001), memoria de trabajo y procesos de recuperación de la información de la memoria. Además, están relacionadas con procesos de creatividad.



La frecuencia alfa posee un rango de 8 – 12 Hz, asociados con un estado de relajación, en personas despiertas pero con los ojos cerrados. En esta frecuencia sí que predomina cuando la persona está en un estado de meditación, donde la integración del cuerpo y mente es alta.

Las ondas Alfa se registran en momentos de escasa actividad cerebral, en momentos de desahogo y en sujetos despiertos pero con los ojos cerrados, es decir en estados relajados de conciencia, sin focalizar la atención ni estar concentrado (Torres, Sánchez, y Palacio-Baus, 2014). La presencia de estas ondas, algunos autores las vinculan con la conducta automática que no precisa de concentración, por lo que aparece en situaciones de meditación y disminución del mundo exterior (García, García, Meza Dávalos, Sauri Suarez, y Villagómez, 2013). Son ondas de poca extensión, lentas, es decir de poca actividad cerebral. Se observa una frecuencia alta de alfa cuando hay mucho enfoque para bloquear todos los input de alrededor (Jones et al., 2010)



La frecuencia de ondas beta posee un rango de 13 – 30 Hz, características de una persona despierta y en plena actividad mental. En condiciones óptimas, las ondas beta ayudan con el enfoque consciente, la memoria y la resolución de problemas (Priyanka, 2016). Este mismo autor hace una distinción dentro de beta para lograr comprender mejor estas ondas dividiéndola en ondas beta bajas (13-18 Hz), asociadas principalmente con una concentración tranquila, enfocada e introvertida y

ondas beta altas (18 – 30 Hz), asociadas con estrés significativo, ansiedad, paranoia, alta energía y excitación.



Es una frecuencia de ondas cerebrales alta, con un rango de >30 Hz, que se cree tiene que ver con la percepción consciente y en procesos cognitivos complejos. 4.

### **3.3 Actividad cerebral de la escalada**

Brodman divide el cerebro humano en 47 áreas diferentes. Dentro de cada área se pueden distinguir funciones de cada zona cerebral. Así encontramos que hay áreas más especializadas en acciones motrices, procesamientos de informaciones sensoriales, lenguaje, etc. De este modo es más fácil comprender el funcionamiento cerebral.

Estas áreas funcionales han sido criticadas en la actualidad por visiones del cerebro más conexionistas. Dado los medios de este trabajo, recurriremos a ellas para comprender lo que está pasando en la corteza cerebral siendo conscientes de las limitaciones de un abordaje localizaciónista.

## **4 METODOLOGÍA**

### **4.1 Participantes**

En el estudio participaron 6 estudiantes de cuarto curso del Grado en Educación Primaria, en una edad comprendida entre los 21 y 32 años, de una condición física buena y una habilidad baja en la escalada.

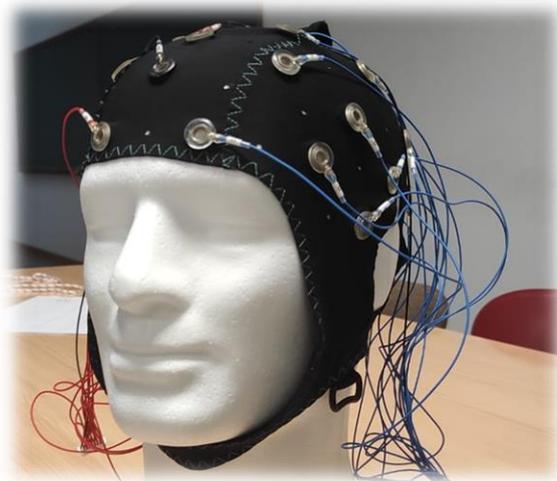
Todos los participantes habían tenido un contacto previo con la escalada en el rocódromo.

### **4.2 Contexto**

Se utilizó una vía transversal de 5 metros de longitud y 3 metros de altura de un rocódromo en el polideportivo. Las presas eran de distintos tamaños, pero de agarre asequible. La distancia entre presa y presa era de 30 cm.

### **4.3 Procedimiento de recogida de datos:**

Para la recogida de la señal EEG se utilizó un dispositivo EPOC 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 Wilians et al. (2020) se recoge su validación.



*Ilustración 1: Dispositivo EPOC Flex (Emotive, San Francisco) utilizado para recoger la señal EEG.*

Los electrodos, como aparece en la “Ilustración 1”, se colocan en diferentes zonas del cuero cabelludo, cuantos más electrodos se coloquen más información se obtendrá (García Monge, 2023). Otro aspecto a tener en cuenta son las posibles conexiones erróneas que puedan surgir entre el EEG y el receptor de la señal, ya que son dispositivos inalámbricos y pueden suponer interferencias si los participantes están muy juntos (García Monge, 2023).

Tras colocar los gorros EPOC Flex, la situación experimental tomaba un registro de base en una sala insonorizada, la toma de datos comenzó por dos minutos con los ojos cerrados y otros 2 minutos de ojos abiertos, posteriormente se realizó la tarea de escalada consistió en 4 intentos seguidos de recorrido libre, utilizando todas las presas a libre disposición, cada presa está distribuida por una distancia de 30 cm, y el tamaño de presas es bueno para el agarre, lo que facilita el agarre de toda la mano y la posición de la mayor parte del pie.

Durante la grabación de EEG, los experimentadores deben limitar las comunicaciones al participante, asegurando estrictamente su relajación general. Los participantes al acabar los recorridos debían reportar las sensaciones y vivencias de cada intento como notas experimentales para su posterior análisis de datos.

#### **4.4 Pre-procesado de la señal: filtros 0.5 – 45 Hz**

Se utilizó la caja de herramientas para MATLAB R2022b, EEGLAB (Delorme, A., & Makeig, S. 2004).

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 implantó 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). En último lugar se utilizó el análisis de componentes independientes (ICA) y se apartaron los componentes en los que influían fuentes no neuronales (artefactos).

#### **4.5 Analisis: función “study”.**

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

## 5 RESULTADOS

Se presenta a continuación los resultados de los diferentes recorridos, se ha realizado un promediado de los espectros de frecuencia de los diferentes participantes en cada recorrido libre (libre 1, libre 2, libre 3 y libre 4).

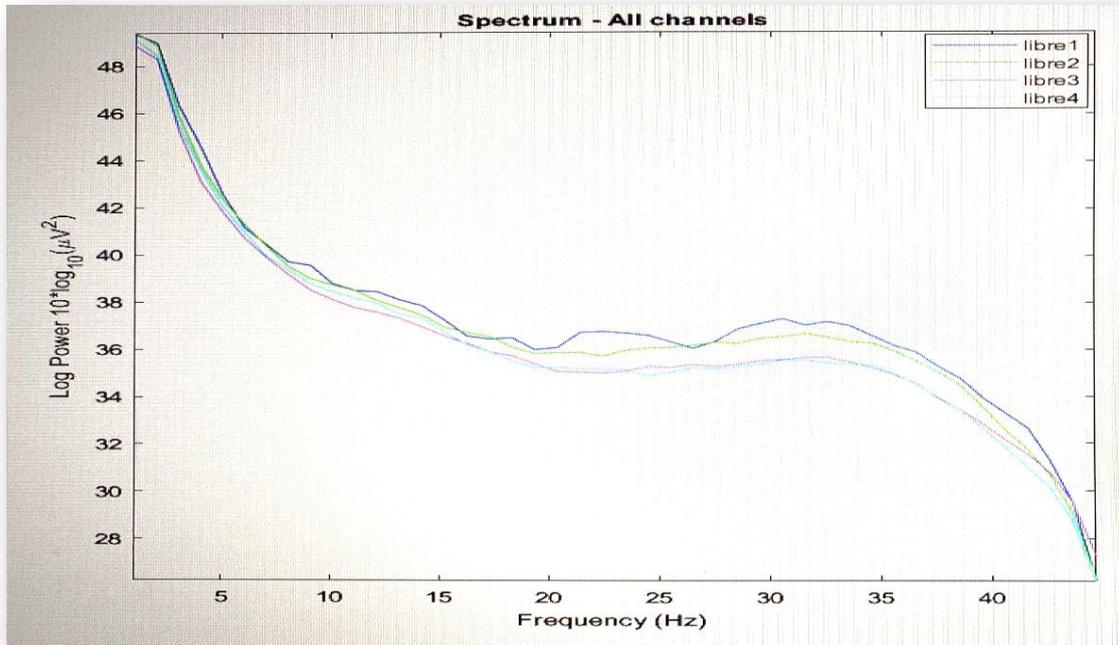


Figura 2: Gráfica de promediado de los participantes de los recorridos libres.

Esto es un estudio prospectivo cuya gráfica general, Figura 2, nos indica que hay un proceso de adaptación debido a que a más intentos nuestra actividad cerebral disminuye en todos los canales.

Tabla 1: Datos estadísticos del promediado en los recorridos libres. (Media y desviación típica)

	LIBRE 1		LIBRE 2		LIBRE 3		LIBRE 4	
	Frecuencia media	Potencia espectral						
MEDIA	22.86	37.42	22.86	37.06	22.86	36.44	22.86	36.43
STD	13.05	4.25	13.05	4.316	13.05	4.198	13.05	4.434

En la Figura 2, apreciamos diferencias significativas en el análisis general ( $Z = -2.8031$ ;  $p = .00512$ ) entre el primer intento de nivel “libre 1” ( $M = 37.42$ ;  $std = 4.25$ ) y el último intento del nivel “libre 4” ( $M = 36.43$ ;  $std = 4.434$ ).

Esto podría ser ocasionado, según los autores que hemos mencionado en el apartado anterior, a que a medida que van sucediendo los intentos se produce una disminución del poder espectral, por lo que podríamos decir que hay una adaptación, ya que en los primeros intentos de “libre 1” da más potente la frecuencia de las ondas Theta, Alfa y Beta, lo que nos indicaría que hay mayor carga cognitiva, y que a lo largo que se van realizando más intentos esa carga cognitiva disminuye.

A continuación mostraremos un desglose del espectro por bandas de frecuencia.

## 5.1 Desglose del espectro por bandas de frecuencia

### - Análisis de la onda de Theta (3 – 7Hz)

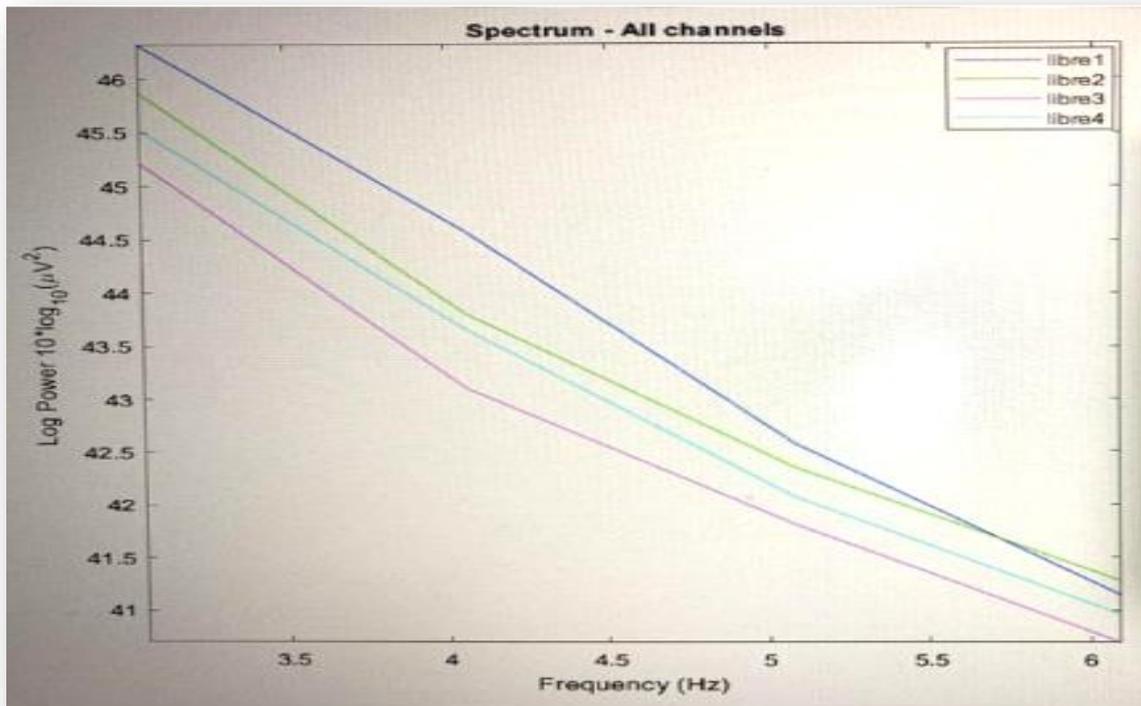


Figura 3: Gráfica del espectro del poder Theta a lo largo de los recorridos libres

Se ha asumido que las ondas theta son portadoras de procesos mnemotécnicos (Lisman e Idiart, 1995; Miller, 1989; Raghavachari et al. 2001), memoria de trabajo y procesos de recuperación de la información de la memoria.

Tabla 2: Datos estadísticos del espectro del poder Theta en los recorridos libres; Media y desviación típica (std)

Theta	LIBRE 1		LIBRE 2		LIBRE 3		LIBRE 4	
	Frecuencia media	Potencia espectral						
MEDIA	4.571	43.65	4.571	43.32	4.571	35.47	4.571	43.05
STD	1.311	2.266	1.311	1.988	13.311	1.94	1.311	1.986

En la Figura 3 apreciamos diferencias significativas en el análisis de la onda Theta ( $Z = -2,9341$ ;  $p = .00338$ ) entre el primer intento de nivel libre, “libre 1” ( $M = 43.65$ ;  $std = 2.26$ ) y el tercer intento del nivel libre, “libre 3” ( $M = 35.47$ ;  $std = 1.94$ ). Podría estar relacionada esta disminución de la frecuencia de theta según Herweg, Solomon y Kahana (2020), con variables cognitivas menos específicas, como la atención o el compromiso de la tarea, por lo tanto comprobamos con nuestra muestra, que en el intento libre 1 tenemos una mayor atención y un mayor compromiso en la tarea, frente a que en el intento libre 3, donde la atención y el compromiso disminuye debido a que ya conocemos la tarea, hay un proceso de adaptación en el que se precisa de menos atención, por ello van bajando los niveles a medida que van aumentando los intentos.

Ahora bien, en el intento “libre 4” ( $M = 43.05$ ;  $std = 1.98$ ) también observamos que la frecuencia en el intento vuelve a subir, esto podría ser debido a una fatiga mental.

- **Análisis de la onda Alfa (7 – 13HZ)**

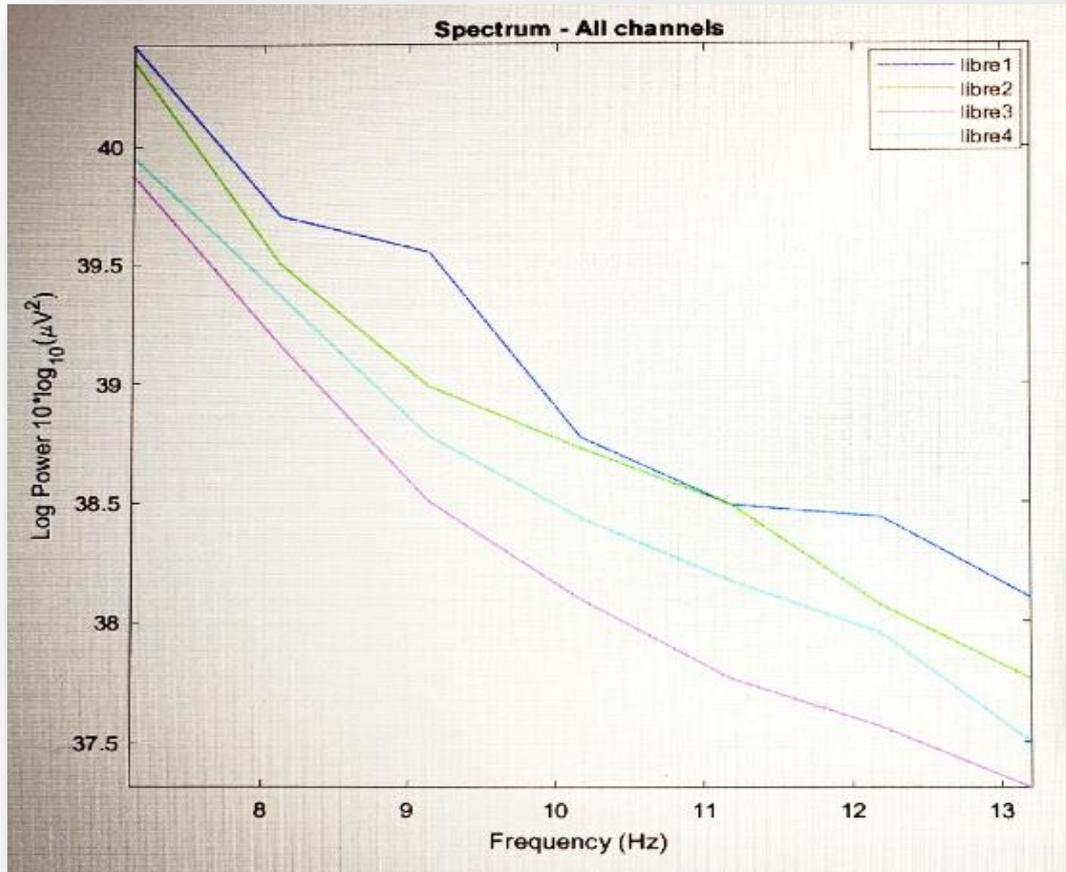


Figura 4: Gráfica del espectro del poder Alfa a lo largo de los recorridos libres

La presencia de estas ondas, algunos autores las vinculan con la conducta automática que no precisa de concentración, por lo que aparece en situaciones de meditación y disminución del mundo exterior (García, García, Meza Dávalos, Sauri Suarez, y Villagómez, 2013)

Tabla 3: Datos estadísticos del espectro del poder Alfa en los recorridos libres; Media y desviación típica (std)

Alfa	LIBRE 1		LIBRE 2		LIBRE 3		LIBRE 4	
	Frecuencia media	Potencia espectral						
MEDIA	10.16	39.07	10.16	38.84	10.16	38.32	10.16	38.59
STD	2.19	0.84	2.19	0.88	2.19	0.92	2.19	0.84

En la Figura 4, en el intento “libre 1” (M= 39.07; std = 0.84) vemos como la frecuencia de alfa es la más alta ya que los participantes están con mucho enfoque en la actividad para bloquear los input del exterior (Jones et al., 2010), observamos como en el intento “libre 3” (M = 38.32; std = 0.88) la frecuencia de alfa disminuye, por lo que podríamos interpretar que ese enfoque se reduce, no se necesita mayor focalización debido a que las sucesivas repeticiones de la actividad favorecen la automatización de los ejercicios (Torres, Sánchez, y Palacio-Baus, 2014). Por lo que también podríamos deducir, que en el intento “libre 4” (M = 38.59; std = 0.88) vuelve a aumentar muy timidamente la frecuencia de ondas alfa debido a que vuelven a focalizarse en la actividad porque la

automatización les ha llevado a evadirse del mundo exterior y al darse cuenta de ello quieren volver a focalizar la atención en la actividad de la escalada.

- **Análisi de la onda Beta (13 – 30Hz)**

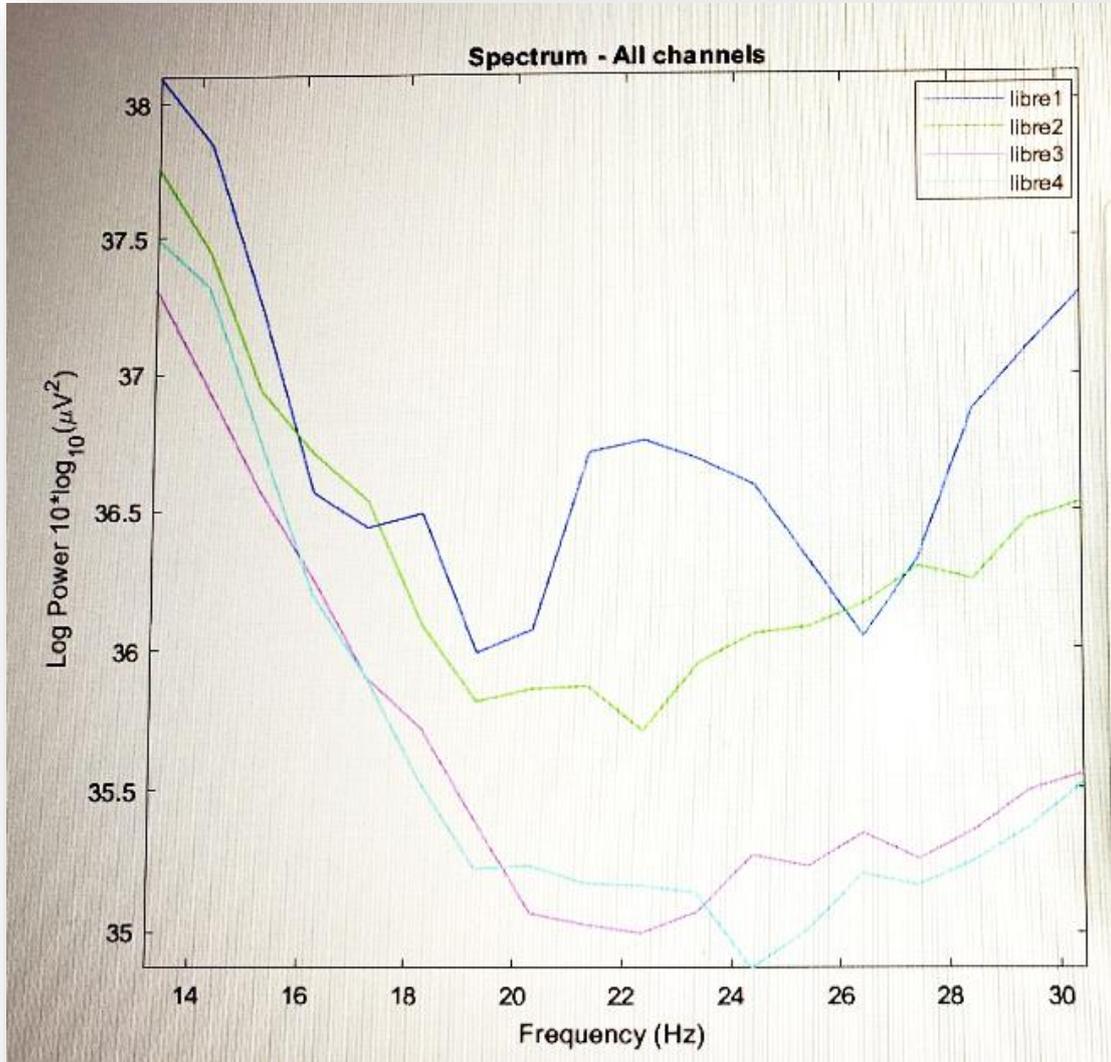


Figura 5: Gráfica del espectro del poder Beta a lo largo de los recorridos libres

Tabla 4: Datos estadísticos del espectro del poder Beta en los recorridos libres; Media y desviación típica (std)

Beta	LIBRE 1		LIBRE 2		LIBRE 3		LIBRE 4	
	Frecuencia media	Potencia espectral						
MEDIA	21.84	36.75	21.84	36.36	21.84	35.65	21.84	35.64
STD	5.42	0.58	5.42	0.56	5.42	0.68	5.42	0.79

En la Figura 5 observamos como los valores más altos de beta se dan en el intento “libre 1” (M = 36.75; std = 0.58), y esto podría ser debido a que en el primer intento los participantes tenían un enfoque más consciente y una plena actividad cerebral al realizar la tarea (Priyanka, 2016), a medida que las repeticiones iban sucediendo, esta actividad cerebral ha ido disminuyendo, dando lugar a un enfoque menos consciente en el intento

“libre 4” ( $M = 35.64$ ;  $std = 0.79$ ). Por lo que podríamos decir, que a medida que se realizan más repeticiones se produce una adaptación en el que las ondas beta disminuyen su frecuencia, ya que se precisa de menos atención al mundo exterior, menos concentración o lo que es lo mismo, menos actividad cerebral.

A continuación, vamos a diferenciar de Beta bajo y beta alto:

- Beta bajo (13 – 20Hz)

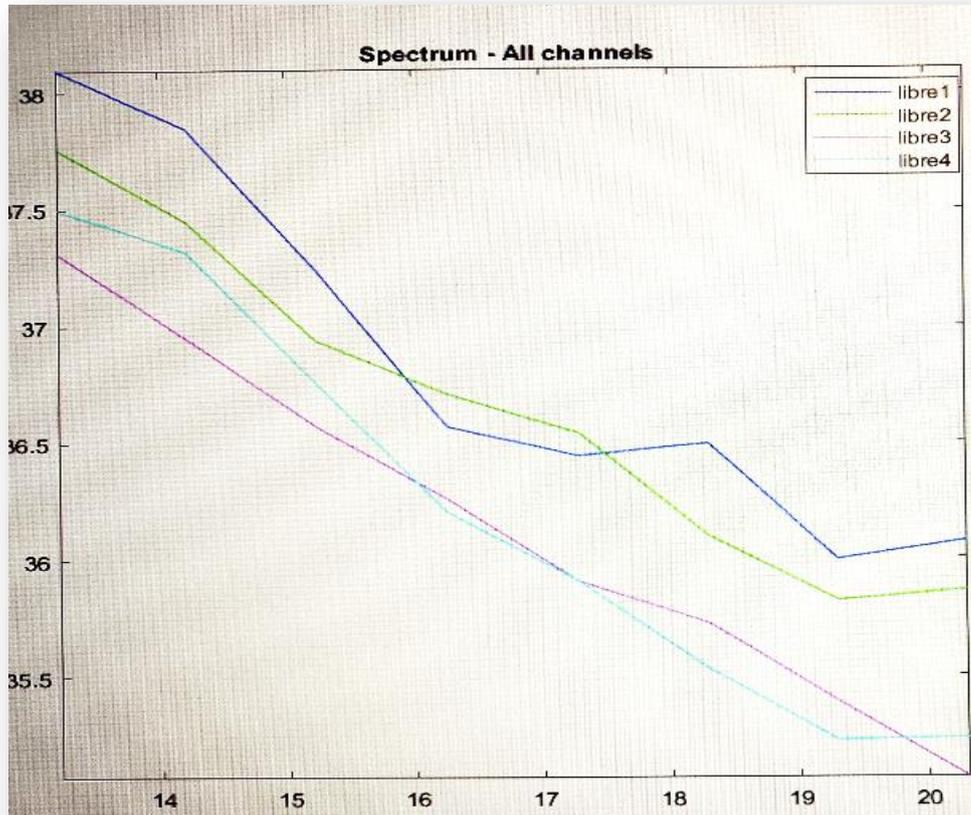


Figura 6: Gráfica del espectro del poder Beta bajo a lo largo de los recorridos libres

Tabla 5: Datos estadísticos del espectro del poder Beta bajo en los recorridos libres; Media y desviación típica (std)

Beta bajo	LIBRE 1		LIBRE 2		LIBRE 3		LIBRE 4	
	Frecuencia media	Potencia espectral						
MEDIA	16.76	36.84	16.76	36.65	16.76	36.15	16.76	36.21
STD	2.48	0.79	2.48	0.71	2.48	0.77	2.48	0.90

Estas ondas están relacionadas con plena actividad cerebral y concentración tranquila (Priyanka, 2016), por ello observamos como las ondas beta aparecen con frecuencias más altas en el intento “libre 1” ( $M = 36.84$ ;  $std = 0.79$ ), lo que puede ser debido a que los participantes en el primer intento están más concentrados y con un enfoque más consciente, y que a medida que van sucediendo las repeticiones va disminuyendo la actividad cerebral, donde se registra la frecuencia de beta más baja en el intento “libre 3” ( $M = 36.15$ ;  $std = 0.77$ ).

- Beta alto (20 – 30 Hz)

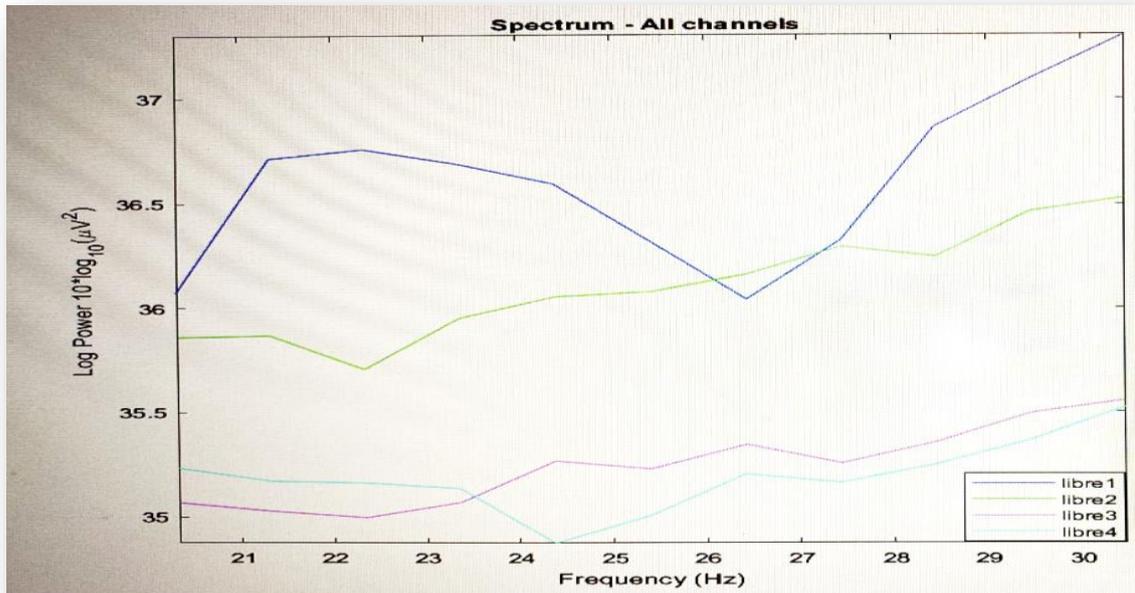


Figura 7: Gráfica del espectro del poder Beta alto a lo largo de los recorridos libres

Tabla 6: Datos estadísticos del espectro del poder Beta bajo en los recorridos libres; Media y desviación típica (std)

BETA ALTO	LIBRE 1		LIBRE 2		LIBRE 3		LIBRE 4	
	Frecuencia Media	Potencia espectral						
MEDIA	25.4	36.61	25.4	36.11	25.4	35.24	25.4	35.19
STD	3.369	0.39	3.369	0.25	3.369	0.18	3.369	0.16

La frecuencia Beta alto se asocia con miedo, ansiedad, nervios y en estado de alerta de forma exagerada (Priyanka, 2016), por lo que lo que podríamos deducir en la “Figura 7” es que en el intento “libre 1” ( $M= 36.61$ ;  $std = 0.39$ ) tenemos más frecuencia de beta alto debido a que el desconocimiento de la práctica nos genera más estrés y ansiedad, y que esos factores se van reduciendo a medida que se van sucediendo las repeticiones, hasta llegar a los valores más bajos del último intento “libre 4” ( $M= 35.19$ ;  $std = 0.16$ ).

## 5.2 Diferencias de canales por el cuero cabelludo

Si buscamos las diferencias por canales del cuero cabelludo observamos que las mayor variación esta en los canales: F4, FC6, C4 y CP6.

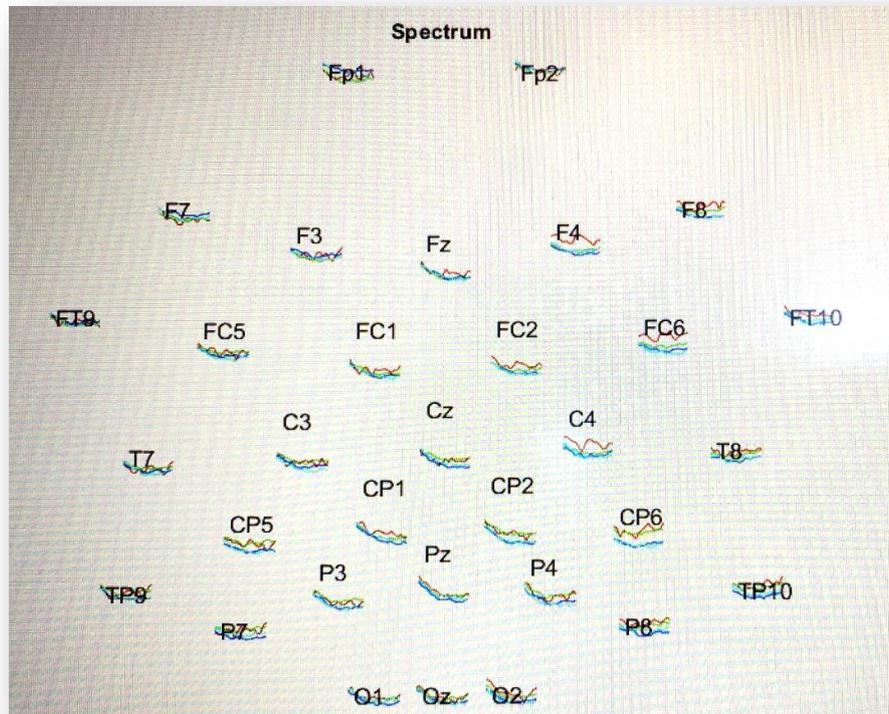


Figura 8: Espectro de diferencia de canales en el cuero cabelludo

Tomando el trabajo de Scrivener y Reader (2022), vemos que estos canales coinciden con diferentes áreas de Brodman cuya funcionalidad pasamos a describir:

- La zona de F4 Según Scrivener y Reader (2022) coincide con el área de Brodmann Derecha BA9, cuya funcionalidad se refiere a la memoria a corto plazo y memoria espacial con esto podemos interpretar que en la situación de escalada de todos los recorridos “libres” que estamos analizando requiere de esa memoria espacial para una buena ejecución del recorrido.
- La C4 según Scrivener y Reader (2022) coincide con el área de Brodmann 1, 2, 3 y 4 y se le asocia al sentido del cuerpo, sentido de los dedos y el movimiento de las manos, además también estas áreas se refieren a la funcionalidad de las extremidades, secuencias musculares y movimientos oculares, por lo que podemos interpretar que para el recorrido “libre” se requiere buen sentido del esquema corporal, y del buen sentido y movimiento de las manos para el buen agarre en las presas, además se precisa del movimiento ocular para buscar bien las presas y así colocar las extremidades correctamente para la ejecución del recorrido.
- FC6 según Scrivener y Reader (2022) está situado en el área de Brodmann 6, asociado a funciones de planificación de la acción, iniciar movimientos, movimientos imaginados, la memoria de trabajo y guía ocular. Podríamos decir

que a medida que consumaban los intentos “libres” y que no precisaban de memorizar recorridos, sí que se podríamos decir que guarda relación con la ejecución del recorrido ya que se ve precisa del inicio de los movimientos y la planificación de la acción, además de ojear nuestro recorrido para guiar nuestros movimientos hacia las presas.

- CP6 según Scrivener y Reader (2022) está situado en el área de Brodmann 39, es el giro angular que está relacionado con el enfoque espacial, la teoría de la mente, el control ejecutivo y las secuencias de acción, por ello podríamos decir que en los primeros intentos sí que guarda relación, ya que a medida que se van realizando los intentos (libre 1, libre 2, libre 3 y libre 4) se produce una adaptación en la cual se genera más control espacial y más control ejecutivo, en el cual se procesa mejor las secuencias de acción que se van a realizar, por lo que disminuye Beta.

## 6 CONCLUSIÓN

Para concluir este estudio, podríamos decir que los datos obtenidos tienen su lógica ya que a medida que van sucediendo los intentos se produce una disminución del poder espectral, por lo que podríamos decir que hay una adaptación, ya que en los primeros intentos de “libre 1” da más potente la frecuencia de las ondas Theta, Alfa y Beta, lo que nos indicaría que hay mayor carga cognitiva, y que a lo largo que se van realizando más intentos esa carga cognitiva disminuye. En cuanto a los canales del cuero cabelludo, también coinciden en esto, ya que los que más destacan son los de la parte derecha dónde el área motora y la sensación espacial tiene un mayor implicación y gracias a la repetición de los intentos esa implicación se va relajando, por lo que se podría decir que sí que tiene sentido que a mayor número de repeticiones mayores beneficios en la práctica y en el aprendizaje de nuevas habilidades ya que vemos como nuestro cuerpo se va adaptando a la realización de esos ejercicios.

Todos los intentos de recorridos “libres” han mostrado cambios en la actividad cerebral durante su ejecución, gracias a EEG hemos podido estudiar esas diferencias que se producen en el cerebro y relacionarlas con el movimiento, además del efecto de la escalada sobre las funciones cognitivas. Son necesarios más estudios para profundizar en la compleja relación de la actividad cerebral, cognición y movimiento humano, sin embargo con este pequeño estudio se podría decir que las áreas cerebrales más activas durante la escalada fueron aquellas relacionadas con la atención, la planificación motora y la memoria espacial.

También es interesante mencionar que en algunos participantes se evidenció una mayor actividad en las áreas cerebrales involucradas en el control motor y el equilibrio, lo cual sugiere que la escalada es una actividad que requiere un alto grado de coordinación y control del cuerpo.

La escalada es una actividad física que conlleva una importante actividad cerebral. Los resultados obtenidos en este estudio permiten una mejor comprensión de los procesos cognitivos y motores implicados en la escalada y pueden ser útiles para el desarrollo de programas de entrenamiento y mejora de habilidades en escalada en el ámbito educativo, la inclusión de esta actividad en el centro resultaría muy beneficiosa en todos los aspectos dado a la variabilidad de ejercicios con los que podemos jugar para favorecer el desarrollo cognitivo y motor del alumnado.

## BIBLIOGRAFIA

- Abhang Priyanka, A. (2016). Technical Aspects of Brain Rhythms and Speech Parameters. Abhang, P. A., Gawali, S.C. (Eds). Introduction to EEG-and speech-based emotion recognition, 51-79. doi:10.1016/B978-0-12-804490-2.00003-8
- Arribas, H. (2008). El pensamiento y la biografía del profesorado de Actividad Física en el Medio Natural: un estudio multicaso en la formación universitaria orientado a la comprensión de modelos formativos. Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid.
- Babiloni, C., Barry, R. J., Başar, E., Blinowska, K. J., Cichocki, A., Drinkenburg, W. H. I. M., Klimesch, W., Knight, R. T., Lopes da Silva, F., Nunez, P., Oostenveld, R., Jeong, J., Pascual-Marqui, R., Valdes-Sosa, P., & 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 : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 131(1), 285–307.
- Beas Jimenez, M. y Blanes Rubia, M. (2010). Posibilidades pedagógicas de la escalada en rocódromo. *Espiral: Cuadernos del profesorado (Revista Digital)*, Vol. 3, nº 5 (pp. 59-72)
- Carnine, D. (1995). Trustworthiness, useability, and accessibility of educational research. *Journal of Behavioral Education*, 5, 251-258.
- 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.
- García-Monge, A., Rodríguez-Navarro, H., & Marbán, J. (2023). Potentialities and limitations of the use of EEG devices in educational contexts. [Potencialidades y limitaciones de la usabilidad de dispositivos EEG en contextos educativos]. *Comunicar*, 76.
- Herweg, N. A., Solomon, E. A. y Kahana, M. J. (2020). Oscilaciones theta en la memoria humana. *Tendencias en las ciencias cognitivas*, 24(3), 208-227.
- Jones, S. R., Kerr, C. E., Wan, Q., Pritchett, D. L., Hämäläinen, M. y Moore, C. I. (2010). La atención espacial señalada impulsa la modulación funcionalmente relevante del ritmo mu en la corteza somatosensorial primaria. *J. Neurosci.* 30, 13760–13765.
- Raghavachari, S., Lisman, J. E., Tully, M., Madsen, J. R., Bromfield, E. B. y Kahana, M. J. (2006). Oscilaciones theta en la corteza humana durante una tarea de memoria de trabajo: evidencia de generadores locales. *Revista de neurofisiología*, 95(3), 1630-1638.
- Ramos, O. R. (1999). La escalada en el contexto escolar. *Lecturas, Educación Física y Deportes. Revista digital*, 4.

Santolaya, M., Rubio, V. y Ruiz-Barquín, R. (2022). Lista de verificación de las variables psicológicas involucradas en la escalada. Operacionalizar el conocimiento de los expertos. *Revista de Psicología del Deporte*, 31(4), 152-166.

Skilopo (2023). Brodman Atlas.

Torres, F. Sánchez, C., & Vais, 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.