

Universidad Miguel Hernández de Elche

**MASTER UNIVERSITARIO EN
ROBÓTICA**



“Estudio de la aplicación de tDCS para mejora
cognitiva”

Trabajo de Fin de Máster

2017

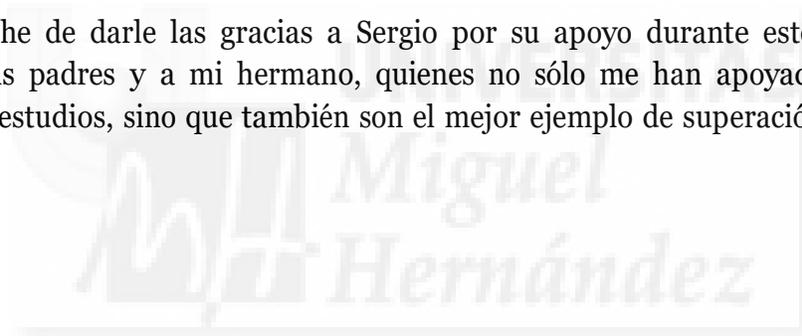
Autor: Silvia Moreno Serrano
Tutor/es: José María Azorín Poveda

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi tutor, José María Azorín, el haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto. También he de agradecer toda la ayuda recibida por su parte y por la del grupo de investigación Brain-Machine Interface Systems Lab de la Universidad Miguel Hernández de Elche, en especial a Marisol Rodríguez.

Por otra parte, agradezco a los 30 voluntarios su participación durante el proceso de experimentación, ya que sin su ayuda y su tiempo no hubiera sido posible llevar a cabo este estudio.

Por último, he de darle las gracias a Sergio por su apoyo durante este periodo y por su puesto, a mis padres y a mi hermano, quienes no sólo me han apoyado económicamente durante mis estudios, sino que también son el mejor ejemplo de superación que puedo tener.



Resumen

La estimulación transcraneal de corriente continua (tDCS, transcranial Direct Current Stimulation), una forma no invasiva de estimulación cerebral, ha sido investigada en diversos estudios como un método para incrementar la excitabilidad cortical en la corteza dorsolateral prefrontal (DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex) y mejorar la memoria de trabajo o la atención. El objetivo de este estudio es examinar los efectos producidos por la tDCS en anteriores investigaciones y, a través de la experimentación realizada, en tres procesos cognitivos fundamentales que median en funciones de alto nivel como la toma de decisiones o la resolución de problemas: la atención, la memoria y la lógica. Debido a la importancia de dichos procesos, la utilización de la tDCS es clave para desarrollar nuevos tratamientos para su uso en poblaciones clínicas y mejorar de esta forma las habilidades cognitivas de dichos pacientes. Por otra parte, también es importante destacar su posible uso en adultos sanos con la finalidad de acelerar el aprendizaje o mejorar el rendimiento en entornos militares o educativos. Este trabajo realiza una comparación entre los resultados obtenidos según el tipo de estimulación aplicada con la finalidad de demostrar si la tDCS favorece la concentración y puede mejorar las pruebas de aptitud al colocar el ánodo en la posición Fp1 del sistema de posicionamiento EEG 10-20 y suministrando distintas intensidades.

Palabras clave: tDCS, neuromodulación, tES, DLPFC, atención, memoria de trabajo, lógica.

Abstract

Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS), a non-invasive brain stimulation method, has been researched in different studies as a way to increase the cortical excitability at the Dorsolateral Prefrontal Cortex (DLPFC), with the aim of improving working memory or attention. The objective of this work is to analyze the tDCS effects in previous investigations and, through an experimentation, in three cognitive processes related to high level functions, as decision making or problem resolution: attention, memory and logic. Due to the importance of these processes, the use of tDCS is a key to develop new treatments for clinical population and to improve their cognitive abilities. It is also important the use of this technical in healthy adults to accelerate learning or improve performance in military or educational environments. In this work, the obtained results according to the tDCS strategies used are compared to demonstrate that tDCS favors concentration and proficiency test when the anode is located in Fp1 position (EEG International System 10-20) and providing different intensities.

Keywords: tDCS, neuromodulation, tES, DLPFC, attention, working memory, logic.

Contenido

Agradecimientos	III
Resumen	v
Lista de figuras	x
Lista de tablas	xvii
1. Introducción	1
2. Estado del arte	4
3. Metodología	19
3.1. Memoria de trabajo	19
3.2. Córtex dorsolateral prefrontal	21
3.3. Estimulación eléctrica transcraneal	24
3.3.1. Técnicas de estimulación transcraneal eléctrica	24
3.3.2. Estimulación eléctrica transcraneal continua (tDCS)	27
3.3.3. Efectos adversos asociados a la tDCS.....	30
3.4. Actividades de entrenamiento cognitivo.....	30
4. Procedimiento	36
4.1. Sujetos	36
4.2. Material	36
4.3. Proceso de Neuroestimulación	38
5. Análisis estadístico	44
5.1. Planteamiento del problema	44
5.2. ANOVA de un factor en SPSS.....	46
6. Análisis de los resultados	51
6.1. Respuestas correctas.....	51
6.2. Tiempos de reacción (TR)	53
7. Conclusión	61

A. Anexo: Resultados de las actividades	63
B. Anexo: Informes estadísticos IBM SPSS	69
Bibliografía	82



Lista de Figuras

3-1. Esquema del modelo de memoria de trabajo de Baddeley y Hitch [4].	20
3-2. Localización del cortex prefrontal dorsolateral	22
3-3. Áreas de Brodmann que componen el DLPFC	22
3-4. Esquema del proceso de estimulación transcraneal continua [25]	24
3-5. Formas de onda de las TES	25
3-6. Diferenciación entre la tDCS anódica y catódica [27]	27
3-7. Influencia de la tDCS anódica en la plasticidad neuronal.	29
3-8. Influencia de la tDCS catódica en la plasticidad neuronal.	29
3-9. Tarea de atención nº 1.	31
3-10. Tarea de atención nº 2.	31
3-11. Tarea de atención nº 3.	32
3-12. Tarea de atención nº 4.	32
3-13. Tarea de memoria nº 1.	33
3-14. Tarea de memoria nº 2.	33
3-15. Tarea de memoria nº 3.	33
3-16. Tarea de memoria nº 4.	34
3-17. Tarea de lógica nº 1.	34
3-18. Tarea de lógica nº 2.	34
3-19. Tarea de lógica nº 3.	35
3-20. Tarea de lógica nº 4.	35
4-1. Dispositivo de neuroestimulación tDCS StarStim 8 inalámbrico de la compañía Neuroelectrics.	37
4-2. Electrodo PISTIM de la compañía Neuroelectrics.	37
4-3. Casco de neopreno (StarStim8) de la compañía Neuroelectrics.	38
4-4. Referencia EARCLIP y electrodos de unión (StarStim8) de la compañía Neuroelectrics.	38
4-5. Software NIC, Interfaz de usuario intuitiva (StarStim8) de la compañía Neuroelectrics.	39
4-6. Esquema del proceso de neuroestimulación tDCS.	39
4-7. Diseño del protocolo de estimulación para máxima intensidad	40
4-8. EDiseño del protocolo de estimulación para mínima intensidad.	40
4-9. Diseño del protocolo de estimulación para estimulación de tipo sham.	40

4-10. Esquema del posicionamiento del casco de neopreno y los electrodos.	42
4-11. Ilustración de la forma de uso del dispositivo neuroestimulador y el casco. . .	42
4-12. Comprobación de las impedancias.	43
4-13. Usuario realizando las actividades de entrenamiento cognitivo mientras está siendo estimulado.....	43
4-14. Proceso de estimulación. Forma de onda.	43
5-1. Definición de las variables.	47
5-2. Proceso de etiquetado de los grupos.	47
5-3. Inserción de la base de datos.	48
5-4. Cuadro de diálogo principal para la realización de ANOVAs de un camino. .	48
5-5. Cuadro de diálogo para la realización de los contrastes	49
5-6. Esquema del contraste entre el grupo placebo y los grupos a los que se les suministran dosis altas y bajas [12].....	49
5-7. Esquema del contraste entre una dosis alta y otra baja [12].....	50
5-8. Opciones para la realización de ANOVAs de un camino.	50
6-1. Gráfica de barras de error para los primeros valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.	54
6-2. Gráfica de barras de error para los segundos valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.	55
6-3. Gráfica de barras de error para los primeros valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.	55
6-4. Gráfica de barras de error para los segundos valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.	56
6-5. Gráfica de barras de error para los primeros valores de tiempos de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.	56
6-6. Gráfica de barras de error para los segundos valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.	57
6-7. Gráfica de barras de error para los primeros valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.	57
6-8. Gráfica de barras de error para los segundos valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.	58
6-9. Gráfica de barras de error para los primeros valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.	58
6-10. Gráfica de barras de error para los segundos valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.	59
6-11. Gráfica de barras de error para los primeros valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.	59
6-12. Gráfica de barras de error para los segundos valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.	60

A-1. Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de atención realizas por primera vez	63
A-2. Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de atención realizas por segunda vez	64
A-3. Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de memoria realizas por primera vez.....	65
A-4. Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de memoria realizas por segunda vez	66
A-5. Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de lógica realizas por primera vez.....	67
A-6. Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de lógica realizas por segunda vez	68
B-1. Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.....	69
B-2. Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.	69
B-3. ANOVA de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez	70
B-4. Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.	70
B-5. Coeficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.	70
B-6. Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.	71
B-7. Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.	71
B-8. Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.	71
B-9. ANOVA de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.	72
B-10 Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.	72
B-11 Coeficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.	72
B-12 Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.	73

B-13 Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.	73
B-14 Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.	73
B-15 ANOVA de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.	74
B-16 Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.	74
B-17 Coefficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.	74
B-18 Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.	75
B-19 Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.	75
B-20 Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.	75
B-21 ANOVA de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.	76
B-22 Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.	76
B-23 Coefficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.	76
B-24 Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.	77
B-25 Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.	77
B-26 Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.	77
B-27 ANOVA de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.	78
B-28 Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.	78
B-29 Coefficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.	78
B-30 Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.	79
B-31 Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.	79

B-32 Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.	79
B-33 ANOVA de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.....	80
B-34 Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.	80
B-35 Coefficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.....	80
B-36 Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.	81



Lista de tablas

3-1. Resumen de las técnicas de estimulación cerebral eléctrica no invasiva: tDCS, tACS, tPCS y tRNS.	26
6-1. ANOVAs según el tipo de tarea realizada	52
6-2. Prueba de contrastes. Comparación entre estimulación sham y tDCS	53
6-3. Prueba de contrastes. Comparación entre tDCS a 150 μ A y tDCS a 300 μ A.	54



1. Introducción

La estimulación eléctrica para el tratamiento médico no constituye una nueva terapia puesto que ha sido utilizada como tratamiento para diversas enfermedades durante siglos. Los primeros escritos que evidenciaron este tratamiento llegaron en los tiempos de la antigua Grecia, cuando Platón y Aristóteles describieron la habilidad del pez torpedo para generar efectos curativos a través de descargas eléctricas [29]. Sin embargo, la primera evidencia de estimulación transcraneal eléctrica aparece en la época del Imperio Romano cuando Scribonius Largus describió cómo colocar dicho pez vivo sobre el cuero cabelludo para reducir el dolor de cabeza [26].

En la actualidad, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 15 % de la población mundial presenta algún tipo de discapacidad. La estimulación transcraneal de corriente continua (tDCS, transcranial Direct Current Stimulation) constituye un método no invasivo, de bajo coste y fácil de utilizar capaz de modificar la excitabilidad cerebral [1] y por tanto, capaz de mejorar la vida de estas personas.

Los efectos de la tDCS se basan en los principios de plasticidad neuronal y neuromodulación. Las células nerviosas presentan propiedades electroquímicas por las cuales es posible disminuir o aumentar su excitabilidad y de esta manera cambiar su comportamiento. Dicho de otra manera, cuando las neuronas perciben un tipo de corriente lo suficientemente elevada como para hiperpolarizar sus dendritas, se produce un efecto de despolarización en el soma, dando lugar a un aumento de la excitación o la plasticidad. Dicha excitación tiene lugar al localizar un electrodo como ánodo y otro como cátodo sobre el cuero cabelludo. Se ha de suministrar una intensidad de corriente a partir de un dispositivo de neuroestimulación lo suficientemente elevada durante un tiempo óptimo cuando el sujeto en cuestión realiza alguna actividad asociada a la zona del cerebro donde se encuentra el ánodo (estimulación anódica). La tDCS se basa en la utilización de dos electrodos, ánodo y cátodo, que dispuestos en diferentes montajes, crean un flujo de corriente eléctrica de baja intensidad que llega a una área específica de la corteza cerebral. Por tanto, la modulación ocurre de acuerdo a la polaridad: la estimulación anódica induce la despolarización de la membrana neuronal, lo cual facilita el disparo neuronal mientras que la estimulación catódica tiene el efecto opuesto debido a la hiperpolarización de la membrana neuronal. Por otra parte, otros parámetros que han de tenerse en cuenta son la densidad de corriente utilizada, la duración de la neuroestimulación, la repetitividad de las tareas y los tiempos de descanso entre sesiones.

Durante los últimos años se han llevado a cabo diversas investigaciones en relación a esta técnica, no sólo en casos relacionados con la rehabilitación motora [22], sino que también está tomando importancia su intervención en procesos que inducen a una mejora cognitiva. La tDCS constituye un método para incrementar la excitabilidad cortical en la corteza dorsolateral prefrontal (DLPFC, dorsolateral prefrontal cortex) y mejorar de esta manera la memoria de trabajo o la atención.

El objetivo de este estudio es examinar los efectos producidos por la tDCS anódica en tres procesos cognitivos fundamentales que median en funciones de alto nivel como la toma de decisiones o la resolución de problemas: la atención, la memoria y la lógica. Debido a la importancia de dichos procesos, la utilización de la tDCS es importante para desarrollar nuevos tratamientos para su uso en poblaciones clínicas y mejorar de esta forma las habilidades cognitivas de dichos pacientes. Por otra parte, también es importante destacar su posible utilización en adultos sanos con la finalidad de acelerar el aprendizaje o mejorar el rendimiento en entornos educativos.

En este experimento se ha empleado el equipo de neuroestimulación StarStim 8 y los electrodos PISTIM de la compañía Neuroelectronics en las posiciones Fp1 y Cz del Sistema Internacional 10-20 EEG, a diferencia de la mayoría de los estudios que le anteceden, los cuales han utilizado la posición F3 del Sistema Internacional 10-20 EEG. Por otro lado, las pruebas se han planteado como un conjunto de juegos o test de habilidades en el que 30 sujetos sanos han participado en cuatro diferentes retos relacionados con la memoria, el nivel de atención y la capacidad de análisis, realizando dichas actividades en dos ocasiones. De estos 30 usuarios anteriormente mencionados, a 10 se les aplicó estimulación Sham (placebo), a otros 10, tDCS anódica con $179 \mu\text{A}$ a los últimos 10, tDCS anódica con $300 \mu\text{A}$, durante 20 minutos mientras participaban en los retos anteriormente mencionados. Al finalizar cada reto, se obtuvieron parámetros relacionados con la precisión y el tiempo de reacción de las respuestas de cada individuo. De esta manera, fue posible hacer una comparación entre los resultados obtenidos según el tipo de estimulación aplicada con la finalidad de demostrar si la tDCS anódica aplicada sobre el DLPFC izquierdo favorece la concentración, la memoria y puede mejorar las pruebas de aptitud.

En el presente documento, en primer lugar, se realiza una descripción sobre investigaciones previas relacionadas con este estudio con el objetivo de probar nuevas estrategias de estimulación y plantear mejoras. A continuación, en el apartado de metodología, se explica el término de memoria de trabajo y su relación con el córtex dorsolateral prefrontal. Asimismo, se presentan las distintas técnicas de estimulación transcraneal eléctrica, prestando especial atención sobre la tDCS. De la misma manera, se describen las actividades de entrenamiento cognitivo que los usuarios han realizado durante la experimentación. Por otra

parte, en cuanto al procedimiento, se muestra el material utilizado y el proceso de neuroestimulación, incluyendo la descripción de los sujetos que han participado en las pruebas, la colocación del equipo de tDCS y la utilización del software. En relación al análisis estadístico, se plantea el problema matemático y se explica como realizar ANOVAs en el programa SPSS. Por último, se realiza un análisis de los resultados atendiendo a las respuestas correctas y a los tiempos de reacción, y se presentan las conclusiones. En este documento también se adjuntan los Anexos A y B, donde encontramos la base de datos de los resultados del test de habilidades y los informes obtenidos a través del programa SPSS respectivamente.



2. Estado del arte

A continuación, se presenta un breve resumen cronológico sobre algunos estudios que se han realizado respecto a la tDCS en relación a los procesos cognitivos en los que se basa este estudio. Para ello, se ha atendido a la polaridad utilizada, a la posición de los electrodos, a la duración de la estimulación, a la repetitividad de las sesiones, al número de sujetos que han participado en ellas así como a la densidad de corriente aplicada:

- *“Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory [13]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Catódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo y corteza primaria motora (M1).
 - Posición del cátodo: Área supraorbital contralateral.
 - Duración de la estimulación: 10 minutos.
 - Número de sesiones: 2 sesiones con una separación de una hora (primero tDCS del DLPFC izquierdo y luego Sham). Tras 6 meses, se realizaron otras 2 sesiones de control (tDCS anódica de la corteza primaria motora, tDCS catódica del DLPFC o estimulación Sham de manera aleatoria).
 - Número de sujetos: 15 sujetos sanos.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029.
 - Efectos: La tDCS anódica en el DLPFC conduce a una mejora de la memoria de trabajo respecto a la estimulación Sham de la misma área. La estimulación fue llevada a cabo durante 10 minutos, 5 minutos sin realizar ningún test y 5 minutos en los que los sujetos realizaron una prueba basada en la aparición de letras (“3-back letter working memory test”); en una pantalla aparecen letras cada 2 s durante 30 ms y el sujeto ha de recordar si la letra que acaba de aparecer era la misma letra que se había presentado 3 letras atrás. El método empleado para evaluar los efectos fue utilizar los resultados relacionados con el número de respuestas correctas, respuestas erróneas y el tiempo de respuesta que se obtiene cuando utilizamos estimulación activa y comparándolos con los resultados obtenidos durante la estimulación Sham. Esta comparación se llevó a cabo de manera estadística utilizando el programa SAS statistical, el test Shapiro-Wilk y haciendo un análisis de la varianza (ANOVA).

-
- *“Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson’s disease [6]”.*
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Catódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3, Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG) y corteza primaria motora (M1).
 - Posición del cátodo: Área supraorbital derecha.
 - Duración de la estimulación: 20 minutos.
 - Número de sesiones: 3 sesiones de estimulación anódica DLPFC, M1 o Sham. 1 sesión cada dos días.
 - Número de sujetos: 18 sujetos clínicos. 9 sujetos reciben estimulación de 1 mA y otros 9 de 2 mA.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029 o 0.057.
 - Efectos: Se produce una mejora en la memoria de trabajo en pacientes de Parkinson tras aplicar tDCS anódica en el DLPFC con 2 mA pero no con 1 mA. La estimulación fue llevada a cabo durante 20 minutos, 15 minutos sin realizar ningún test y 5 minutos en los que los sujetos realizaron la prueba anteriormente mencionada basada en la aparición de letras (“3-back letter working memory test”). En esta ocasión van apareciendo en una pantalla letras cada 2 s durante 300 ms y el sujeto ha de recordar si la letra que acaba de aparecer era la misma que se había presentado 3 letras atrás. El método empleado para evaluar los efectos fue también utilizar los resultados relacionados con el número de respuestas correctas, respuestas erróneas y el tiempo de respuesta que se obtiene cuando utilizamos estimulación activa y comparándolos con los resultados obtenidos durante la estimulación Sham. Esta comparación se llevó a cabo de manera estadística utilizando el programa Stata statistical. Primero se calculó la diferencia entre los resultados obtenidos entre el post-tratamiento y el pre-tratamiento para cada condición de estimulación, a continuación, se realizó un análisis bidireccional de la varianza con el fin de probar si había un efecto global según la condición de estimulación y el tipo de experimento (1 mA o 2 mA). Después se realizaron ANOVAs por separado para cada tipo de experimento para comprobar si lo que realmente afecta durante estas pruebas es el tipo de estimulación o el nivel de intensidad. Finalmente se usó la corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples y se realizó un ANOVA para identificar el efecto del aprendizaje durante las 3 distintas sesiones.

 - *“Go-no-go task performance improvement after anodal transcranial DC stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex in major depression [7]”.*
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.

- Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG) y córtex occipital.
 - Posición del cátodo: Área supraorbital derecha.
 - Duración de la estimulación: 20 minutos.
 - Número de sesiones: 1 sesión.
 - Número de sujetos: 26 sujetos clínicos. Dos grupos, el primero formado por 12 sujetos y el segundo por 7, a los que se les aplica estimulación activa (estimulación en el DLPFC izquierdo y córtex occipital) y un tercer grupo compuesto por 7 sujetos a los que se les aplica estimulación Sham.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.057.
 - Efectos: La estimulación anódica del DLPFC izquierdo produce mejoras en tareas afectivas de acierto/fallo (“go-no-go tasks”, tareas que muestran imágenes positivas y negativas que han de ser clasificadas por los sujetos). El DLPFC forma parte de la red neuronal que modula el estado anímico, por lo que los resultados podrían guardar relación con la mejora de dicho estado. Sin embargo, no es visible ninguna mejora de la depresión en estas tareas 10 días después de haberse llevado a cabo el tratamiento con tDCS. Los pacientes realizaron las tareas de clasificación antes de la estimulación y justo después de la estimulación. El método empleado para evaluar los resultados de este estudio se basó en el número de respuestas correctas, erróneas y en el tiempo de reacción. Con ayuda del programa Statistica 6.1 se realizaron las ANOVAs dependientes de cada variable anteriormente mencionada y a continuación, se estudió la relación entre tiempo de reacción y grupo (tipo de estimulación) y se hicieron comparaciones usando un test Tukey HSD. Finalmente, se calculó la correlación entre los cambios producidos tras aplicar tDCS al DLPFC izquierdo y los cambios anímicos presentes 10 días después de haber aplicado el tratamiento.
- “Cerebellar transcranial direct current stimulation impairs the practice-dependent proficiency increase in working memory [11]”.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Catódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: Cerebelo (2 cm por debajo del inion) y DLPFC (entre Fp1 y F3 para el lado izquierdo y entre Fp2 y F4 para el lado derecho de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Músculo deltoides derecho.
 - Duración de la estimulación: 15 minutos.
 - Número de sesiones: 6 sesiones en total, 3 sesiones (tDCS anódica, catódica y sham), una por semana para tDCS del DLPFC y tDCS del cerebelo con una separación de un mes.

-
- Número de sujetos: 17 sujetos sanos, 13 de ellos se sometieron a la tarea relacionada con la memoria de trabajo antes y después (primero cinco minutos después y posteriormente treinta y cinco) de aplicar tDCS sobre el cerebelo. 5 de estos 13 sujetos llevaron a cabo la misma tarea un mes después antes y después de aplicar tDCS sobre el DLPFC. A los últimos 4 sujetos se les aplicó un protocolo de potenciales evocados visuales (VEP, Visual Evoked Potentials) puesto que la tDCS sobre la corteza occipital provoca cambios importantes en dichos potenciales que debemos no tener en cuenta.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.095.
 - Efectos: Con el fin de analizar los efectos de la tDCS, los sujetos realizaron una tarea de tipo Sternberg previamente (como entrenamiento) y posteriormente a la estimulación. De estas tareas se obtuvieron datos relacionados con la exactitud y el tiempo de reacción en las respuestas. Las tDCS anódica y catódica sobre el cerebelo no contribuyen al decrecimiento del tiempo de reacción inducido al repetir una tarea sin aplicar tDCS. Este efecto se vuelve evidente 35 minutos después de haber finalizado la tDCS del cerebelo. En cuanto a la tDCS aplicada sobre el DLPFC, la estimulación catódica provoca un evidente decrecimiento del tiempo de reacción 5 minutos después de haber finalizado, mientras que la estimulación anódica no presenta ningún efecto. Para llegar a estas conclusiones, fue empleado un método estadístico basado en ANOVAs de cuatro caminos a través del programa Statistica 5.5. Previamente se aplicó una prueba de rango no paramétrica de Wilcoxon a los datos de tiempo de reacción obtenidos durante la tDCS del cerebelo. También se llevó a cabo una ANOVA de dos caminos sobre el tipo de estimulación y el sitio dónde se estimuló tomando como variable el tiempo de reacción y se calculó la regresión lineal de estos mismos datos. Por último, el efecto de los VEPs fue evaluado a través de una ANOVA de tres caminos con valores de “estimulación” (anódica y catódica), “tiempo” (entrenamiento, 5 minutos después y 35 minutos después) y “frecuencia” (30 y 15). Los valores fueron expresados en forma de media \pm desviación estándar.
- *“Improving working memory: Exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex [19]”.*
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tRNS (transcranial Random Noise)/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Supraórbita contralateral.
 - Duración de la estimulación: 10 minutos.

- Número de sesiones: 3 sesiones en total (tDCS anódica, tRNS y tDCS Sham).
 - Número de sujetos: 10 sujetos sanos.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029.
 - Efectos: Los efectos producidos por estas estimulaciones fueron evaluados gracias a tareas CogState (“One card learning”, “1-back working memory” y “2-back working memory”) previamente y posteriormente a la estimulación. Durante la estimulación los sujetos también participaron en 20 retos relacionados con tareas de memoria de tipo Sternberg. Los resultados obtenidos a partir de ambos test fueron analizados con ayuda del programa SPSS Statistics 17.0. Se llevó a cabo una ANOVA 2 x 3 de medidas repetidas en los valores de velocidad y exactitud obtenidos para cada tarea a través del test CogState (teniendo en cuenta si los valores fueron tomados antes o después de la estimulación y el tipo de estimulación) y se utilizó la corrección de Bonferroni. El mismo proceso fue repetido con los resultados del test Sternberg teniendo en cuenta esta vez los 5 primeros minutos de estimulación y los últimos 5, así como la clase de estimulación. Las conclusiones a las que se llegaron en base a este análisis fueron las siguientes: Los resultados no revelaron ningún efecto significativo cuando se aplica cualquier tipo de estimulación anteriormente mencionada a los sujetos en las tareas CogState “One card learning” y “1-back working memory” y tampoco durante el test Sternberg, sin embargo, la tDCS anódica mejoró la velocidad (tiempo de reacción) en la tarea “2-back working memory” de CogState.
- *“Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex [1]”.*
- Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Área supraorbital contralateral.
 - Duración de la estimulación: 10 minutos.
 - Número de sesiones: 3 sesiones (tDCS activa aplicada durante la realización de la tarea, tDCS Sham aplicada durante la realización de la tarea y tDCS activa aplicada en reposo, antes de comenzar la tarea) con una separación de una semana.
 - Número de sujetos: 10 sujetos sanos.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029.
 - Efectos: Con el fin de analizar los efectos producidos durante estas estimulaciones, los sujetos llevaron a cabo tareas relacionadas con la memorización de dígitos de tipo “n-back” durante la tDCS Sham, la tDCS anódica y posteriormente a ésta.

Los resultados obtenidos tras realizar estos test fueron evaluados con el programa SPSS 16.0. En primer lugar, se realizó un ANOVA 2 x 3 de medidas repetidas y por último se utilizó un test post hoc para encontrar resultados significantes. La conclusión a la que se llegó fue que la tDCS anódica aplicada durante la realización de una tarea relacionada con la memoria de trabajo mejora los efectos de esta misma.

- *“Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence [32]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Catódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Mastoides izquierdo.
 - Duración de la estimulación: 15 minutos.
 - Número de sesiones: 2 sesiones en total, una para aplicar tDCS anódica y otra tDCS catódica con una separación de un día. Antes de la segunda estimulación se aplica tDCS Sham con el fin de eliminar los efectos del anterior proceso.
 - Número de sujetos: 32 sujetos sanos, de los cuales a 16 se les aplicó tDCS y a otros 16 no se les aplicó ningún tipo de estímulo, solo se investigó el efecto de la repetición de tareas en memoria de trabajo (grupo de control).
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029.
 - Efectos: El método seguido para evaluar los efectos de esta investigación fue aplicar la estimulación antes de realizar una tarea “2-back letter working memory (WM)” al mismo tiempo que se guarda la señal EEG correspondiente. El análisis de los datos obtenidos y el preprocesamiento de la señal EEG se llevó a cabo con el programa Brain Vision Analyzer 2.0. Se observó una mejora de la memoria de trabajo y una amplificación de la oscilación en las bandas theta y alfa tras aplicar tDCS anódica. Por otra parte, al aplicar tDCS catódica empeoró la memoria de trabajo y disminuyó la potencia oscilatoria en las bandas anteriormente mencionadas.
- *“Investigating the role of current strength in tDCS modulation of working memory performance in healthy controls [31]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-10 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Área supraorbital contralateral.

- Duración de la estimulación: 20 minutos.
 - Número de sesiones: 3 sesiones en total, una para cada tipo de estimulación (tDCS anódica a 1 mA, tDCS anódica a 2 mA y tDCS Sham) con una separación de una semana entre ellas.
 - Número de sujetos: 14 sujetos sanos.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029 y 0.057.
 - Efectos: Se comparó la tDCS anódica de 1 mA con la de 2 mA y con la tDCS Sham. Los sujetos recibieron estimulación durante 20 minutos y en los últimos 10 minutos (divididos en dos periodos de tiempo, 10-15 y 15-20 minutos) realizaron una tarea “3-back WM”. Al finalizar la estimulación, los individuos llevaron a cabo un test Sternberg durante 15 minutos. A continuación, se analizaron de manera estadística los datos relacionados con la exactitud en las respuestas y el tiempo de reacción obtenidos en ambas pruebas utilizando el programa SPSS 17.0. Se realizó un ANOVA 3 x 2 de las medidas repetidas en los datos anteriormente mencionados de la prueba “3-back WM” atendiendo al tipo de corriente (Sham, 1, 2 mA) y al tiempo (10-15 y 15-20 minutos dentro del tiempo de estimulación activa) y se llevó a cabo un test pos hoc. Por otra parte, con el fin de efectuar un análisis sobre los efectos de la corriente tras el periodo de estimulación se realizó un ANOVA de medidas repetidas de un camino con los datos de exactitud y tiempo de reacción obtenidos en el test Sternberg. La conclusión a la que se llegó en base a los resultados es que estos hallazgos apoyan parcialmente la hipótesis de que la tDCS anódica mejora la memoria de trabajo de manera dependiente al tiempo y a la intensidad aplicada. El test post hoc reveló que los sujetos reaccionaron con mayor rapidez y exactitud cuando la estimulación fue de 2 mA de intensidad durante los últimos 5 minutos en comparación con la tDCS Sham.
- *“Impact of tDCS on performance and learning of target detection: Interaction with stimulus characteristics and experimental design [10]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica.
 - Posición del ánodo: Hueso esfenoides derecho (posición F10 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-10 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Parte superior del brazo izquierdo.
 - Duración de la estimulación: 30 minutos.
 - Número de sesiones: 3 sesiones en total (la primera de entrenamiento, la segunda durante la estimulación y la tercera una hora después de la estimulación).
 - Número de sujetos: En el primer experimento participaron 16 sujetos sanos (13 recibieron 2 mA de tDCS anódica y 23, 0.1 mA de esta misma estimulación)

mientras que en el segundo experimento participaron 19 (9 recibieron 2 mA de tDCS anódica y 10, 0.1 mA de esta misma estimulación).

- Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.009 y 0.181.
 - Efectos: Para determinar los efectos producidos por este experimento, se utilizó un software (DARWARS virtual reality training environment) parecido a los videojuegos modernos con el fin de detectar objetos introducidos en imágenes complejas o ambientes virtuales. Los participantes primero entrenaron con el programa anteriormente mencionado y posteriormente volvieron a efectuar la prueba recibiendo estimulación. Tras una hora, volvieron a la realizar la prueba, esta vez sin estimulación. Por otra parte, el análisis de los resultados fue llevado a cabo de manera estadística realizando un ANOVA de medidas repetidas de tipo 2 x 2 x 3, comparando el experimento 1 con el experimento 2, los niveles de corriente de la tDCS anódica aplicada (0.1 mA y 2 mA) y el tiempo empleado (base de datos de entrenamientos, datos durante la estimulación y datos obtenidos después de la estimulación), posteriormente se utilizó un ajuste de Bonferroni. En conclusión, La tDCS anódica produce un incremento de la exactitud en la clasificación de imágenes y detección de objetos ocultos tras haber seguido un proceso de entrenamiento. Los participantes que recibieron 2 mA fueron más exactos en sus respuestas que aquellos que recibieron 0.1 mA, por lo que existe una correlación significativa entre los cambios de comportamiento con aprendizaje y la densidad de corriente aplicada.
- *“Oppositional transcranial direct current stimulation (tDCS) of parietal substrates of attention during encoding modulates episodic memory[18]”.*
 - Polaridad: tDCS Anódica.
 - Posición del ánodo: Lóbulo parietal superior derecho (posición P6 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Lóbulo parietal inferior derecho (posición P3 de acuerdo con el sistema internacional 10/20 de posicionamiento EEG).
 - Duración de la estimulación: 10 minutos.
 - Número de sesiones: 2 sesiones en total, con una separación de dos semanas.
 - Número de sujetos: 24 sujetos sanos, 12 reciben estimulación y otros 12 forman el grupo de control.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2):0.040.
 - Efectos: Cada sesión empieza con 10 minutos de tDCS anódica, durante los últimos 3 minutos, los sujetos estudian las palabras que se les muestran. A continuación, durante un periodo de 20 minutos, los sujetos llevan a cabo tareas relacionadas

con problemas de razonamiento que no guardan relación con la tarea anterior. Por último, los sujetos realizan el test de reconocimiento y memoria de las palabras mostradas al final de la estimulación. Con la finalidad de conocer los efectos producidos por este tipo de estudio se realizó un análisis estadístico basado en la exactitud y el tiempo de reacción de las respuestas al último test mencionado. También se compararon las medidas obtenidas de grupo de control con las del grupo estimulado. La conclusión a la que se llega es que la tDCS anódica aplicada en las regiones parietales podrá modular el aprendizaje en tareas de memoria relacionadas con el reconocimiento verbal.

- *“Enhancement of selective attention by tDCS: Interaction with interference in a Sternberg task [14]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo.
 - Posición del cátodo: Órbita derecha.
 - Duración de la estimulación: 10 minutos.
 - Número de sesiones: 2 sesiones en total, los sujetos reciben tDCS anódica y sham con una separación de cincuenta minutos entre ambas.
 - Número de sujetos: 14 sujetos sanos.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029.
 - Efectos: Los sujetos realizaron una tarea de tipo Sternberg durante los 10 minutos de estimulación y continuaron alrededor de 20 minutos más hasta finalizar la tarea. Se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas en relación con el tiempo de reacción, la exactitud en las respuestas, el nivel de carga de la tarea (3,5 o 7 ítems) y la interferencia. En conclusión, los efectos de la tDCS sobre el DLPFC en la memoria de trabajo durante la realización de tareas de tipo Sternberg son positivos si tenemos en cuenta la presencia de interferencia. Sólo al introducir un factor adicional de interferencia observamos que la tDCS mejora el tiempo de reacción.
- *“Anodal tDCs od for dorsolateral prefrontal cortex during an Implicit Association Test [15]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el sistema internacional 10/20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Órbita derecha.
 - Duración de la estimulación: 10 minutos.

-
- Número de sesiones: 2 sesiones en total, los sujetos reciben tDCS anódica y sham con una separación de uno a ocho días entre ambas.
 - Número de sujetos: 20 sujetos sanos.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029.
 - Efectos: Los sujetos fueron estimulados y a continuación, realizaron un Test de Asociación Implícita (Implicit Association Test, IAT) donde en cada reto, se presentaba una palabra que debía ser categorizada. La tarea consistió en 3 repeticiones de una secuencia formada por 7 bloques. Los tiempos de reacción y la exactitud de las respuestas en los distintos bloques mezclados fueron analizados usando un ANOVA de medidas repetidas. Las variables independientes fueron el tipo de estimulación (sham/anódica), el tipo de bloque (congruente/no congruente) y el tipo de estímulo (objetivo/atributo). Por último, se analizaron los efectos de la tDCS para cada bloque. En conclusión, la tDCS mejoró el rendimiento de los sujetos en los bloques congruentes pero no en los no congruentes, por lo que no se cumple la hipótesis de que la tDCS mejore el sesgo en los resultados de los IAT y plantea una cuestión: ¿Qué componente de la memoria de trabajo puede ser mejorado al aplicar estimulación sobre el DLPFC si no mejora el sesgo en estos test?
- *“Temporal cortex direct current stimulation enhances performance on a visual recognition memory task in Alzheimer disease [6]”.*
- Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo y córtex temporal izquierdo (left temporal cortex, LTC) (posiciones F3 y T7, de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Órbita derecha.
 - Duración de la estimulación: 30 minutos.
 - Número de sesiones: 3 sesiones en total (tDCS anódica del DLPFC, tDCS anódica del LTC y por último tDCS sham) con una separación de al menos cuarenta y ocho horas.
 - Número de sujetos: 10 sujetos enfermos de Alzheimer.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029.
 - Efectos: Los sujetos realizaron tareas de tipo Stroop, de memoria de reconocimiento visual (Visual Recognition Memory task, VRM) y de intervalo de dígitos. Estas pruebas comenzaron 10 minutos después del inicio de la estimulación y duraron hasta el final de la misma. Para obtener los resultados, se analizaron en número de respuestas correctas en la tarea VRM, el tiempo en la tarea Stroop y

la puntuación en la prueba de intervalos de dígitos. También se tuvo en cuenta el tipo de estimulación (DLPFC, LTC y Sham) y se llevó a cabo un ANOVA y una comparación poshoc de Bonferroni. Se concluyó que la tDCS tiene un efecto significativo en el número de respuestas correctas en la tarea VRM. Se produce una mejora después de aplicar tDCS tanto sobre la región temporal y como sobre la prefrontal si comparamos los resultados obtenidos al aplicar estimulación sham. Por otra parte, no se observaron cambios significantes en las puntuaciones relacionadas con la atención (tarea de Stroop).

- *“Acute working memory improvement after tDCS in antidepressant-free patients with major depressive disorder (MDD) [23]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: DLPFC derecho (posición F4 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Duración de la estimulación: 30 minutos.
 - Número de sesiones: 2 sesiones en total (tDCS anódica y tDCS sham).
 - Número de sujetos: 28 enfermos de MDD.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.08.
 - Efectos: Se utilizaron tareas “n-back” con la finalidad de analizar la memoria de trabajo. Dichas tareas se realizaron antes de la estimulación y a los 15 minutos de haber empezado esta misma. Los resultados se evaluaron de manera estadística con el programa Stata 12. Las variables fueron normalizadas con un test Shapiro-Wilk. A continuación, se realizaron tres análisis de la covarianza (ANCOVA) sobre las respuestas correctas, la discriminación y el criterio de respuesta utilizando la tDCS anódica y la sham como variables independientes. En conclusión, el rendimiento de la memoria de trabajo mejora al aplicar tDCS mientras se realizan tareas “n-back” en pacientes con depresión, por lo que se confirman estudios previos que incluían usuarios sanos.
- *“Testing the limits: Investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls [17]”*.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Región supraorbital derecha.

-
- Duración de la estimulación: 20 minutos.
 - Número de sesiones: 3 sesiones en total (tDCS a 1 mA, a 2 mA o sham) con una semana de separación.
 - Número de sujetos: 18 sujetos sanos.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029 y 0.057.
 - Efectos: Los sujetos recibieron 20 minutos de estimulación en cada sesión. Inmediatamente se reemplazaron los electrodos y procedieron a realizar tareas “n-back” durante 10 minutos mientras se grabaron las señales EEG. Repitieron dichas pruebas 20 y 40 minutos después de la estimulación. Los resultados fueron analizados de manera estadística por el programa SPSS 20.0 realizando ANOVAS atendiendo a la exactitud, el tiempo de reacción, el tipo de tarea (“2-back” o “3-back”), la corriente (1 mA, 2 mA o sham) y el tiempo (0, 20 minutos o 40 minutos). Por otra parte, el análisis de las señales EEG se llevó a cabo utilizando el programa Scan 4.3. En conclusión, este estudio demuestra que la tDCS anódica mejora la eficiencia del procesamiento cognitivo. Se producen efectos más significativos con 1 mA que con 2 mA (35 cm²).
- *“No Significant Effect of Prefrontal tDCS on Working Memory Performance in Older Adults [21]”*.
- Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo (posición F3 de acuerdo con el Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG).
 - Posición del cátodo: Región supraorbital contralateral.
 - Duración de la estimulación: 25 minutos.
 - Número de sesiones: 3 sesiones en total (tDCS a 1 mA, a 2 mA o sham) con una semana de separación.
 - Número de sujetos: 30 sujetos de edad avanzada.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029, 0.057, 0.01 y 0.02.
 - Efectos: Durante cada sesión los participantes realizaron en seis ocasiones tareas de tipo “n-back”: antes de la estimulación, durante los 5 primeros minutos de estimulación, durante los minutos 10 -15 y 20-25 de esta misma, y después de aplicarla, durante los minutos 5-10 y 30-35. Por otra parte, el efecto de la estimulación se llevó a cabo analizando los tiempos de respuesta y la exactitud, así como realizando ANOVAS de medidas repetidas atendiendo a los intervalos temporales y el tipo de estimulación (tDCS a 1 mA, a 2 mA o sham) utilizando el programa SPSS. En conclusión, los resultados sugieren que una sola sesión de tDCS en el

DLPFC es improbable que mejore la memoria de trabajo en personas de edad avanzada.

- “*The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Multitasking Throughput Capacity* [20]”.
 - Polaridad: tDCS Anódica/ tDCS Sham.
 - Posición del ánodo: DLPFC izquierdo.
 - Posición del cátodo: Parte superior del brazo derecho.
 - Duración de la estimulación: 30 minutos.
 - Número de sesiones: 1 sesión (tDCS anódica a 2 mA o tDCS sham).
 - Número de sujetos: 20 sujetos sanos. 10 reciben tDCS anódica a 2 mA y otros 10 estimulación sham.
 - Densidad de corriente (mA/cm^2): 0.029 y 0.057.
 - Efectos: Los sujetos recibieron la estimulación mientras utilizaban la “Multi-Attribute Task Battery” (MATB, un software desarrollado por la NASA que evalúa el rendimiento del operador y la carga de trabajo) con el fin de obtener resultados que permitieran analizar la capacidad multitarea. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el software SAS 9.2, realizando ANOVAS teniendo en cuenta la salida de baudios y la capacidad que marca MATB al finalizar las tareas, así como el tipo de estimulación (anódica o sham). Se pudo concluir que La tDCS anódica mejora de manera significativa la capacidad de procesamiento de información de los participantes, lo que da como resultado un mejor rendimiento comparado con la tDCS sham.

Al analizar y comparar los estudios anteriormente descritos, se puede decir que en la mayoría de ellos se ha demostrado que la tDCS anódica del DLPFC izquierdo conduce a una mejora de la memoria de trabajo respecto a la estimulación Sham de la misma área. Al aplicar este tipo de estimulación sobre la zona anteriormente mencionada, observamos que la posición utilizada habitualmente para colocar el ánodo es F3 (Sistema Internacional 10-20 EEG) [8] [7] [19] [1] [32] [15] [31] [17] [23] mientras que la del cátodo, ha sido el área supraorbital contralateral [13] [7] [19] [1] [32] [14] [15] [6] [17] [21]. También deben ser mencionados los casos en los que el ánodo ha sido situado en el cerebelo [11], no obteniéndose contribuciones claras, el hueso esfenoides derecho [31], el lóbulo parietal superior [10] o el córtex temporal izquierdo [18], dónde sí se produjeron efectos beneficiosos en cuanto a mejora cognitiva.

Por otra parte, atendiendo en esta ocasión a la relación de dependencia existente entre la tDCS, la densidad de corriente y tiempo de estimulación que debe aplicarse, caben ser mencionados estudios como el detallado en [8], que demuestran que se produce una mejora

tras aplicar una estimulación anódica sobre el DLPFC de 2 mA mientras que no se percibe ninguna contribución al aplicar 1 mA durante el mismo periodo de tiempo. Por su parte, el artículo descrito en [31], verifica del mismo modo la dependencia del tiempo de estimulación. También, han de mencionarse [10] [6] [23] [20] donde se aplica un periodo de estimulación de 30 minutos (el más largo en comparación al resto de estudios descritos) y aquellos en los que se han utilizado un número de usuarios en torno a 30 [7] [10] [32].

Asimismo, encontramos estudios en los que también han sido procesadas las señales EEG durante la estimulación [32] y posteriormente a ésta [17]. En ellos quedó demostrado que se produce una amplificación de la oscilación en las bandas theta y alfa tras aplicar tDCS anódica sobre el DLPFC izquierdo.

En cuanto a las aplicaciones o test psicológicos utilizados con el fin de evaluar los procesos cognitivos, los más utilizados han sido las tareas de tipo Sternberg y los test “n-back”, por lo que podemos decir que han sido las aplicaciones con las que se han presentado los mejores resultados, aunque también caben ser destacadas las baterías de tareas como CogState, que permiten identificar los procesos cognitivos que más han sido afectados por la estimulación, es decir, nos permite diferenciar entre tareas relacionadas con la atención, la memoria o la lógica entre otras.

En relación al análisis estadístico de los resultados, la mayoría de los estudios han realizado ANOVAS de múltiples caminos atendiendo tanto al tipo de estimulación (Sham, tDCS anódica, tDCS catódica) como al tipo de corriente aplicada y los datos obtenidos al evaluar los procesos cognitivos de cada sujeto durante el desarrollo de una de las tareas o test psicológicos anteriormente mencionados (tiempos de reacción y exactitud de las respuestas). Se han llevado a cabo ANOVAS tanto de varios caminos como de medidas repetidas. También se tuvieron en cuenta los distintos grupos de sujetos en los que fue dividido cada experimento con el fin de colocar en distintas posiciones el ánodo. Previamente, con la finalidad de normalizar las muestras, se realizó un preprocesamiento de los datos utilizando distintos tipos de aplicaciones o test, uno de ellos el test Shapiro-Wilk, utilizado habitualmente en experimentos de este tipo para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Posteriormente, tras aplicar las ANOVAS necesarias, se procedió a utilizar un test post hoc de comparaciones múltiples de tipo Bonferroni o Wilcoxon.

Por último, del análisis de dichos estudios, se puede concluir que la relación de dependencia entre la duración temporal de la estimulación y el grado de intensidad aplicada juega un papel fundamental durante el proceso de mejora cognitiva y que se debe investigar más en torno a ella. Por otra parte, se hace especial hincapié en aplicar la estimulación sobre el DLPFC para mejorar sobretodo la memoria de trabajo. No obstante, la mayoría de investigaciones se han basado en localizar el ánodo en la posición F3 del Sistema Internacional

EEG 10-20. Podría resultar de interés para futuras investigaciones utilizar otras posiciones cercanas también al área Brodmann 10, así como elegir un grupo de sujetos que participe en cada una de las sesiones de estimulación para comprobar la mejora de un modo individual, ya que algunas de las investigaciones han separado a los usuarios según el tipo de estimulación aplicada. Otra idea interesante podría ser realizar test de coeficiente intelectual a los sujetos, con el fin de que no existan grandes diferencias en sus capacidades y los resultados sean más específicos. Asimismo, dichas investigaciones deberían de llevarse a cabo paralelamente con registros de EEG, ya que de esta manera los estudios no se basarían tan sólo en la obtención de datos de acierto/fallo en respuestas o tiempos de reacción.



3. Metodología

En este apartado se describe la metodología seguida con la finalidad de alcanzar los objetivos que plantea este proyecto. En primer lugar, se realiza una explicación de las bases psicológica, anatómica y fisiológica de la que parte este trabajo, definiendo de manera específica lo que se conoce como memoria de trabajo y describiendo las funciones del córtex prefrontal dorsolateral. A continuación, se presenta el principio de funcionamiento de la tDCS en el entorno de las técnicas de estimulación eléctrica (TES) y por último, se describen las actividades de entrenamiento cognitivo que han llevado a cabo los sujetos de este estudio.

3.1. Memoria de trabajo

La memoria se refiere al conocimiento que se encuentra almacenado en nuestro cerebro y a los procesos de adquisición, consolidación y retención del mismo. Constituye probablemente la operación más básica e importante de nuestro cerebro. Muchos procesos cognitivos, incluyendo el reconocimiento, el lenguaje, la planificación, la resolución de problemas, la toma de decisiones y la creatividad, no podrían operar de manera eficiente sin la contribución de la memoria [4].

El concepto de memoria humana como facultad unitaria comenzó a erosionarse en los años 60 cuando se presentaron las investigaciones de Atkinson y Shiffrin [2] que afirmaban que existían dos tipos de memoria: la memoria a largo plazo (long-term memory, LTM) y la memoria a corto plazo (short-term memory, STM). Unos años después, los científicos Baddeley y Hitch [3] centraron sus investigaciones en relacionar ambos tipos de memoria. Con este fin, fueron llevados a cabo en sujetos sanos una serie de experimentos relacionados con la STM. Cada uno de ellos debía recitar una secuencia de dígitos que habían escuchado con unos segundos de anterioridad mientras realizaban otras tareas relacionadas con el aprendizaje, el razonamiento o la comprensión, las cuales se asumen totalmente dependientes de la STM. Los resultados sugirieron que la STM y la LTM interactuaban, por lo que decidieron reemplazar el concepto de STM por otro mucho más complejo al que se denominó “memoria de trabajo”. Este concepto enfatiza la importancia funcional de este tipo de memoria en los procesos cognitivos.

La memoria de trabajo comprende un controlador atencional, el ejecutivo central, asistido por dos sistemas auxiliares: el bucle fonológico y el buffer visual-espacial (figura 3-1).

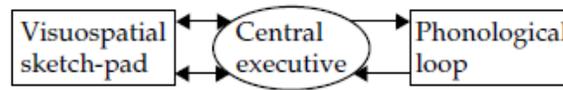


Figura 3-1.: Esquema del modelo de memoria de trabajo de Baddeley y Hitch [4].

El bucle fonológico constituye el sistema encargado de conservar transitoriamente el material que se codifica verbalmente. Este sistema está subordinado al sistema ejecutivo central, ya que es este quien le encarga el almacenamiento y la manipulación de información basada en el lenguaje. Por un lado, es el encargado del almacenamiento (función pasiva) y por otro, se encarga del mantenimiento de dicha información verbal (función activa). Presenta una capacidad limitada de almacenamiento de información y es susceptible a interferencias. A su vez, se encuentra directamente vinculado con el aprendizaje del lenguaje lectoescrito, por ello, se le considera como el responsable de los errores ortográficos de carácter fonológico.

Asimismo, el buffer visual-espacial almacena y manipula material visual-espacial del mismo modo que el bucle fonológico lo hace con la información relacionada con el lenguaje. Cuando se habla de material visual-espacial se habla de la memoria de los objetos y su localización. Además, este buffer juega un papel fundamental en la generación y manipulación de imágenes mentales.

Por último, el tercer componente del modelo, el ejecutivo central, es el responsable de operar la información y planificar la atención. En otras palabras, es el encargado de llevar a cabo las siguientes funciones:

- Atención selectiva, la cual es la habilidad de focalizar la atención en información relevante mientras inhibe los efectos disruptivos de información irrelevante.
- Conmutar, la cual es la habilidad de coordinar múltiples actividades cognitivas concurrentes.
- Seleccionar y ejecutar planes así como estrategias flexibles.
- La capacidad de asignar recursos a otras partes del sistema de memoria de trabajo.
- La capacidad de recuperar, mantener y manipular temporalmente información activa de la memoria de largo plazo.

En resumen, la memoria de trabajo es necesaria para mantener los objetivos y subobjetivos en la resolución de problemas, por lo que las diferencias individuales en la resolución de pro-

blemas pueden deberse a diferentes capacidades en la memoria de trabajo, ya que un aspecto de este tipo de memoria es la velocidad de procesamiento. Por otra parte, la interferencia en la memoria de trabajo se traduce en peores prestaciones en las tareas de razonamiento.

Por último, si tenemos en cuenta la base molecular y celular de la memoria, puede decirse que las investigaciones realizadas a este nivel se han centrado en averiguar que eventos se desarrollan en el cerebro cuando un organismo aprende sobre algo. Una de las teorías más importantes para dar respuesta a esta pregunta fue la propuesta por Donald Hebb [16] en 1949, quien afirmó que cuando un axón de la célula A se encuentra lo suficientemente cerca como para excitar una célula B y repetidamente toma parte en la activación, ocurren procesos de crecimiento cambios metabólicos en una o ambas células de manera que tanto la eficiencia de la célula A, como la capacidad de excitación de la célula B son aumentadas. Esta teoría describe el mecanismo básico de la plasticidad sináptica y constituye un punto de partida muy importante para comprender los procesos neurobiológicos que se desarrollan durante el aprendizaje y la memoria, y por tanto, para comprender los efectos de la tDCS.

3.2. Córtex dorsolateral prefrontal

La corteza prefrontal dorsolateral (Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC) es una parte de la corteza prefrontal ubicada por encima de la corteza orbito frontal de ambos hemisferios cerebrales. Las citoarquitecturas descritas por Brodmann que integran el área dorsolateral son la 9, 10, 46, y la parte superior del área 47 (Figura 3-2). Estas regiones reciben principalmente su suministro sanguíneo de la arteria cerebral media y en ellas encontramos distintos tipos de neuronas: con axón corto sobresalen las neuronas granulares mientras que con axón largo encontramos las neuronas fusiformes y piramidales gigantes.

Por otra parte, el DLPFC constituye la región más grande y filogenéticamente más nueva de la corteza frontal, la cual se divide en tres subregiones: corteza ventrolateral, la dorsolateral y orbitofrontal. Estas zonas se consideran regiones de asociaciones cognitivas y supramodales ya que no presentan estímulos sensoriales directos, por lo que es destacable la importancia que esto tiene para las conexiones funcionales entre todas las zonas que la constituyen.

A su vez, si nos centramos en la región dorsolateral, observamos nuevamente una división de zonas: la superior, la inferior y el polo frontal. El DLPFC (Figura 3-3) integra la información que procede de las áreas de asociación unimodal y heteromodal, y de las zonas paralímbicas. Una de sus principales funciones es la de propiciar la interacción inicial entre la información sensorial que recibe del córtex posterior y la información procedente del sistema límbico y el córtex paralímbico. Esta interacción implica canales sensoriales en un formato más abstracto, por ejemplo la atención y la orientación del cuerpo en el espacio. De manera más

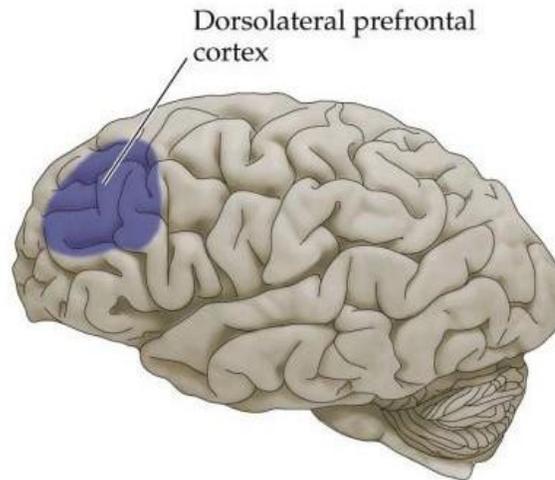


Figura 3-2.: Localización del cortex prefrontal dorsolateral

genérica, la función que cumple la corteza dorsolateral prefrontal es la planificación motora, la organización y la regulación de funciones intelectuales. Constituye un centro integrador de información relativo a la memoria y sensorial, por lo que permite el razonamiento, la formación de conceptos y la generación de acciones voluntarias o el proceso de la memoria de trabajo. En concreto, el área 10 de Brodmann que ocupa la zona frontopolar es por si misma necesaria en importantes procesos cognitivos tales como el razonamiento o la planificación involucrados cuando manejamos con la mente objetos mientras exploramos y procesamos objetos secundarios.

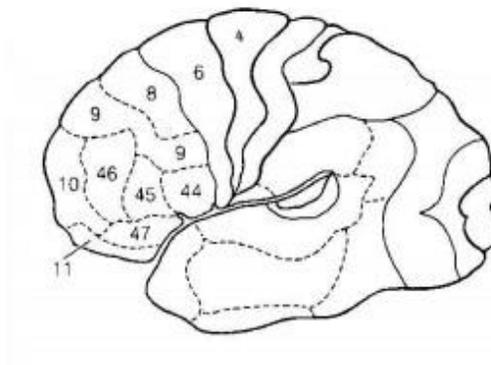


Figura 3-3.: Áreas de Brodmann que componen el DLPFC

En cuanto a las funciones ejecutivas, la porción dorsolateral se encuentra estrechamente

relacionada con los procesos de planificación, es decir, con la capacidad para integrar, secuencias y desarrollar pasos intermedios para lograr metas a corto y largo plazo. Por otra parte, como ya se ha mencionado, la memoria de trabajo, la capacidad para mantener información de forma activa por un breve periodo de tiempo, también forma parte de sus funciones ejecutivas, así como la fluidez (la velocidad y la precisión en la búsqueda y actualización de la información) y la solución de problemas complejos. Otras funciones derivadas de las anteriormente mencionadas son la flexibilidad mental (la capacidad de cambiar un esquema de acción o movimiento), la generación de hipótesis o estrategias de trabajo. Las porciones más anteriores polares de la corteza prefrontal dorsolateral se encuentran relacionadas con los procesos de mayor jerarquía cognitiva como la metacognición permitiendo la autoevaluación y el ajuste de la actividad en base al desempeño continuo y en los aspectos psicológicos evolutivos más recientes del humano, como la cognición social y la conciencia de autoconocimiento, logrando una completa integración de las experiencias emocionales y cognitivas de los individuos.

Por otra parte, cuando hablamos de funciones cognitivas del DLPFC, hablamos de memoria de trabajo, cuya manifestación clínica sería, por ejemplo, mantener un número telefónico por un corto tiempo en memoria y marcarlo. Otra función cognitiva sería el razonamiento, es decir, comprender por qué los objetos son similares, deducir una respuesta de un problema y adaptarse a un evento imprevisto, o la comprensión de situaciones, como leer un texto corto o ver un programa y entender el tema principal.

El síndrome clínico que afecta a esta región cerebral es conocido como el síndrome dorsolateral. Este síndrome puede ser provocado por una lesión de las áreas 9 y 10 de Brodmann y produce una alteración intelectual como resultado de un trastorno en las siguientes funciones: la ordenación temporal de acontecimientos, la capacidad de generar hipótesis, planear acciones y tomar decisiones para conseguir un objetivo, de focalizar la atención en ello, de analizar los resultados y cambiar de táctica si es preciso, y no entretenerse con estímulos irrelevantes, no se trata de una función cognitiva específica, sino de aquellas capacidades que permiten a una persona llevar a cabo con éxito una conducta con un propósito determinado. Otra función cognitiva que se afecta por este síndrome es la memoria de trabajo. Para algunos, esta memoria constituye la base real de la "inteligencia" ya que almacena la información que una persona es capaz de mantener "en mente" y que va a necesitar en breve plazo, mientras realiza una acción concreta. Este síndrome se encuentra directamente relacionado con enfermedades tales como la esquizofrenia, el Alzheimer, la depresión o el déficit de atención.

Como se ha explicado, el DLPFC guarda una estrecha relación con la memoria de trabajo, la atención y el razonamiento, es por ello que en este estudio se posicionó el ánodo sobre el área 10 de Brodmann durante la neuroestimulación.

3.3. Estimulación eléctrica transcraneal

La actividad neuronal en el cerebro puede ser inducida o modulada por un campo eléctrico exógeno y una densidad de corriente eléctrica asociada en el cerebro. El campo eléctrico se puede generar de forma no invasiva pasando corriente eléctrica a través de electrodos o posicionando una bobina de inducción en el cuero cabelludo. A estos procedimientos se les conoce respectivamente como estimulación transcraneal eléctrica (Figura 3-4) y estimulación transcraneal magnética (TES y TMS por sus siglas en inglés) [25].

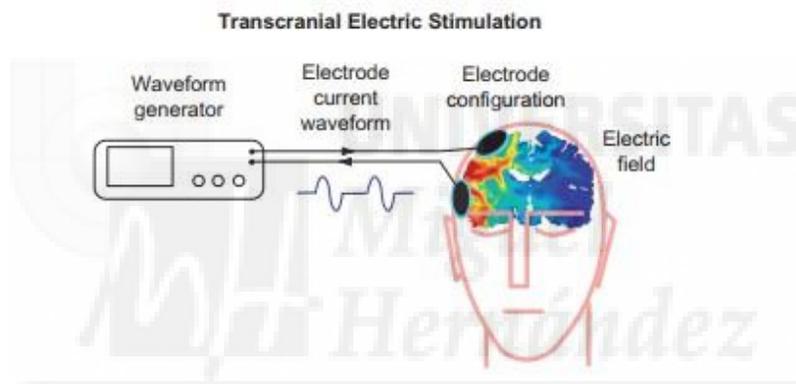


Figura 3-4.: Esquema del proceso de estimulación transcraneal continua [25]

En el presente apartado, se describe de manera genérica sobre las distintas técnicas de estimulación eléctrica y de manera más específica sobre la tDCS, sus principios de funcionamiento y efectos adversos asociados a la misma.

3.3.1. Técnicas de estimulación transcraneal eléctrica

Las TES implican la aplicación de corriente en dos o más electrodos superficiales, con al menos uno de ellos colocado sobre el cuero cabelludo, como se ilustraba en la figura 3-4. Típicamente, el electrodo consiste en un soporte de conductor sólidos (metal o caucho conductor) unido con cables al generador de forma de onda. Un electrólito líquido o gel se coloca entre la piel y el sólido conductor. Los electrodos se suelen fijar en la cabeza con una cinta elástica o gorro. La forma de onda del campo eléctrico generada en el cerebro es directamente proporcional a la corriente inyectada en los electrodos. Por tanto, la mayoría de los estimuladores controlan la corriente del electrodo para conseguir la forma de onda del campo eléctrico deseada [25].

Existen cuatro principales clases de TES: estimulación eléctrica transcraneal continua (tDCS), estimulación transcraneal de corriente de corriente pulsada (Transcranial Pulsed Current Stimulation, tPCS), estimulación transcraneal de corriente alterna (Transcranial Alternating Current Stimulation, tACS) y estimulación transcraneal de ruido aleatorio (Transcranial Random Noise Stimulation, tRNS). Se considera que estas técnicas son toleradas por el ser humano (aplicando los debidos protocolos) y operan de manera espontánea o no espontánea (si se esta llevando a cabo alguna tarea cognitiva) la actividad neuronal, generando cambios graduales en las redes neuronales [5]. Cada una de ellas presenta una forma de onda distinta (figura 3-5). En la tabla 3-1 se muestra una comparativa sobre estos tipos de estimulación.

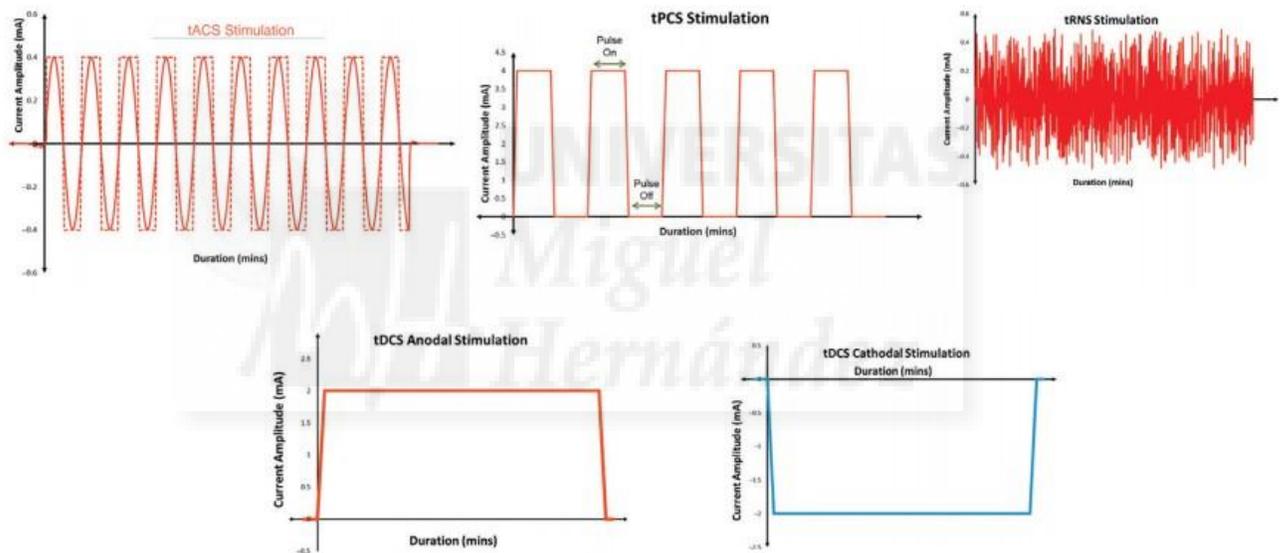


Figura 3-5.: Formas de onda de las TES

Por otra parte, cuando hablamos de experimentos a doble ciego con este tipo de estimulación, ha de mencionarse la denominada estimulación de tipo sham. Con la finalidad de prevenir que los resultados de la investigación puedan verse influenciados por el efecto placebo o por el sesgo del observador, el número de sujetos que participan en la misma quedan divididos en dos grupos, aquellos a los que se les aplicará alguna técnica de TES y aquellos que recibirán estimulación sham o placebo. Este tipo de estimulación podría decirse que es una "pseudestimulación", ya que el sujeto cree que está siendo estimulado pero en realidad no existen efectos reales. Suele implementarse reduciendo gradualmente la corriente inmediatamente después del período de aceleración y aumentando esta misma antes de finalizar la sesión, de manera que se observa una rampa de subida al inicio y otra de bajada al final. El sujeto siente los efectos de estas rampas, ya que son los más predecibles en tCS, pero no recibe una dosis significativa.

	tDCS	tACS	tPCS	tRNS
Dimensiones típicas de los electrodos	Dos electrodos, 20-35 cm^2	16 cm^2	16 cm^2	16 cm^2
Intensidad típica suministrada	Corriente constante 0.5-2 mA	Corriente bidireccional, bifásica sinusoidal. Intensidad utilizada: 0,25-1 mA. Frecuencias utilizadas: 1, 10, 15, 30 y 45 Hz. Voltajes: 5-15 mV.	Corriente unidireccional, monofásica de pulsos típicamente rectangulares. Puede ser bidireccional/bifásica. Intensidad utilizada: 0.6-1 mA. Frecuencia: 1 Hz-167 kHz.	Corriente alterna con amplitud aleatoria y frecuencias de entre 01 y 640 Hz. Intensidades entre -500 y +500 μA con 1280 muestras/segundo a 1 mA.
Duración de la estimulación	20 minutos	2 y 5 minutos	20 minutos	10 minutos
Método	Técnica TES donde la corriente constante se mantiene durante más de 1 minuto con una amplitud mayor a 0.1 mA donde los niveles de corriente no cambian significativamente ($> 5\%$).	Técnica TES en la que la corriente alterna bifásica sinusoidal se mantiene durante más de 1 minuto con una amplitud mayor a 0.1 mA pico-a-pico.	Técnica TES en la que la corriente (monofásica o bifásica) con pulsos rectangulares o trenes de pulsos se mantiene durante más de 1 minutos con una amplitud mayor a 0.1 mA pico-a-pico.	Técnica TES en la que la corriente alterna se mantiene durante más de 1 minuto con una amplitud aleatoria constantemente cambiantes mayor que 0.1 mA RMS.
Efectos	Incremento de la excitabilidad cortical con estimulación anódica y decrecimiento de dichas excitabilidad con estimulación catódica.	No se producen cambios conocidos de excitabilidad cortical.	No se producen cambios conocidos de excitabilidad cortical.	Aparentemente mejora las excitabilidad corticoespinal.

Tabla 3-1.: Resumen de las técnicas de estimulación cerebral eléctrica no invasiva: tDCS, tACS, tPCS y tRNS.

3.3.2. Estimulación eléctrica transcraneal continua (tDCS)

Por su parte, la tDCS constituye un tipo de TES que consiste en la aplicación de corriente continua sobre las áreas de estudio en el cerebro empleando electrodos. A diferencia de otras técnicas de estimulación no invasivas, no induce un disparo neuronal por el umbral de despolarización de la membrana neuronal, sino que modula la actividad neuronal instantánea [25].

El principal mecanismo de acción de la tDCS es la dependencia de polaridad del potencial de reposo de la membrana. Mientras que, generalmente, el ánodo promueve la actividad y excitabilidad cortical, el cátodo tiene el efecto opuesto, es decir, presenta efectos inhibitorios. El procedimiento de aplicación de este tipo de neuromodulación consta de 2 electrodos posicionados en la cabeza y conectados a un estimulador de corriente continua (DC). La corriente pasa entre el ánodo (+) y cátodo (-) con la finalidad de que fluya a través de la corteza y viaje hacia el ánodo y sale por el cátodo [27] (figura 3-6).

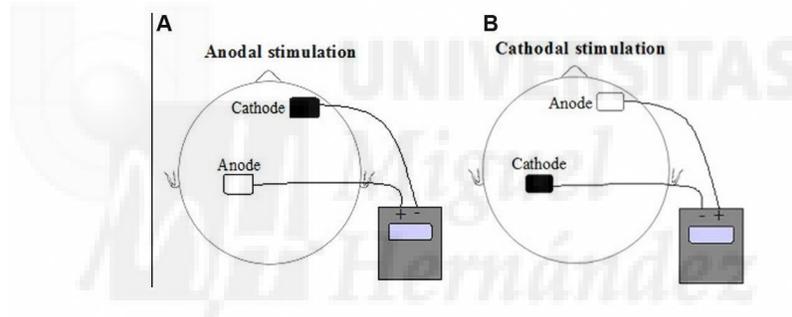


Figura 3-6.: Diferenciación entre la tDCS anódica y catódica [27]

Por otra parte, los efectos de la tDCS pueden durar más de una hora, por lo que el mecanismo de acción no sólo puede atribuirse a los cambios de potencial de la membrana. Investigaciones actuales indican que la tDCS provoca modificaciones en el entorno sináptico y que interfiere con la excitabilidad cerebral a través de la modulación de las neuronas intracorticales y corticoespinales. Sin embargo, otros experimentos realizados sobre el nervio periférico y la médula espinal han mostrado que los efectos de este tipo de estimulación pueden ser de origen no sináptico y que se deberían a cambios en la densidad de los canales protéicos localizados debajo de los electrodos de estimulación. Puesto que un campo eléctrico constante desplaza todas las moléculas y la mayoría de los neurotransmisores y receptores del cerebro tienen propiedades eléctricas, se cree que la tDCS puede influir también en la función neuronal induciendo cambios neuro-químicos prolongados.

Por todo ello, como se mencionó anteriormente, los principales parámetros que han de tenerse en cuenta al suministrar tDCS son la intensidad de corriente, la dimensión de los electrodos (densidad de corriente), la duración del proceso de estimulación, así como la repetitividad del mismo y las pausas realizadas, ya que todos ellos se encuentran continuamente relacionados

con la excitabilidad de la membrana y los procesos de neuromodulación. En la mayoría de las publicaciones la densidad de corriente media de los electrodos suele ser de entre 0,029 y 0,08 mA/cm².

A pesar de que actualmente el mecanismo de acción de la estimulación con corriente directa aún no se ha dilucidado completamente, es un tema que puede contribuir de manera importante a la implementación de futuras aplicaciones clínicas. Actualmente se conoce que este mecanismo probablemente involucra diferentes efectos sinápticos y no sinápticos de las neuronas y puede tener un efecto sobre las células y los tejidos no neuronales en el sistema nervioso central.

Plasticidad sináptica

El cerebro humano contiene billones de conexiones neuronales, las sinapsis, cuyo patrón de actividad controla nuestras funciones cognitivas. Las conexiones sinápticas entre neuronas no son estáticas, sino que sufren modificaciones como consecuencia de una actividad o experiencia previas en esas células. Así, los estímulos del exterior pueden provocar que algunas sinapsis se potencien, mientras que otras se debiliten. Este proceso de plasticidad sináptica resulta esencial para el aprendizaje y la memoria. De hecho, se piensa que las alteraciones en los mecanismos de la plasticidad sináptica son responsables de múltiples trastornos, como el autismo, la enfermedad de Alzheimer y varias formas de discapacidad mental [30].

Por su parte, la estimulación tDCS consiste en la aplicación de corriente continua para estimular el enlace entre neuronas y por tanto conseguir aumentar la “plasticidad”. Cuando un axón de una célula A, está suficientemente cerca para estimular a una célula B, y de forma repetitiva o perseveradamente se produce un disparo en ella, algún proceso de crecimiento o cambio metabólico tiene lugar en una de ambas células, de tal manera que la eficiencia de A como una de las células que disparan a B, se incrementa [16]. Cuando el flujo de corriente va del ánodo al cátodo, las dendritas de las neuronas se hiperpolarizan y se despolariza el soma aumentando así la excitabilidad o la plasticidad neuronal. En el caso en el que la polarización utilizada durante la estimulación sea anódica ocurre el proceso inverso y disminuye la plasticidad como puede observarse en las figuras 3-7 y 3-8.

Neuromodulación

Para comprender este principio es importante conocer los conceptos de neurotransmisor y neuromodulador.

Durante la sinapsis, las neuronas se comunican entre ellas mediante los neurotransmisores, que son moléculas encargadas de enviar señales desde una neurona a la siguiente. Mientras tanto, otras partículas llamadas neuromoduladores también intervienen sobre la comunica-

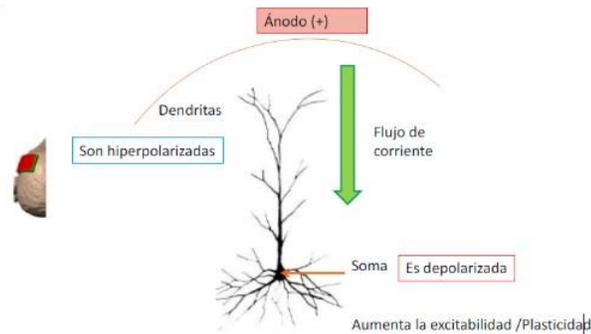


Figura 3-7.: Influencia de la tDCS anódica en la plasticidad neuronal.

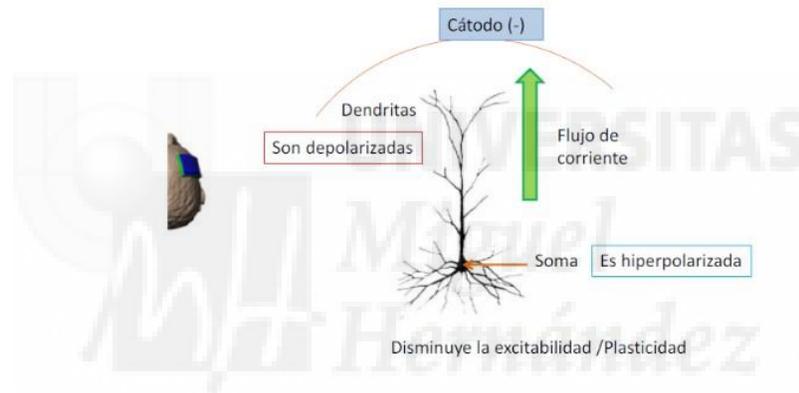


Figura 3-8.: Influencia de la tDCS catódica en la plasticidad neuronal.

ción entre células nerviosas. Dos o más sustancias neuroactivas pueden estar en un mismo terminal nervioso y una puede funcionar como neurotransmisor y otra como neuromodulador. Por un lado, los neurotransmisores crean o no potenciales de acción (impulsos eléctricos que se producen en la membrana celular), activan receptores postsinápticos (receptores de células postsinápticas o neuronas) y abren canales iónicos (proteínas de las membranas neuronales que contienen poros que cuando se abren, permiten el paso de partículas cargadas como los iones). Por otro, los neuromoduladores no crean potenciales de acción sino que regulan la actividad de los canales iónicos y modulan la eficacia de los potenciales de membrana de células postsinápticas producidos en los receptores asociados a canales iónicos. En conclusión, un neurotransmisor abre un canal, en cambio, un neuromodulador afecta a una o dos decenas de proteínas G, que producen moléculas de AMPc, abriendo muchos canales iónicos a la vez.

En conclusión, como ya se ha mencionado, existe una teoría que plantea que los efectos de la estimulación tDCS no son directamente de origen sináptico, sino que tienen su origen en los neuromoduladores que provocan cambios en la densidad de los canales proteicos loca-

lizados bajo los electrodos de estimulación [30] modulando así la eficacia de los potenciales de membrana.

3.3.3. Efectos adversos asociados a la tDCS

A pesar de la impresión general de que la tDCS es segura, encontramos algunos efectos adversos leves y transitorios que deben ser mencionados. Los más comunes son picor, hormigueo, dolor de cabeza, sensación de ardor y malestar. Todos ellos constituyen efectos temporales que dependen de cada individuo, el número de sesiones, el tamaño y posición de los electrodos y por último, de la intensidad y duración de la estimulación.

Según las investigaciones de Russowsky et al. [9], el picor y el hormigueo son los efectos adversos más comunes y cuanto más pequeños son los electrodos, más visible es el hormigueo. Por otra parte, el efecto secundario más grave encontrado fue la lesión cutánea producida sobre la zona donde se suministró la tDCS en el caso de [24], que con toda probabilidad fue ocasionada por una reacción alérgica al electrólito.

Teniendo en cuenta todas estas observaciones, este método de estimulación es seguro y en promedio pueden realizarse una o dos sesiones de estimulación de aproximadamente una hora en total al día. Un estudio realizado en 58 ratas con diferentes enfermedades demostró que el daño cerebral sólo se produjo en dosis que fueron cien veces mayores que las suministradas a humanos [24], lo que significa que los valores actuales utilizados en humanos son seguros.

3.4. Actividades de entrenamiento cognitivo

Como ya se ha explicado en el estado del arte, el proceso de tDCS para mejora cognitiva puede ir acompañado de una serie de actividades con la finalidad de entrenar aquellas habilidades mentales que estén siendo objeto de investigación. El objetivo de este estudio fue examinar los efectos producidos por la tDCS anódica en tres procesos cognitivos fundamentales que median en funciones de alto nivel como la toma de decisiones o la resolución de problemas: la atención, la memoria y la lógica. Para ello, las tareas en las que participaron los sujetos durante la neuroestimulación fueron llevadas a cabo a través de una aplicación de Android llamada “Juegos Mentales: Entrenamiento”. Esta aplicación entrena 4 áreas clave del cerebro humano: la memoria, la concentración (atención), la resolución de problemas (lógica) y el cálculo mental (esta última sección no forma parte de nuestro experimento). De cada bloque, los sujetos participaron en cuatro retos, cada uno de ellos fue repetido al finalizar el primer ciclo de tareas, por lo que ambos ciclos se realizaron bajo los efectos de la estimulación, como ya se ha mencionado anteriormente.

Dicha aplicación se encuentra basada en distintos estudios neurocientíficos, por lo que las

tareas que han realizado los usuarios constituyen un conjunto de retos relacionados con actividades de memoria de reconocimiento visual (VRM, Visual Recognition Memory task), tareas de tipo Sternberg, test de asociación implícita (IAT, Implicit Association test) así como el test “N-back letter” utilizado de manera habitual en dichas investigaciones. En resumen, los sujetos han formado parte de una investigación basada en una batería de tareas como podría ser CogState o MATB (Multi-Attribute Task Battery).

A continuación, se describen cada una de las actividades realizadas por los usuarios:

- Atención 1. Cuando la flecha sea de color verde, el usuario ha de deslizar el dedo en el sentido de la flecha. En el caso de que la flecha sea de color morada, el dedo ha de deslizarse en el sentido opuesto a la misma (figura 3-9).

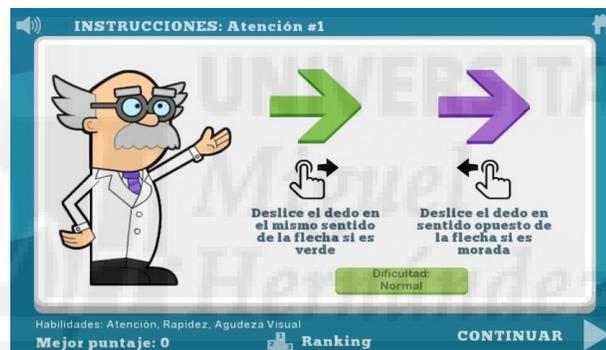


Figura 3-9.: Tarea de atención nº 1.

- Atención 2. Se han de observar los objetos que aparecen y desaparecen en las casillas. Ha de ser indicada la posición ocupada por el objeto por el que el juego pregunta (figura 3-10).

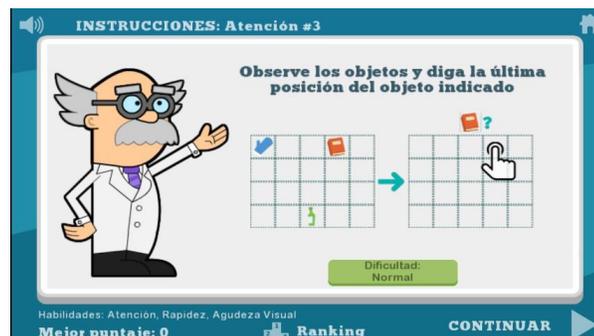


Figura 3-10.: Tarea de atención nº 2.

- Atención 3. Han de ser observadas las figuras que aparecen en la pantalla. A continuación ha de indicarse cual es la que se repite sin importar su color (figura 3-11).

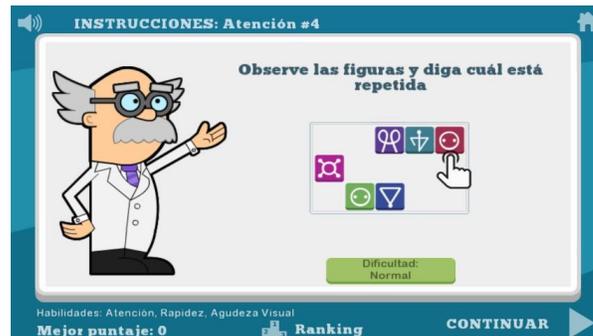


Figura 3-11.: Tarea de atención nº 3.

- Atención 4. Han de ser observadas las figuras que aparecen en la pantalla. A continuación ha de indicarse cual es la que se repite un mayor número de veces (figura 3-12).



Figura 3-12.: Tarea de atención nº 4.

- Memoria 1. Las circunferencias que aparecen en la pantalla han de ser seleccionadas según el orden de aparición (figura 3-13).
- Memoria 2. Al comenzar este reto, en la pantalla se visualizan cuadrados en morado y en verde. Tras unos segundos todos los cuadrados pasan a ser de color verde, han de ser seleccionados aquellos que anteriormente eran de color morado (figura 3-14).
- Memoria 3. En esta ocasión, se muestra por pantalla unos cuadrados en cuyo interior aparecen letras. Tras unos segundos estas letras desaparecen y el sujeto ha de seleccionar los cuadrados en función del orden alfabético recordando de esta manera que letra poseía cada cuadrado (figura 3-15).

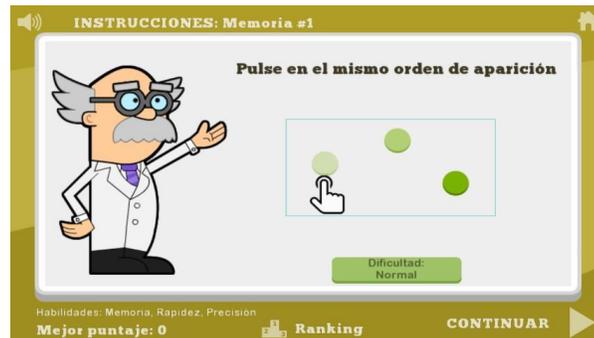


Figura 3-13.: Tarea de memoria nº 1.

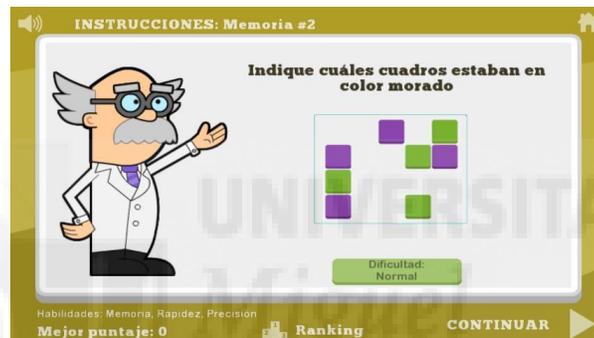


Figura 3-14.: Tarea de memoria nº 2.

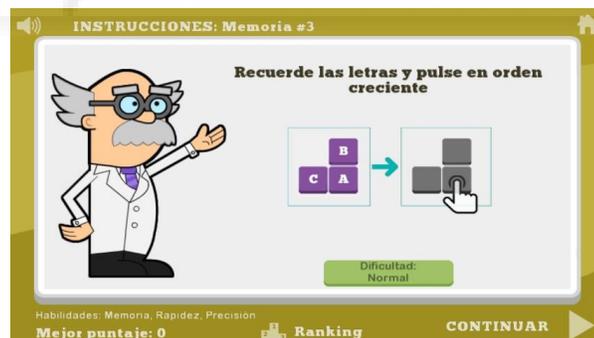


Figura 3-15.: Tarea de memoria nº 3.

- Memoria 4. Durante unos segundos el juego presenta una serie de imágenes. Ha de ser recordado el orden de aparición de las mismas con el fin de responder a las preguntas que el juego plantea (figura 3-16).
- Logica 1. Se muestran por pantalla una serie de figuras y un nombre. Cuando el nombre se corresponda con el nombre de la figura, el usuario ha de deslizar el dedo hacia la derecha. En caso de que esto no ocurra, deberá de deslizar el dedo en sentido opuesto (figura 3-17).

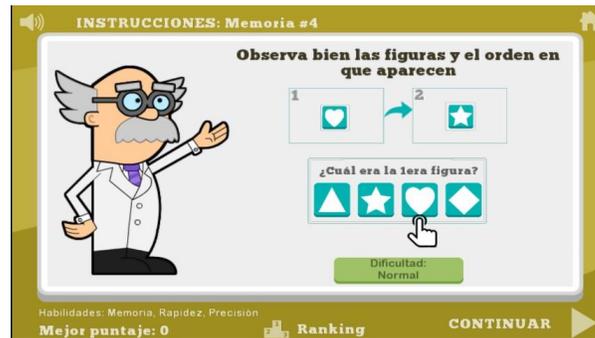


Figura 3-16.: Tarea de memoria nº 4.

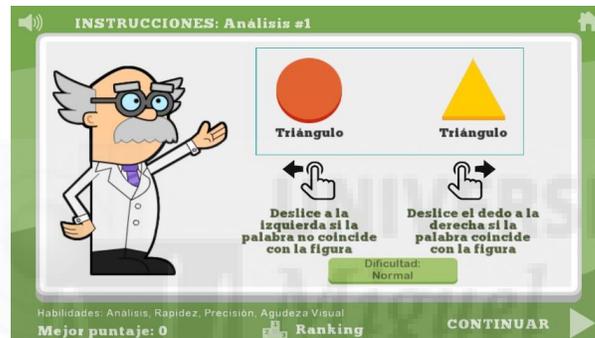


Figura 3-17.: Tarea de lógica nº 1.

- Lógica 2. El juego presenta dos figuras y ha de indicarse el resultado de la suma de ambas atendiendo a las propuestas que nos ofrece (figura 3-18).

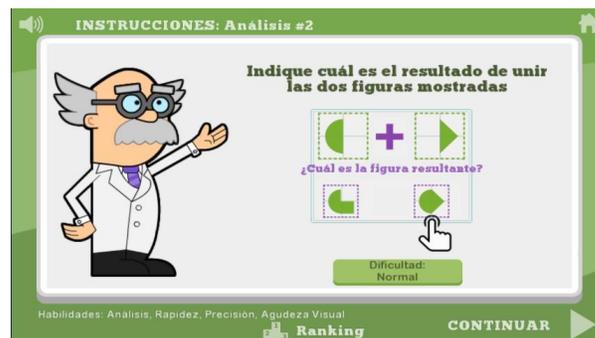


Figura 3-18.: Tarea de lógica nº 2.

- Lógica 3. Aparecen por pantalla una serie de balanzas. Utilizando la capacidad de análisis ha de deducirse cual es el objeto más pesado en vista a estas (figura 3-19).
- Lógica 4. En esta ocasión aparece una maleta cuyo interior se encuentra cuadrículado.

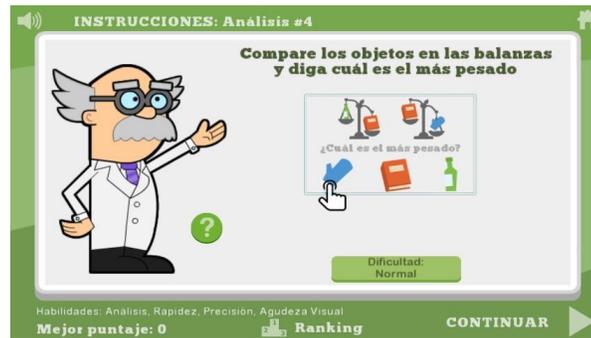


Figura 3-19.: Tarea de lógica nº 3.

En cada cuadro pueden aparecer figuras. El juego voltea la maleta y te indica que selecciones que cuadro contendrá un determinado objeto (figura 3-20).



Figura 3-20.: Tarea de lógica nº 4.

4. Procedimiento

Como ya se ha explicado con anterioridad, los experimentos han consistido en obtener una base de datos en relación al tiempo de reacción y a la exactitud de las respuestas de cada sujeto al ser neuroestimulado mientras realizaba la batería de actividades ya descrita. En esta sección se expone la información relevante a las herramientas y equipos empleados durante los experimentos. El capítulo se va a dividir en tres subsecciones, en la primera se hace una descripción de los usuarios, en la segunda se hace referencia al material, y por último, en la tercera, se hace especial hincapié en el proceso de neuroestimulación.

4.1. Sujetos

En este estudio han participado un total de 30 sujetos sanos (23 hombres y 7 mujeres). El rango de edades fue de entre 19 y 29 años. Todos los usuarios fueron estudiantes universitarios, por lo que todos ellos comparten el mismo nivel de educación y completaron el experimento sin mostrar ningún tipo de problema, es decir, no se observaron efectos secundarios durante el experimento ni presentaron quejas sobre algún dolor o situación incómoda. Ningún usuario pudo diferenciar condiciones de estimulación activa de condiciones sham, ya que durante la experimentación ignoraron si estaban siendo estimulados eléctricamente o no. El grupo de 30 usuarios fue dividido de manera aleatoria en tres grupos de 10, de esta manera, a 10 se les suministró sham, a otros 10, tDCS anódica a $179 \mu\text{A}$ y a los últimos 10, tDCS anódica a $300 \mu\text{A}$, durante 20 minutos mientras participaban en los retos anteriormente mencionados. Asimismo, cada uno de ellos firmó un informe de consentimiento de acuerdo a la Declaración de Helsinki de la AMM (Asociación Médica Mundial).

4.2. Material

Para cumplir con los objetivos de este estudio, se empleó el dispositivo de neuroestimulación StarStim 8 (figura 4-1) y los electrodos hybrid EEG/tCS PISTIM (figura 4-2) de la compañía Neuroelectronics en las posiciones Fp1 (ánodo) y Cz (cátodo) del Sistema Internacional 10-20 de posicionamiento EEG. Para el correcto funcionamiento de los electrodos, se aplicó un gel salino de alta conductividad, bacterioestático y soluble en agua. A su vez, los sujetos realizaron las tareas de entrenamiento en una Tablet cuyo sistema operativo fue

Android.

Por otra parte, StarStim 8 constituye un sistema de neuroestimulación híbrido inalámbrico



Figura 4-1.: Dispositivo de neuroestimulación tDCS StarStim 8 inalámbrico de la compañía Neuroelectrics.



Figura 4-2.: Electrodo PISTIM de la compañía Neuroelectrics.

de 8 canales que sirve tanto para obtener señales de EEG como para aplicar tCS. Incluye un gorro de neopreno (figura 4-3) que proporciona 39 posiciones para los electrodos basadas en el Sistema Internacional 10-10 de localización EEG. Dicho equipo integra los electrodos hybrid EEG/tCS PISTIM, una referencia doble EARCLIP (figura 4-4) y un software denominado NIC (figura 4-5), con una interfaz de usuario intuitiva, que permite una fácil configuración y monitorización de parámetros de estimulación, grabación y visualización de EEG y simulación de campo eléctrico tCS multifocal rápido, utilizando un modelo avanzado de cabeza FEM.



Figura 4-3.: Casco de neopreno (StarStim8) de la compañía Neuroelectrics.



Figura 4-4.: Referencia EARCLIP y electrodos de unión (StarStim8) de la compañía Neuroelectrics.

Por último, con el fin de procesar los datos obtenidos al aplicar la neuroestimulación durante la realización de las actividades se utilizó el programa de análisis estadístico IBM SPSS Statistics 23, con el cual se llevó a cabo un análisis descriptivo de los datos y una prueba de homogeneidad de varianzas para posteriormente realizar análisis de varianzas (ANOVAs).

4.3. Proceso de Neuroestimulación

El experimento consistió principalmente en el suministro de tDCS anódica con unas intensidades de $179\mu\text{A}$ a 10 sujetos, $300\mu\text{A}$ a otros 10 sujetos y estimulación sham a los últimos 10,

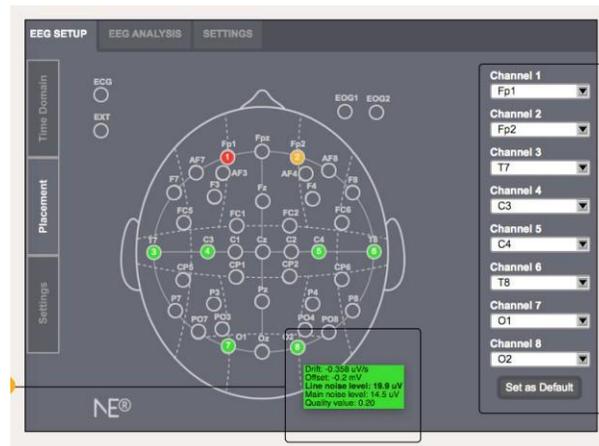


Figura 4-5.: Software NIC, Interfaz de usuario intuitiva (StarStim8) de la compañía Neuroelectric.s

formando así un total de 30 sujetos. Cada uno de ellos realizó los retos anteriormente descritos mientras estaba siendo estimulado como se ilustra en la figura 4-6. La estimulación tuvo una duración de 20 minutos. Al finalizar dichos retos y todavía siendo estimulados, repitieron nuevamente cada actividad, de manera que al completarlas, el proceso de estimulación había terminado en la mayoría de los casos, pero sus efectos todavía estaban presentes (figura 4-6).

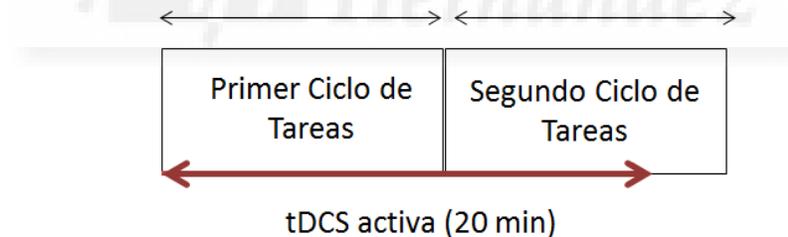


Figura 4-6.: Esquema del proceso de neuroestimulación tDCS.

En primer lugar, se configuró el protocolo de estimulación a través del software NIC. Se seleccionaron los canales a utilizar con su correspondiente localización. Posteriormente, se configuraron los parámetros de estimulación y se indicó qué electrodo iba a funcionar como ánodo y cuál como cátodo. El canal 2 se posicionó en la localización Cz y el canal 3 en la posición Fp1 del Sistema Internacional 10/10 de posicionamiento EEG. El electrodo situado sobre el DLPFZ izquierdo, Fp1, actuó como ánodo y el Cz como cátodo. El porcentaje de retorno fue del 100 %. La configuración de los protocolos para máxima intensidad, mínima intensidad y estimulación sham se muestran en las figuras 4-7, 4-8 y 4-9 respectivamente.

Una vez el protocolo de estimulación fue configurado, se procedió a experimentar con los

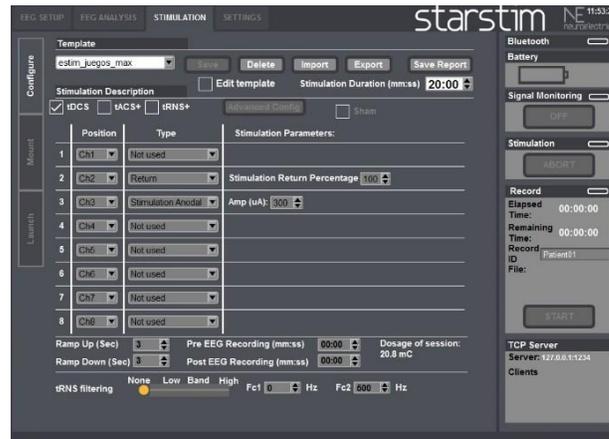


Figura 4-7.: Diseño del protocolo de estimulación para máxima intensidad



Figura 4-8.: EDiseño del protocolo de estimulación para mínima intensidad.

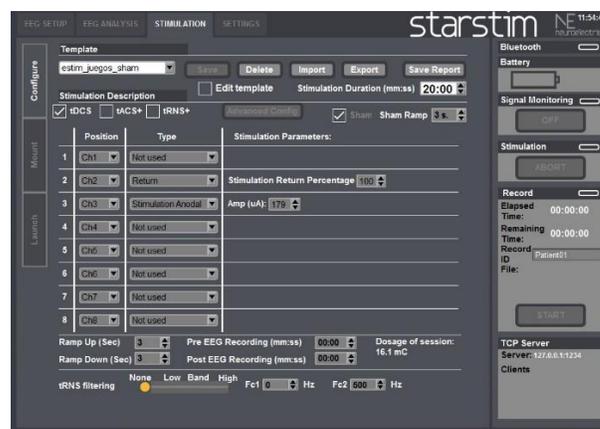


Figura 4-9.: Diseño del protocolo de estimulación para estimulación de tipo sham.

sujetos sanos, que fueron asignados de manera aleatoria a los distintos grupos de estimulación (sham, tDCS a 179 μA y tDCS a 300 μA). A cada uno de ellos se le preguntó si estaban tomando medicación con la intención de evitar posibles efectos secundarios. Todos ellos fueron informados debidamente sobre el proceso de estimulación, ya que se les entregó un informe de consentimiento de acuerdo a la Declaración de Helsinki de la AMM que tuvieron que firmar. Durante la realización de las actividades ignoraron si estaban siendo estimulados o no. Previamente a la realización de las mismas se les indicó que deberían de tratar de realizar los retos de la manera más rápida y efectiva posible, ya que los valores que posteriormente iban a ser analizados eran los tiempos de reacción y la exactitud en las respuestas de los mismos. Al comienzo de cada tarea, se explicó brevemente en que consistían con el fin de evitar dudas o errores durante su realización.

Tras informar a cada usuario sobre el experimento del que iban a formar parte, se procedió a la colocación del gorro de neopreno. En primer lugar, se insertaron los electrodos PISTIM en las posiciones Fp1 y Cz para posteriormente colocar el casco sobre la cabeza del sujeto. El casco ha de situarse de manera meticulosa, ya que las posiciones del mismo deben corresponderse con las zonas del cerebro de cada sujeto que representen realmente la función atribuida a dicha posición. Cada usuario posee unas características anatómicas distintas, por lo que para situar de manera correcta el casco se tuvo que identificar en primer lugar el inion y extender una cinta de medir desde este punto hasta el nasion. La intersección entre el punto que representa el 50 % de la longitud total entre ambos huesos y el punto que representa el 50 % de la longitud obtenida desde el punto preauricular derecho hasta el izquierdo se corresponde con el vértex, lugar donde debe ser colocado el electrodo Cz. De esta manera, como se ilustra en la figura **4-10**, la posición Fp1 se encuentra al 10 % de dicha longitud si medimos desde el nasion.

A continuación, cuando el casco se encuentra correctamente dispuesto, se procede a inyectar con una jeringuilla, y a través de un pequeño orificio, el gel salino entre los electrodos y el cuero cabelludo, de manera que se permita la conductividad de corriente eléctrica desde estos hasta las áreas del cerebro que queremos que se vean afectadas por los efectos de la neuroestimulación. También posicionamos la referencia con ayuda de este gel en el lóbulo de la oreja derecha de cada sujeto.

Posteriormente, conectamos unos electrodos con otros, atendiendo a las localizaciones deseadas y conectamos todos los cables al dispositivo de neuroestimulación StarStim 8, que se encontrará sujeto a la parte trasera de la cabeza, aproximadamente sobre el inion como se observa en la figura **4-11**. Una vez se encuentra todo conectado y el dispositivo está encendido, procedemos a comprobar las impedancias con el software NIC en la ventana que se ilustra en la figura **4-12**.

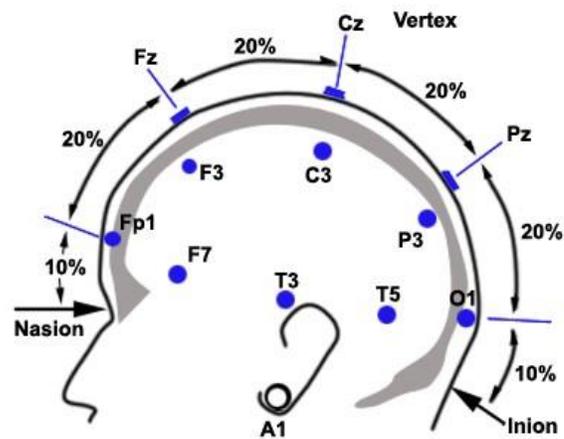


Figura 4-10.: Esquema del posicionamiento del casco de neopreno y los electrodos.



Figura 4-11.: Ilustración de la forma de uso del dispositivo neuroestimulador y el casco.

Finalmente, cuando el programa nos indica que las impedancias se encuentran colocadas correctamente, procedemos al proceso de estimulación elegido de manera aleatoria para cada usuario. Previamente, el sujeto se posiciona frente a la tablet de la manera más cómoda posible, como se observa en la figura 4-13. Seleccionamos la opción "Start" sin que el usuario pueda observar que tipo de estimulación le va a ser suministrada y comienza a realizar el test de actividades mientras sus resultados quedan registrados en una base de datos (Anexo A). El usuario finalizará el primer ciclo de actividades y comenzará posteriormente a repetirlo como ya se ha mencionado con anterioridad.



Figura 4-12.: Comprobación de las impedancias.



Figura 4-13.: Usuario realizando las actividades de entrenamiento cognitivo mientras está siendo estimulado.

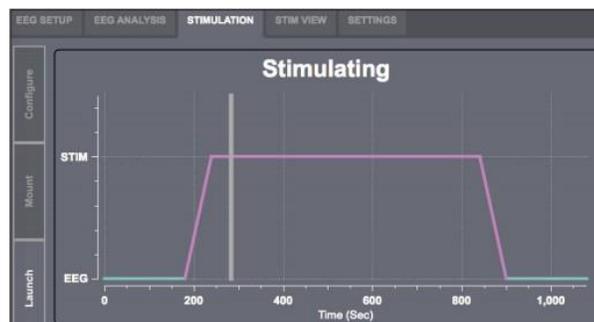


Figura 4-14.: Proceso de estimulación. Forma de onda.

5. Análisis estadístico

En este capítulo, se describe el problema estadístico resultante de la obtención de las puntuaciones de los sujetos en los retos. A su vez, se explica la elección de la utilización de un análisis de la varianza (ANOVA) para dar solución a dicho problema. Por último, se desarrolla el proceso de realización de un ANOVA en el programa IBM SPSS Statistics 23.

5.1. Planteamiento del problema

Al observar los datos obtenidos tras la experimentación, vemos como se diferencian claramente los resultados de exactitud y tiempo de reacción para los 3 grupos estimulación (Sham, tDCS a $149\mu\text{A}$ y tDCS a $300\mu\text{A}$). No obstante, también diferenciamos entre tareas de atención, de lógica y de memoria, teniendo en cuenta si es la primera vez que se llevan a cabo o la segunda. Lo que pretende este estudio es comparar tanto las condiciones de estimulación eléctrica como la eficacia de la misma en los distintos procesos mentales atendiendo para ello a las variables dependientes de exactitud y tiempo de reacción. También se pretende conocer si la eficacia de la tDCS es mayor tras haber llevado a cabo un proceso previo de aprendizaje, por lo que se tienen en cuenta los resultados obtenidos durante el segundo ciclo de realización de las tareas.

Con la finalidad de llevar a cabo la comparativa anteriormente mencionada, se procedió a realizar un análisis de la varianza (ANOVA) de los datos obtenidos. Puesto que cada grupo de estimulación está formado por distintos participantes, es decir, las pruebas no fueron repetidas bajo distintas condiciones de estimulación, hablamos de un ANOVA independiente. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K 'tratamientos' o 'factores' con respecto a la variable dependiente o de interés.

En un primer momento se pensó en realizar un "t-test" para comparar las distintas combinaciones, sin embargo, se hubieran tenido que comparar los grupos de dos en dos por lo que hubiéramos tenido que realizar tres test por separado. Además, al asumir que cada test es independiente se podrían multiplicar las probabilidades incrementando de esta manera la probabilidad de error a una cifra mayor de la aceptada por la sociedad científica.

Cuando se realiza un t-test, se trabaja sobre la hipótesis de que dos muestras tengan la

misma media. De manera similar, un ANOVA comprueba la hipótesis nula de que todos los grupos presenten la misma media, es decir, calcula un ratio F similar al estadístico t en el que se compara la varianza sistemática de los datos con la no sistemática, si su valor es menor a la unidad, por definición, representa un efecto no significativo:

$$F = \frac{M S_M}{M S_R} \geq 1 \quad (5-1)$$

donde $M S_M$ representa la variación dentro de las muestras o Intra-grupos y cuantifica la dispersión de los valores de cada muestra con respecto a sus correspondientes medias, mientras que $M S_R$ se corresponde con la variación entre muestras o Inter-grupos, que cuantifica la dispersión de las medias de las muestras con respecto a la media global.

El ANOVA requiere el cumplimiento los siguientes supuestos:

- Las poblaciones (distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor) son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homoscedasticidad).

Las expresiones para el cálculo de los elementos que intervienen en el ANOVA son las siguientes:

$$M S_M = \frac{S S_M}{a_j^M} \quad (5-2)$$

$$M S_R = \frac{S S_R}{a_j^R} \quad (5-3)$$

donde $S S_M$, la suma de cuadrados del modelo, representa el total de la variación que puede ser explicada por el hecho de que los datos vengan de distintos grupos y $S S_R$, la suma de cuadrados residual ($S S_R = S S_T - S S_M$), se corresponde con la variación que no puede ser explicada por el modelo, es decir, representa la variación provocada por factores individuales, como en nuestro caso podría ser la diferencia de edad de los sujetos. Sus expresiones matemáticas son:

$$S S_M = \sum n_k (\bar{x}_k - \bar{x}_{grand})^2 \quad (5-4)$$

$$S S_R = \sum n_k (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_k)^2 \quad (5-5)$$

Por su parte, los grados de libertad para SS_R (df_R) constituyen el total de grados de libertad menos los grados de libertad del modelo ($df_R = df_T - df_M$).

Como se ha mencionado, en un experimento, el ratio F indica si este mismo ha tenido algún efecto sobre la población a estudiar, pero no indica de manera específica que efecto es este, por lo tanto, se hace necesario contrastar los distintos grupos sin incrementar la probabilidad de error (sin utilizar un "t-test"). Si al realizar la prueba ANOVA se obtiene una significación baja (por ejemplo menos que 0.05) rechazaremos la hipótesis de que en todos los grupos las medias son iguales. La siguiente cuestión que aparece de modo natural en esta situación es la de identificar en qué grupos se han producido las diferencias. Básicamente tenemos las siguientes aproximaciones para abordar la cuestión:

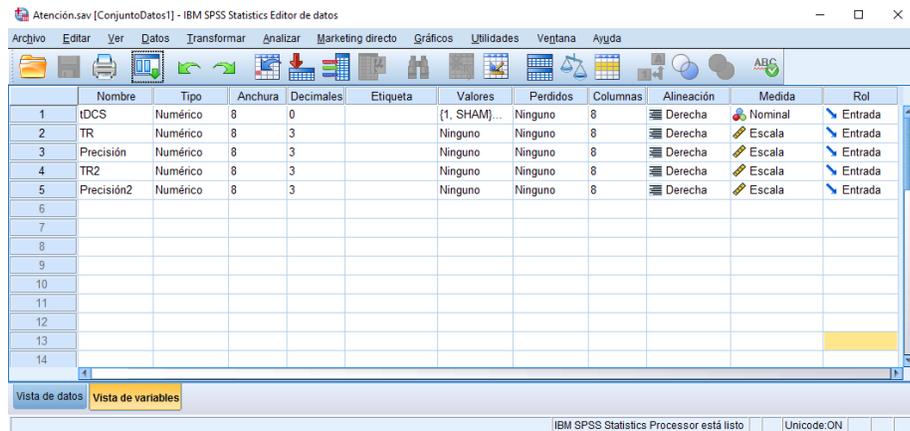
- Cuando no tenemos una idea previa de en qué grupos eran de esperar las mayores diferencias, utilizamos los contrastes no planeados o contrastes *post-hoc*.
- Antes de recoger datos es posible que tengamos algunas sospechas de dónde se deberían producir las diferencias. A esto se le denomina comparaciones planeadas.

En nuestro caso, utilizaremos la aproximación por comparaciones planeadas (contraste), ya que partimos de la hipótesis de que la tDCS aplicada con la máxima intensidad mejorará las puntuaciones en los retos.

5.2. ANOVA de un factor en SPSS

Antes de comenzar hemos de introducir los valores obtenidos a través de la experimentación en el programa SPSS. Como se ha mencionado, analizaremos los datos de atención, memoria y lógica por separada atendiendo a si es la primera vez que se realizan las actividades o la segunda. Para ello, en primer lugar definimos las variables en la ventana *Vista de Variables* como se observa en la figura 5-1, donde se describe el proceso utilizado para realizar el ANOVA de los valores de atención obtenidos por primera vez. Observamos como existen cuatro variables de tipo escalar que representan los valores de precisión y tiempo de reacción (TR) obtenidos en primer y segundo lugar, y también una variable de tipo nominal "tDCS", referida al tipo de estimulación que ha recibido cada sujeto. Para diferenciar las condiciones de estimulación se definió una etiqueta para cada valor como muestra la figura 5-2.

A continuación, en la ventana *Vista de datos* aparecen un total de 5 columnas referidas a las variables definidas y 120 filas correspondientes con los resultados obtenidos por el total de los usuarios en las tareas de atención (figura 5-3). Marcamos 1, 2 o 3 en la columna de "tDCS" según se haya suministrado estimulación sham, tDCS a la mínima intensidad o tDCS a la máxima.



	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	tDCS	Numérico	8	0		{1, SHAM}...	Ninguno	8	Derecha	Nominal	Entrada
2	TR	Numérico	8	3		Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
3	Precisión	Numérico	8	3		Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
4	TR2	Numérico	8	3		Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
5	Precisión2	Numérico	8	3		Ninguno	Ninguno	8	Derecha	Escala	Entrada
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											

Figura 5-1.: Definición de las variables.

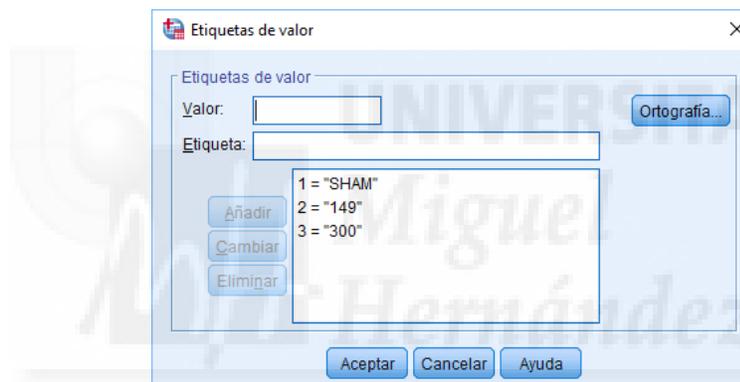
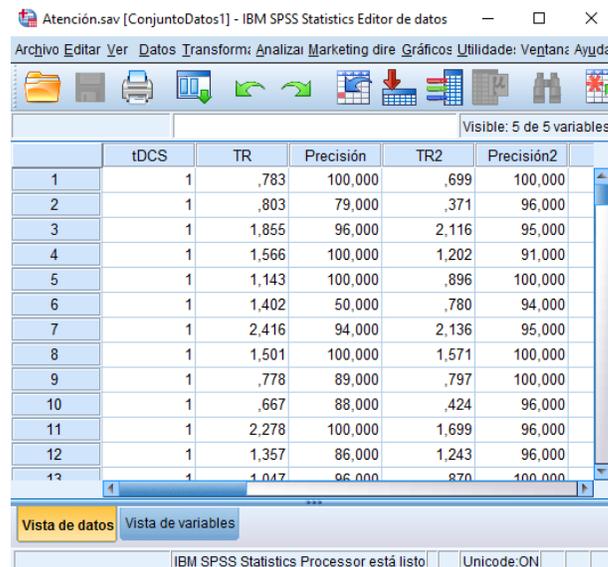


Figura 5-2.: Proceso de etiquetado de los grupos.

Una vez se han introducido los datos, para llevar a cabo un ANOVA en SPSS hemos de seguir el itinerario *Analyze* → *Compare Means* → *One-Way ANOVA* que da lugar a una ventana de diálogo (figura 5-4) donde se definen las variables dependientes, en nuestro caso la "Precisión" el "TR" el factor, que constituye el tipo de estimulación "tDCS". Puesto que queremos realizar pruebas de contraste hacemos click sobre *Contrasts* y accedemos al cuadro de diálogo que nos permite realizar las comparaciones planeadas (figura 5-5). Con el fin de comprobar la moda de los datos de manera significativa seleccionamos la opción *Polynomial* y definimos el grado del polinomio que deseamos atendiendo a los grupos de estimulación. Este proceso lo llevaremos a cabo ascendentemente, de manera que el grupo placebo (sham) quede codificado con el valor más bajo, es decir, "1", el grupo al que se le suministró tDCS a la mínima intensidad "2" el de mayor intensidad "3", tal y como habíamos hecho con anterioridad.

A continuación, para realizar el proceso de contraste debemos asignar un peso a cada grupo. El primer paso consiste en decidir que comparaciones queremos hacer y que pesos debemos



	tDCS	TR	Precisión	TR2	Precisión2
1	1	,783	100,000	,699	100,000
2	1	,803	79,000	,371	96,000
3	1	1,855	96,000	2,116	95,000
4	1	1,566	100,000	1,202	91,000
5	1	1,143	100,000	,896	100,000
6	1	1,402	50,000	,780	94,000
7	1	2,416	94,000	2,136	95,000
8	1	1,501	100,000	1,571	100,000
9	1	,778	89,000	,797	100,000
10	1	,667	88,000	,424	96,000
11	1	2,278	100,000	1,699	96,000
12	1	1,357	86,000	1,243	96,000
13	1	1,047	96,000	,870	100,000

Figura 5-3.: Inserción de la base de datos.

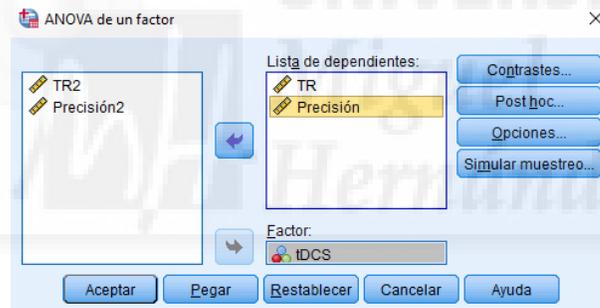


Figura 5-4.: Cuadro de diálogo principal para la realización de ANOVAs de un camino.

asignar a cada grupo. Esto lo podemos hacer siguiendo las siguientes reglas:

- Regla 1: Solo se van a comparar dos conjuntos de datos.
- Regla 2: Los pesos positivos se comparan contra los negativos.
- Regla 3: La suma total de todos los pesos ha de ser cero.
- Regla 4: Si un grupo queda fuera de la comparación ha de tener asignado un peso de 0.
- Regla 5: Los pesos asignados al grupo o grupos que forman un conjuntos de datos tienen que ser igual al número de grupos que forman el conjuntos de datos contrario.

De esta manera, en el primer contraste, definimos los pesos -2 (sham), +1 (tDCS a 149 μ A) y -1 (tDCS a 300 μ A), mientras que para el segundo, definimos 0 (sham), -1 (tDCS a 149

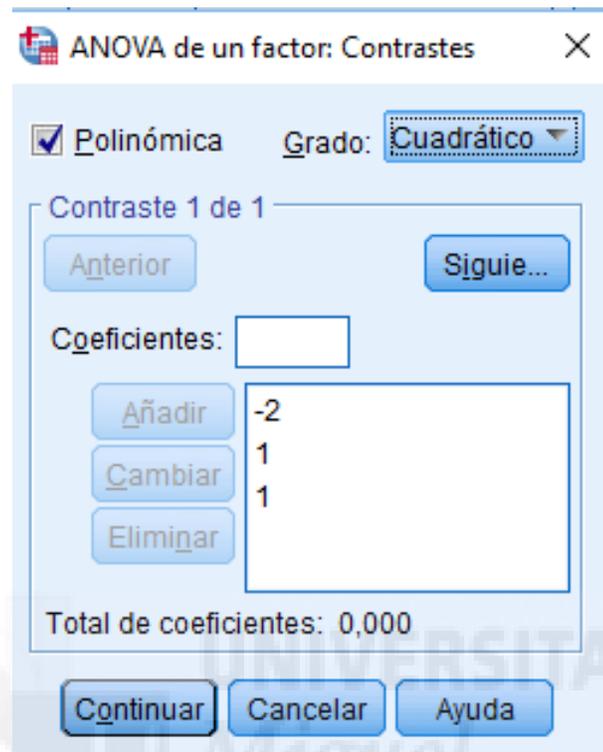


Figura 5-5.: Cuadro de diálogo para la realización de los contrastes

μA), +1 (tDCS a $300 \mu\text{A}$). La elección de estos pesos queda descrita en las figuras 5-6 y 5-7. Lo que buscamos es comparar los valores obtenidos al aplicar sham con los obtenidos al suministrar tDCS de manera general. La última comparación se corresponderá con los efectos producidos al suministrar tDCS a máxima intensidad respecto a la tDCS suministrada a la mínima intensidad.

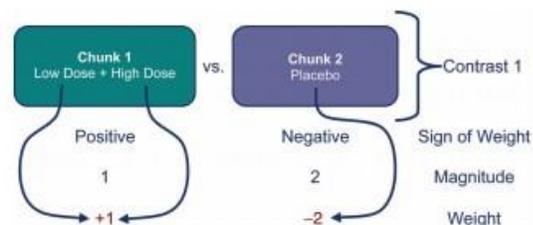


Figura 5-6.: Esquema del contraste entre el grupo placebo y los grupos a los que se les suministran dosis altas y bajas [12].

Por último, hacemos click sobre el botón *Options* (figura 5-4). Seleccionamos la opción *Descriptive* (figura 5-8) para obtener un informe de resultados en los que se incluyan datos como la media, la desviación estándar, errores estándar, rangos e intervalos de confianza

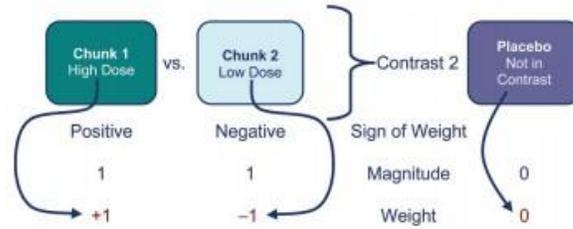


Figura 5-7.: Esquema del contraste entre una dosis alta y otra baja [12].

para las medias de cada grupo. Puesto que para poder realizar un ANOVA se tiene que cumplir el supuesto de homoscedasticidad seleccionamos *Homogeneity of variance test* para comprobar que las poblaciones presentan la misma varianza. SPSS utiliza para ello el test de Levene. En el caso de que este test no confirme el principio anteriormente mencionado, este software nos ofrece dos alternativas, dos test de homogeneidad más robustos que el anterior, *Brown-Forsythe* y *Welch*. También incluimos la obtención de gráficas de las medias de los grupos (*Means plot*) y seleccionamos la opción *Exclude cases analysis by analysis*, por la cual se excluye cualquier valor perdido para la variable dependiente o independiente utilizada en el análisis particular.

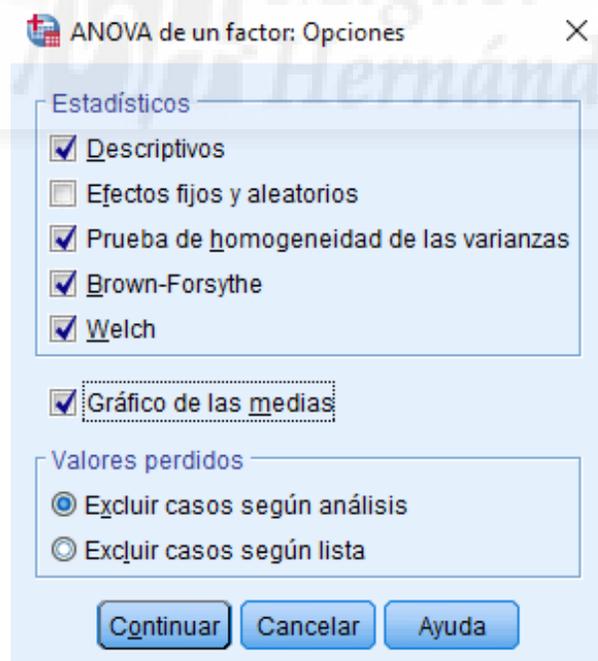


Figura 5-8.: Opciones para la realización de ANOVAs de un camino.

6. Análisis de los resultados

En este capítulo se presenta el análisis estadístico de los resultados a través de los informes obtenidos mediante el programa IBM SPSS atendiendo a los tiempos de reacción y la precisión de las respuestas de cada grupo de sujetos. Dichos informes se encuentran en el Anexo B, mientras que los valores de tiempo de reacción y precisión de cada usuario pueden observarse en el Anexo A adjunto a este documento.

Por otra parte, se adjuntan las gráficas de barras de error (figuras **6-3,6-4,6-1,6-2,6-7,6-8,6-5,6-6,6-11,6-12,6-9,6-10**) obtenidas a través de los distintos estudios descriptivos que se llevaron a cabo. Estas gráficas, que preceden al estudio de comparaciones planeadas realizado tras cada ANOVA, nos permiten identificar la variabilidad de la medida empleada como función de resumen en el gráfico. La estructura del gráfico se basa en un punto central que identifica el valor de la media y la longitud de la línea (barra de error) indica un intervalo de confianza, en este caso del 95% de los datos. Asimismo, nos permite detectar y representar diferencias significativas entre grupos. Su longitud nos indica de manera gráfica la cantidad de incertidumbre que hay en nuestros datos. Por su parte, el solapamiento entre las barras de dos tratamientos nos dirá (siempre de manera aproximada) la significación de la diferencia entre ellos. En este caso, basta con que las barras se solapen una longitud igual a 0.5 para poder inferir diferencias significativas para $p < 0.5$, ya que tenemos una muestra de al menos 10 elementos independientes. En ellas se demuestra lo que posteriormente verifica la prueba de contrastes, la precisión en las respuestas aumenta en la gran mayoría de ocasiones mientras que los tiempos de reacción disminuyen. Los intervalos de confianza son bastante amplios en general cuando hablamos de sham y tDCS a baja intensidad y es visible el solapamiento entre ambos, por lo que estos datos no presentan una gran significancia. Por el contrario, el intervalo de confianza de los datos obtenidos al suministrar tDCS a alta intensidad, presentan una amplitud menor y en los casos referidos a las actividades de memoria no se produce apenas solapamiento infiriendo de esta manera una diferencia entre el resto de grupos. Como ya se ha mencionado, este análisis es aproximado, por lo que la diferencia entre grupos se refleja de mejor manera en las pruebas de contraste.

6.1. Respuestas correctas

En general, los sujetos presentaron una mayor precisión en sus respuestas cuando les fue aplicada tDCS a $300 \mu\text{A}$ durante todas las actividades. Por ejemplo, durante las tareas de

atención que fueron realizadas por primera vez, la media de los datos de precisión durante la estimulación sham fue del 90.10 % (± 11.97 % SD) mientras que durante los procesos de estimulación en los que se aplicaron la mínima y la máxima intensidad la medias fueron del 90.87 % (± 10.20 % SD) y del 93.42 % (± 7.23 % SD).

Con el objetivo de demostrar si los efectos de la tDCS fueron significantes se realizó un ANOVA de dos caminos por cada bloque de tareas. Los resultados de este análisis atendiendo al contraste del término lineal se desglosan en la tabla **6-1**, donde observando el dato de significancia podemos ver que esta misma tan sólo es menor a 0.05 en el bloque de tareas relacionado directamente con la memoria. Por otra parte, en las tablas **6-2** y **6-3** se presentan las pruebas de contraste, teniendo en cuenta en cada caso si se asumieron varianzas iguales o distintas. La tabla 2 representa una comparación entre el grupo al que se le administró estimulación placebo y el conjunto de los grupos en los que la tDCS es de tipo activa, mientras que la tabla 3 muestra un contraste entre la tDCS a 149 μA y a 300 μA . La significancia se ha descrito de manera bilateral por lo que ha de ser dividida por la mitad. Los contrastes revelan que la tDCS activa incrementa los aciertos en tareas de memoria comparando los resultados con los del grupo de control (sham). Asimismo, dicho análisis nos permite comprobar que también mejora la precisión en las respuestas a tareas lógicas si se aplica la máxima intensidad utilizada en esta investigación.

Tabla 6-1.: ANOVAs según el tipo de tarea realizada

		F	df	Sig.
Atención	TR 1	3.128	1	0.080
	Precisión 1	2.214	1	0.139
	TR 2	2.124	1	0.148
	Precisión 2	0.337	1	0.563
Memoria	TR 1	11.358	1	0.001
	Precisión 1	9.027	1	0.003
	TR 2	11.220	1	0.001
	Precisión 2	6.343	1	0.013
Lógica	TR 1	0.019	1	0.891
	Precisión 1	1.126	1	0.291
	TR 2	0.022	1	0.882
	Precisión 2	0.010	1	0.922

6.2. Tiempos de reacción (TR)

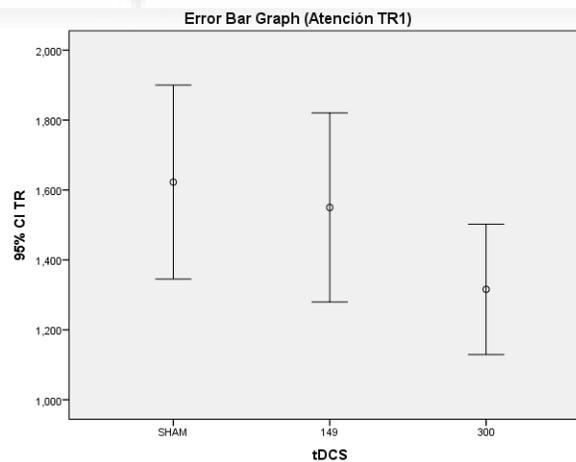
En cuanto al análisis estadístico descriptivo relacionado con el tiempo de reacción (s) de los sujetos al realizar las tareas de cada bloque, cabe destacar que, en general, la media de estos tiempos disminuye según aumenta la intensidad durante el proceso de neuromodulación. Durante el primer ciclo de tareas de memoria se registraron datos de 0.980 s (± 0.562 s SD) para la máxima intensidad aplicada, 1.420 s (± 0.953 s SD) para el caso de mínima intensidad y 1.658 s (± 1.100 s SD) para estimulación sham. Tras realizar las pruebas de ANOVA, al igual que en el caso anterior, se observa como la tDCS sólo fue efectiva en los casos relacionados con las tareas de memoria, repitiendo incluso valores similares durante el primer ciclo y el segundo, como se observa en la tabla 6-1. Por otra parte, atendiendo a los resultados ofrecidos por la tabla 6-2, se revela que la tDCS activa ha sido efectiva respecto a la estimulación sham en cuanto a tiempos de reacción durante la realización del bloque de memoria, pero también durante la repetición del bloque de lógica, algo que los resultados globales del ANOVA no detectaban. Respecto a la tabla 6-3, se confirma que los resultados en las actividades de memoria mejoran con el incremento de la intensidad de la tDCS al igual que en el segundo ciclo de ejecución de tareas de lógica.

Tabla 6-2.: Prueba de contrastes. Comparación entre estimulación sham y tDCS

		t	df	Sig. (bilateral)
Atención	TR 1	-1.263	117.000	0.209
	Precisión 1	1.059	117.000	0.292
	TR 2	-1.287	117.000	0.201
	Precisión 2	-0.089	117.000	0.929
Memoria	TR 1	-2.364	58.901	0.021
	Precisión 1	2.106	55.370	0.040
	TR 2	-2.231	58.022	0.024
	Precisión 2	1.835	58.873	0.072
Lógica	TR 1	0.104	117.000	0.917
	Precisión 1	0.169	117.000	0.866
	TR 2	1.731	47.969	0.090
	Precisión 2	-1.405	90.829	0.163

Tabla 6-3.: Prueba de contrastes. Comparación entre tDCS a 150 μA y tDCS a 300 μA .

		t	df	Sig. (bilateral)
Atención	TR 1	-1.350	117.000	0.180
	Precisión 1	1.141	117.000	0.256
	TR 2	-0.686	117.000	0.494
	Precisión 2	1.316	117.000	0.191
Memoria	TR 1	-2.500	63.221	0.015
	Precisión 1	2.206	50.982	0.032
	TR 2	-2.254	57.874	0.014
	Precisión 2	1.717	57.819	0.091
Lógica	TR 1	0.094	117.000	0.925
	Precisión 1	1.831	117.000	0.070
	TR 2	-2.071	39.369	0.045
	Precisión 2	1.823	55.014	0.074

**Figura 6-1.:** Gráfica de barras de error para los primeros valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.

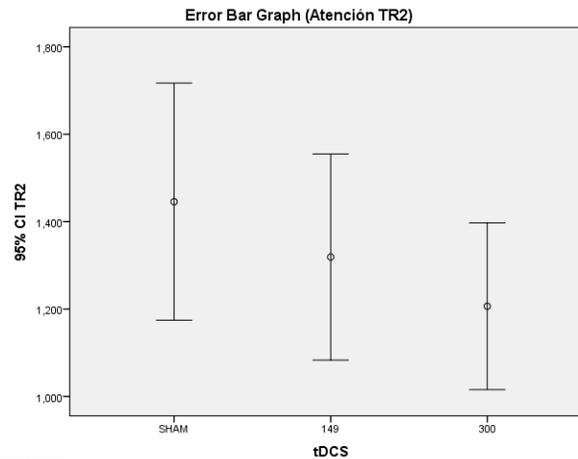


Figura 6-2.: Gráfica de barras de error para los segundos valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.

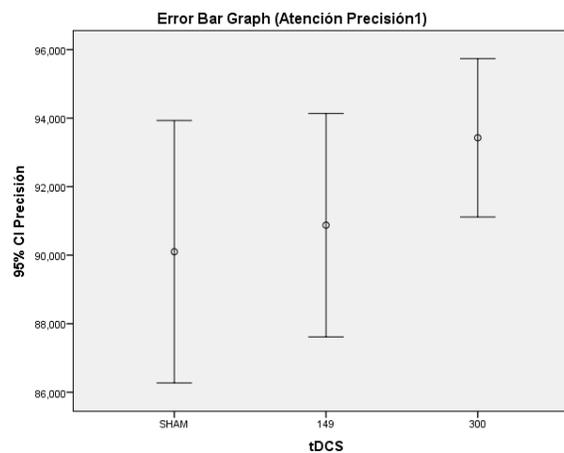


Figura 6-3.: Gráfica de barras de error para los primeros valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.

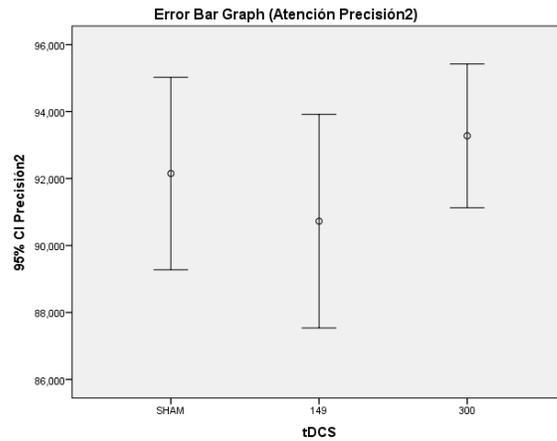


Figura 6-4.: Gráfica de barras de error para los segundos valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la atención.

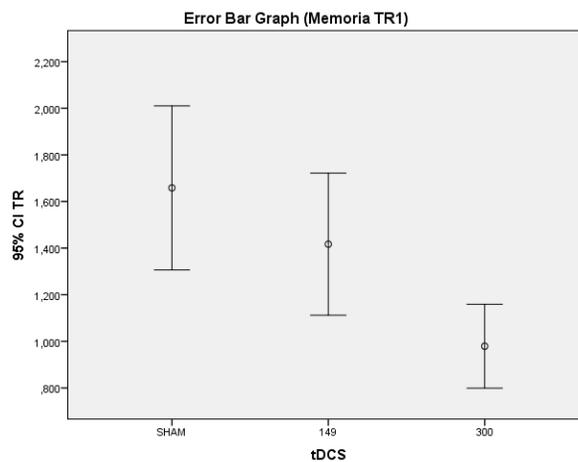


Figura 6-5.: Gráfica de barras de error para los primeros valores de tiempos de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.

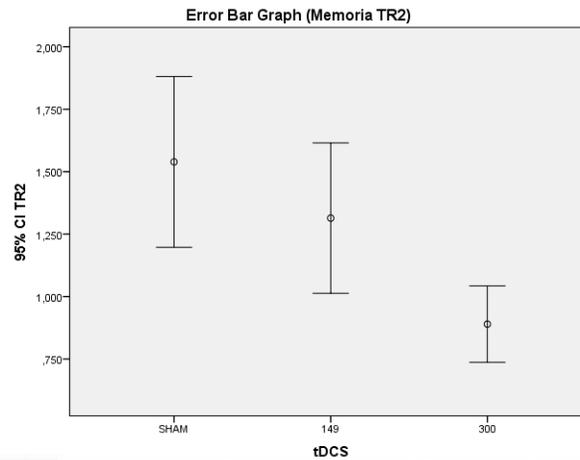


Figura 6-6.: Gráfica de barras de error para los segundos valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.

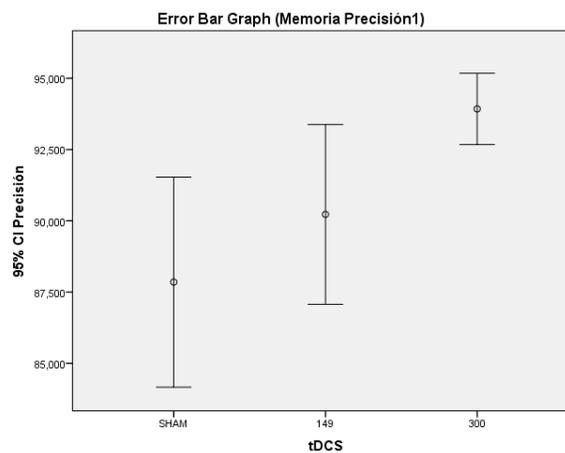


Figura 6-7.: Gráfica de barras de error para los primeros valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.

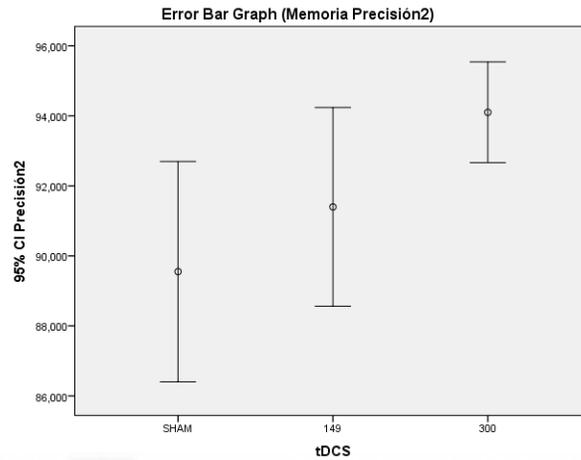


Figura 6-8.: Gráfica de barras de error para los segundos valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la memoria.

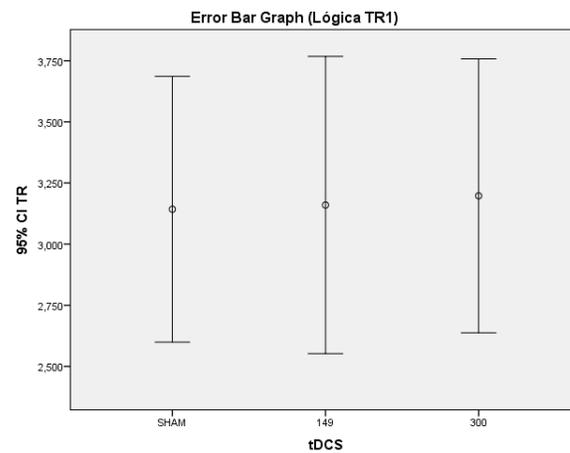


Figura 6-9.: Gráfica de barras de error para los primeros valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.

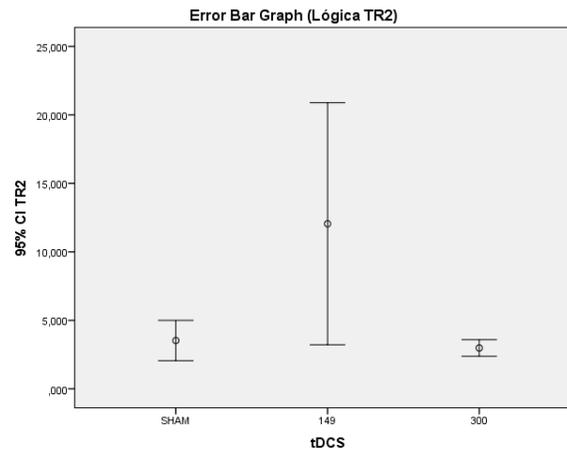


Figura 6-10.: Gráfica de barras de error para los segundos valores de tiempo de reacción obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.

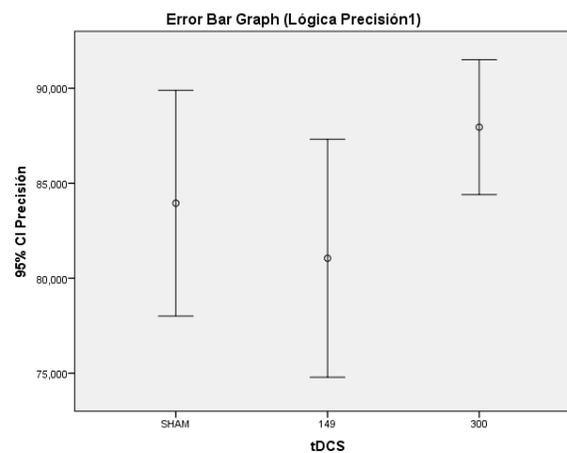


Figura 6-11.: Gráfica de barras de error para los primeros valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.

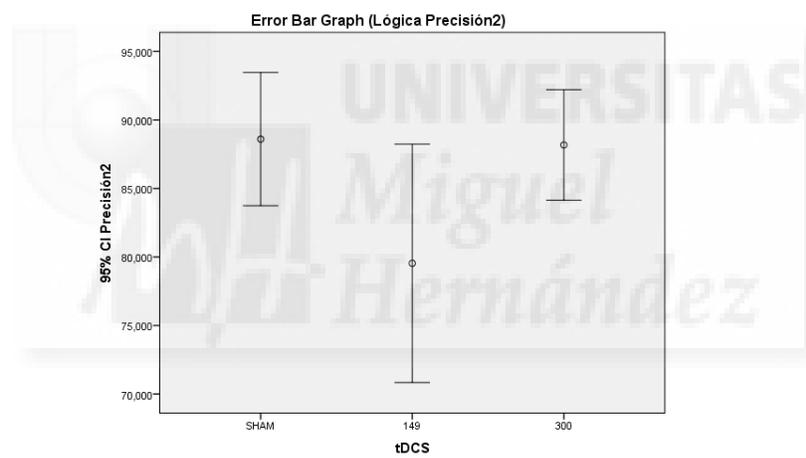


Figura 6-12.: Gráfica de barras de error para los segundos valores de precisión obtenidos en las tareas relacionadas con la lógica.

7. Conclusión

El tratamiento de la disfunción cognitiva sigue siendo una necesidad clínica insatisfecha hoy en día. De acuerdo a la Comisión Europea el número de personas con dificultades cognitivas asciende a 30 millones en Europa. En este documento, se han descrito diversos estudios sobre la utilización de tDCS con la finalidad de obtener mejora cognitiva tanto en personas sanas como en pacientes con Alzheimer, Parkinson o depresión, entre otras enfermedades. Centrándonos en esta información, podemos considerar la tDCS como un tratamiento experimental en el que, al igual que con otros tratamientos médicos, no se puede asegurar un resultado del todo específico. Se puede observar como algunos pacientes mejoran con rapidez, mientras que otros lo hacen lentamente o incluso, en alguno de ellos no se percibe ningún tipo de mejora.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran los efectos positivos de la tDCS sobre el DLPFC izquierdo en cuanto a mejora cognitiva. Como en otros estudios, se confirma de esta manera su efectividad, sin embargo, en esta ocasión, la localización del ánodo (Fp1) difiere de la utilizada en los mismos.

Se revela que la tDCS anódica aplicada sobre la posición Fp1 del Sistema Internacional 10-20 EEG mejora los tiempos de reacción y la precisión de las respuestas en tareas de memoria y en algunas ocasiones, la mayoría al pasar por un proceso previo de aprendizaje (segundo ciclo de realización de las tareas), en actividades relacionadas con la lógica. También se comprueba a través del test de contrastes que los efectos más significantes son producidos al suministrar $300 \mu\text{A}$, ya que al suministrar $149 \mu\text{A}$ se obtienen resultados muy similares a los obtenidos al aplicar estimulación sham. Asimismo, no se perciben grandes cambios respecto al primer ciclo de realización de las tareas y el segundo, salvo el caso que guarda relación con las tareas lógicas. Podría afirmarse entonces que los efectos de la neuroestimulación han mejorado con el aprendizaje de dichas actividades.

Por otra parte, debe ser mencionado que no se observó ningún tipo de mejora en las tareas de atención (sólo al realizar un análisis descriptivo de los datos), por lo que se concluye que quizás esta disposición de los electrodos no produce ninguna mejora sobre este proceso cognitivo o que posiblemente la tDCS deba ser suministrada a mayor intensidad o durante más tiempo, atendiendo así a la relación de dependencia existente entre ambas propiedades.

Existen multitud de investigaciones sobre la tDCS para mejora motora, sin embargo, la tDCS para mejora cognitiva constituye un campo de investigación todavía poco desarrollado debido al escaso conocimiento que se tiene sobre esta área del cerebro. Una manera de hacer más específicas estas investigaciones sería combinar el proceso de estimulación con el de registro de señales EEG. Por otro lado, también sería interesante comprobar los resultados de tiempo de reacción y precisión en individuos que no sólo formaran parte de un grupo de estimulación, sino que cada uno de ellos participara en los distintos procesos en diferentes sesiones con la suficiente separación para que los efectos de la tDCS desaparecieran entre las distintas pruebas. Otro dato a tener en cuenta en el caso de seguir dividiendo a los sujetos por grupos de estimulación, podría ser conocer el coeficiente intelectual de cada uno de ellos para que las muestras fueran lo más homogéneas posibles.

Asimismo, un tema importante a tener en cuenta, es la duración de los efectos de la tDCS, siendo como máximo de algo más de dos horas tras su aplicación. Se han de buscar soluciones para mejorar estos tiempos o incluir alternativas. Un tratamiento con medicamentos como apoyo a la tDCS podría estar también indicado y ser eficaz, no obstante, han de tenerse en cuenta posibles riesgos o complicaciones. A su vez, este tipo de estimulación puede constituir un tratamiento que potencie la eficacia de otros tratamientos farmacológicos, facilitando reducir la dosis de los mismos.

Existen investigaciones en las que se afirma que la estimulación es más efectiva en personas que sufren algún tipo de discapacidad cognitiva [28], es decir, la neuromodulación podría ser más favorable sobre población clínica, por lo que sería interesante no sólo realizar estudios sobre sujetos sanos, sino también en pacientes con Alzheimer, depresión o ictus. El accidente cerebrovascular (ACV), según la OMS, es la tercera causa de muerte en países industrializados, sin embargo, supone la primera causa de invalidez en el mundo. El 85 % de las personas que sufren un ictus sobreviven, no obstante, la mayoría de ellos lo hacen con secuelas a nivel cognitivo y/o motor, lo cual supone en muchas ocasiones la pérdida de independencia y la reducción de aceptación social. Por otra parte, esta misma organización, espera que para el año 2050 se incremente en un 73 % el número de personas mayores de 65 años en los países industrializados. Un cerebro de esta madurez podría cambiar físicamente en respuesta a un programa de entrenamiento cognitivo y a la tDCS, modificando de esta manera su corteza cerebral y en definitiva, disminuyendo el deterioro cognitivo y la limitación de la capacidad para la vida independiente y autosuficiente. Por todo ello, la investigación sobre esta técnica de neuroestimulación eléctrica es de una gran importancia.

La tDCS constituye una tecnología de rehabilitación en creciente desarrollo que podría resultar la clave de la mejora cognitiva en todos estos pacientes, sin embargo, ha de investigarse en profundidad la duración de sus efectos y a nivel fisiológico, con el fin de posicionar los electrodos y aplicar la corriente de la manera más óptima posible.

A. Anexo: Resultados de las actividades

ATENCIÓN (1ª Vez)											
SHAM				tDCS a 149 µA				tDCS a 300 µA			
USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD
1	Atención 1	0,783	100	11	Atención 1	0,932	97,000	21	Atención 1	1,015	100,000
	Atención 2	0,803	79		Atención 2	0,611	82,000		Atención 2	0,610	84,000
	Atención 3	1,855	96		Atención 3	1,972	100,000		Atención 3	1,759	88,000
	Atención 4	1,566	100		Atención 4	1,033	90,000		Atención 4	1,375	95,000
	Media	1,163	93,320		Media	1,038	91,983		Media	1,106	91,542
2	Atención 1	1,143	100	12	Atención 1	0,991	93,000	22	Atención 1	0,807	100,000
	Atención 2	1,402	50		Atención 2	1,397	80,000		Atención 2	0,485	100,000
	Atención 3	2,416	94		Atención 3	2,007	100,000		Atención 3	2,020	100,000
	Atención 4	1,501	100		Atención 4	1,424	100,000		Atención 4	1,296	100,000
	Media	1,553	82,799		Media	1,410	92,874		Media	1,006	100,000
3	Atención 1	0,778	89	13	Atención 1	1,182	84,000	23	Atención 1	0,934	100,000
	Atención 2	0,667	88		Atención 2	0,752	81,000		Atención 2	1,087	75,000
	Atención 3	2,278	100		Atención 3	2,040	91,000		Atención 3	2,509	100,000
	Atención 4	1,357	86		Atención 4	1,227	83,000		Atención 4	1,410	86,000
	Media	1,125	90,593		Media	1,221	84,668		Media	1,377	89,617
4	Atención 1	1,047	96	14	Atención 1	1,005	100,000	24	Atención 1	0,955	100,000
	Atención 2	0,645	95		Atención 2	0,665	88,000		Atención 2	1,053	86,000
	Atención 3	2,199	100		Atención 3	2,439	94,000		Atención 3	2,086	95,000
	Atención 4	1,396	95		Atención 4	1,470	90,000		Atención 4	1,715	82,000
	Media	1,200	96,478		Media	1,244	92,889		Media	1,377	90,471
5	Atención 1	0,960	100	15	Atención 1	0,936	91,000	25	Atención 1	0,913	88,000
	Atención 2	0,445	96		Atención 2	0,607	95,000		Atención 2	1,077	75,000
	Atención 3	2,311	100		Atención 3	3,297	100,000		Atención 3	2,046	100,000
	Atención 4	1,486	95		Atención 4	1,463	95,000		Atención 4	1,335	91,000
	Media	1,101	97,723		Media	1,287	95,197		Media	1,280	88,033
6	Atención 1	1,551	100	16	Atención 1	1,007	100,000	26	Atención 1	1,166	100,000
	Atención 2	1,626	63		Atención 2	2,442	78,000		Atención 2	0,698	89,000
	Atención 3	3,645	100		Atención 3	1,845	100,000		Atención 3	2,078	100,000
	Atención 4	1,339	86		Atención 4	1,378	90,000		Atención 4	1,538	84,000
	Media	1,873	85,795		Media	1,581	91,534		Media	1,270	92,986
7	Atención 1	0,8	97	17	Atención 1	0,981	100,000	27	Atención 1	0,992	93,000
	Atención 2	1,334	75		Atención 2	1,012	87,000		Atención 2	0,523	95,000
	Atención 3	2,609	82		Atención 3	2,287	95,000		Atención 3	2,893	100,000
	Atención 4	1,3	91		Atención 4	1,210	88,000		Atención 4	2,104	100,000
	Media	1,379	85,837		Media	1,287	92,349		Media	1,333	96,951
8	Atención 1	0,84	94	18	Atención 1	0,799	100	28	Atención 1	1,088	100,000
	Atención 2	1,585	67		Atención 2	1,408	75		Atención 2	0,699	95,000
	Atención 3	4,121	100		Atención 3	4,088	100		Atención 3	1,948	100,000
	Atención 4	1,274	96		Atención 4	1,554	89		Atención 4	1,349	86,000
	Media	1,626	88,180		Media	1,635	90,388		Media	1,189	95,073
9	Atención 1	1,518	95	19	Atención 1	0,857	100	29	Atención 1	0,965	100,000
	Atención 2	1,312	89		Atención 2	1,415	63		Atención 2	0,698	89,000
	Atención 3	3,743	82		Atención 3	2,602	100		Atención 3	1,682	100,000
	Atención 4	1,822	88		Atención 4	1,483	100		Atención 4	1,637	94,000
	Media	1,920	88,380		Media	1,471	89,091		Media	1,167	95,638
10	Atención 1	0,8	100	20	Atención 1	0,982	90	30	Atención 1	0,730	88,000
	Atención 2	1,593	63		Atención 2	1,509	57		Atención 2	0,480	95,000
	Atención 3	3,203	91		Atención 3	4,166	100		Atención 3	1,727	92,000
	Atención 4	1,852	88		Atención 4	1,524	89		Atención 4	1,146	92,000
	Media	1,658	84,278		Media	1,751	82,201		Media	0,913	91,716

Figura A-1.: Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de atención realizadas por primera vez

ATENCIÓN (2ª Vez)											
SHAM				tDCS a 149 μ A				tDCS a 300 μ A			
USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD
1	Atención 1	0,699	100	11	Atención 1	0,698	100	21	Atención 1	0,758	100
	Atención 2	0,371	96		Atención 2	0,331	96		Atención 2	0,444	83
	Atención 3	2,116	95		Atención 3	1,555	96		Atención 3	1,776	96
	Atención 4	1,202	91		Atención 4	1,084	93		Atención 4	1,014	86
	Media	0,901	95,446		Media	0,790	96,218		Media	0,882	90,983
2	Atención 1	0,896	100	12	Atención 1	0,865	100	22	Atención 1	0,797	100
	Atención 2	0,78	94		Atención 2	0,581	95		Atención 2	0,438	91
	Atención 3	2,136	95		Atención 3	2,179	100		Atención 3	1,864	96
	Atención 4	1,571	100		Atención 4	1,302	96		Atención 4	1,135	92
	Media	1,237	97,210		Media	1,093	97,723		Media	0,927	94,684
3	Atención 1	0,797	100	13	Atención 1	0,87	100	23	Atención 1	1,032	100
	Atención 2	0,424	96		Atención 2	0,824	73		Atención 2	0,905	75
	Atención 3	1,699	96		Atención 3	2,342	95		Atención 3	2,454	100
	Atención 4	1,243	96		Atención 4	1,111	78		Atención 4	1,387	86
	Media	0,919	96,985		Media	1,169	85,760		Media	1,335	89,617
4	Atención 1	0,87	100	14	Atención 1	0,856	100	24	Atención 1	0,782	100
	Atención 2	0,591	85		Atención 2	0,545	90		Atención 2	0,484	86
	Atención 3	2,132	100		Atención 3	2,319	95		Atención 3	2,369	100
	Atención 4	1,188	96		Atención 4	1,371	85		Atención 4	1,267	100
	Media	1,068	95,044		Media	1,104	92,331		Media	1,032	96,300
5	Atención 1	0,923	97	15	Atención 1	0,837	97	25	Atención 1	0,786	100
	Atención 2	0,433	95		Atención 2	0,462	95		Atención 2	0,572	90
	Atención 3	2,115	95		Atención 3	2,432	94		Atención 3	1,809	100
	Atención 4	1,305	96		Atención 4	1,362	68		Atención 4	1,472	100
	Media	1,025	95,746		Media	1,064	87,606		Media	1,046	97,400
6	Atención 1	1,11	100	16	Atención 1	0,977	90	26	Atención 1	1,028	100
	Atención 2	1,469	78		Atención 2	0,412	96		Atención 2	0,744	88
	Atención 3	3,117	93		Atención 3	1,842	96		Atención 3	2,298	95
	Atención 4	1,249	92		Atención 4	1,244	92		Atención 4	1,294	91
	Media	1,587	90,384		Media	0,980	93,464		Media	1,228	93,392
7	Atención 1	0,719	88	17	Atención 1	0,766	100	27	Atención 1	0,889	97
	Atención 2	1,105	67		Atención 2	0,684	75		Atención 2	0,533	91
	Atención 3	2,529	93		Atención 3	2,04	95		Atención 3	1,984	95
	Atención 4	1,026	90		Atención 4	0,993	90		Atención 4	1,568	83
	Media	1,198	83,815		Media	1,015	89,486		Media	1,102	91,338
8	Atención 1	0,741	98	18	Atención 1	0,776	100	28	Atención 1	1,007	100
	Atención 2	1,268	78		Atención 2	1,168	75		Atención 2	0,862	79
	Atención 3	3,5	100		Atención 3	3,369	100		Atención 3	2,473	100
	Atención 4	1,428	95		Atención 4	1,355	91		Atención 4	1,414	95
	Media	1,472	92,313		Media	1,426	90,892		Media	1,320	93,076
9	Atención 1	1,056	93	19	Atención 1	0,822	100	29	Atención 1	0,885	94
	Atención 2	1,206	100		Atención 2	1,303	78		Atención 2	0,514	96
	Atención 3	3,922	82		Atención 3	2,382	93		Atención 3	1,887	95
	Atención 4	1,611	83		Atención 4	1,482	80		Atención 4	1,154	92
	Media	1,684	89,196		Media	1,394	87,280		Media	0,998	94,238
10	Atención 1	0,808	100	20	Atención 1	0,921	91	30	Atención 1	0,767	97
	Atención 2	1,624	63		Atención 2	1,383	63		Atención 2	0,415	86
	Atención 3	3,217	92		Atención 3	3,31	100		Atención 3	1,8	92
	Atención 4	1,631	78		Atención 4	1,602	78		Atención 4	1,19	84
	Media	1,620	81,998		Media	1,612	81,775		Media	0,909	89,605

Figura A-2.: Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de atención realizadas por segunda vez

MEMORIA (1ª Vez)											
SHAM				tDCS a 149 µA				tDCS a 300 µA			
USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD
1	Memoria 1	0,513	94,000	11	Memoria 1	0,489	94,000	21	Memoria 1	0,597	98,000
	Memoria 2	0,671	92,000		Memoria 2	0,958	99,000		Memoria 2	0,764	95,000
	Memoria 3	0,890	96,000		Memoria 3	0,783	98,000		Memoria 3	0,813	100,000
	Memoria 4	1,729	83,000		Memoria 4	1,326	73,000		Memoria 4	1,369	86,000
	Media	0,853	91,110		Media	0,835	90,329		Media	0,844	94,594
2	Memoria 1	0,529	96,000	12	Memoria 1	0,497	92,000	22	Memoria 1	0,557	94,000
	Memoria 2	0,690	95,000		Memoria 2	0,732	97,000		Memoria 2	0,642	96,000
	Memoria 3	0,899	94,000		Memoria 3	0,805	98,000		Memoria 3	0,854	96,000
	Memoria 4	1,733	85,000		Memoria 4	2,088	64,000		Memoria 4	1,594	92,000
	Media	0,868	92,392		Media	0,884	86,495		Media	0,835	94,485
3	Memoria 1	0,464	97,000	13	Memoria 1	0,514	95,000	23	Memoria 1	0,491	94,000
	Memoria 2	0,651	92,000		Memoria 2	0,737	92,000		Memoria 2	0,677	94,000
	Memoria 3	0,749	100,000		Memoria 3	0,880	96,000		Memoria 3	0,842	96,000
	Memoria 4	1,519	85,000		Memoria 4	1,618	85,000		Memoria 4	1,831	91,000
	Media	0,766	93,324		Media	0,857	91,897		Media	0,846	93,733
4	Memoria 1	0,577	94,000	14	Memoria 1	0,541	96,000	24	Memoria 1	0,597	91,000
	Memoria 2	0,678	94,000		Memoria 2	0,783	91,000		Memoria 2	0,642	96,000
	Memoria 3	0,932	94,000		Memoria 3	0,931	98,000		Memoria 3	0,726	95,000
	Memoria 4	1,653	77,000		Memoria 4	1,959	82,000		Memoria 4	1,493	92,000
	Media	0,881	89,427		Media	0,938	91,535		Media	0,803	93,477
5	Memoria 1	0,547	94,000	15	Memoria 1	0,659	93,000	25	Memoria 1	0,560	96,000
	Memoria 2	0,833	93,000		Memoria 2	0,870	96,000		Memoria 2	0,681	97,000
	Memoria 3	0,914	98,000		Memoria 3	0,958	98,000		Memoria 3	0,774	97,000
	Memoria 4	1,530	92,000		Memoria 4	1,882	75,000		Memoria 4	2,117	91,000
	Media	0,893	94,223		Media	1,008	90,004		Media	0,889	95,217
6	Memoria 1	3,183	90	16	Memoria 1	0,501	96,000	26	Memoria 1	0,645	88,000
	Memoria 2	4,171	90		Memoria 2	0,574	96,000		Memoria 2	0,799	89,000
	Memoria 3	1,149	92		Memoria 3	0,885	98,000		Memoria 3	1,018	95,000
	Memoria 4	2,04	73		Memoria 4	1,634	100,000		Memoria 4	2,266	90,000
	Media	2,362	85,881		Media	0,803	97,486		Media	1,044	90,461
7	Memoria 1	2,637	91	17	Memoria 1	0,563	94,000	27	Memoria 1	0,583	94,000
	Memoria 2	3,629	92		Memoria 2	0,673	91,000		Memoria 2	0,726	92,000
	Memoria 3	0,774	93		Memoria 3	0,785	100,000		Memoria 3	0,896	96,000
	Memoria 4	1,732	67		Memoria 4	2,113	82,000		Memoria 4	2,284	80,000
	Media	1,893	84,986		Media	0,890	91,516		Media	0,965	90,275
8	Memoria 1	2,242	75	18	Memoria 1	2,615	73	28	Memoria 1	0,648	95,000
	Memoria 2	3,34	100		Memoria 2	3,972	91		Memoria 2	0,754	90,000
	Memoria 3	0,914	98		Memoria 3	1,125	95		Memoria 3	0,907	98,000
	Memoria 4	2,913	75		Memoria 4	2,07	100		Memoria 4	2,523	100,000
	Media	2,113	86,166		Media	2,218	89,130		Media	1,028	95,675
9	Memoria 1	2,393	83	19	Memoria 1	2,714	73	29	Memoria 1	0,482	95,000
	Memoria 2	3,648	91		Memoria 2	3,825	91		Memoria 2	0,584	96,000
	Memoria 3	0,947	93		Memoria 3	1,071	95		Memoria 3	0,766	98,000
	Memoria 4	2,05	73		Memoria 4	1,99	82		Memoria 4	1,710	92,000
	Media	2,029	84,622		Media	2,169	84,816		Media	0,779	95,225
10	Memoria 1	1,89	71	20	Memoria 1	2,436	75	30	Memoria 1	0,380	97,000
	Memoria 2	4,175	89		Memoria 2	3,595	100		Memoria 2	0,517	95,000
	Memoria 3	1,039	93		Memoria 3	1,143	95		Memoria 3	0,729	98,000
	Memoria 4	2,766	40		Memoria 4	2,373	70		Memoria 4	1,329	92,000
	Media	2,182	69,630		Media	2,208	84,037		Media	0,661	95,472

Figura A-3.: Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de memoria realizadas por primera vez

MEMORIA (2ªVez)											
SHAM				tDCS a 149 µA				tDCS a 300 µA			
USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD
1	Memoria 1	0,473	94	11	Memoria 1	0,466	97	21	Memoria 1	0,474	97
	Memoria 2	0,582	98		Memoria 2	0,537	94		Memoria 2	0,652	93
	Memoria 3	0,862	96		Memoria 3	0,745	98		Memoria 3	0,812	98
	Memoria 4	1,588	92		Memoria 4	1,425	92		Memoria 4	1,167	93
	Media	0,783	94,974		Media	0,718	95,220		Media	0,736	95,223
2	Memoria 1	0,489	98	12	Memoria 1	0,433	95	22	Memoria 1	0,567	94
	Memoria 2	0,669	96		Memoria 2	0,622	90		Memoria 2	0,562	100
	Memoria 3	0,844	96		Memoria 3	0,88	98		Memoria 3	0,825	98
	Memoria 4	1,956	82		Memoria 4	1,886	83		Memoria 4	1,613	92
	Media	0,857	92,767		Media	0,818	91,320		Media	0,807	95,948
3	Memoria 1	0,413	97	13	Memoria 1	0,502	96	23	Memoria 1	0,514	94
	Memoria 2	0,543	94		Memoria 2	0,65	94		Memoria 2	0,664	88
	Memoria 3	0,715	98		Memoria 3	0,813	98		Memoria 3	0,776	100
	Memoria 4	1,409	92		Memoria 4	1,468	92		Memoria 4	1,781	83
	Media	0,689	95,220		Media	0,790	94,974		Media	0,829	91,027
4	Memoria 1	0,534	92	14	Memoria 1	0,431	98	24	Memoria 1	0,526	94
	Memoria 2	0,676	97		Memoria 2	0,737	92		Memoria 2	0,601	91
	Memoria 3	0,819	98		Memoria 3	0,848	98		Memoria 3	0,753	96
	Memoria 4	1,162	86		Memoria 4	3,109	100		Memoria 4	1,359	79
	Media	0,766	93,126		Media	0,957	96,953		Media	0,754	89,746
5	Memoria 1	0,39	95	15	Memoria 1	0,518	96	25	Memoria 1	0,554	96
	Memoria 2	0,606	96		Memoria 2	0,711	94		Memoria 2	0,473	96
	Memoria 3	0,785	100		Memoria 3	0,857	98		Memoria 3	0,68	98
	Memoria 4	1,243	93		Memoria 4	2,137	64		Memoria 4	1,69	92
	Media	0,693	95,966		Media	0,906	86,736		Media	0,741	95,475
6	Memoria 1	3,18	90	16	Memoria 1	0,439	97	26	Memoria 1	0,63	89
	Memoria 2	4,311	90		Memoria 2	0,545	96		Memoria 2	0,761	90
	Memoria 3	0,964	93		Memoria 3	0,75	98		Memoria 3	0,92	98
	Memoria 4	2,409	60		Memoria 4	1,65	83		Memoria 4	1,958	88
	Media	2,375	81,994		Media	0,738	93,290		Media	0,964	91,167
7	Memoria 1	2,081	77	17	Memoria 1	0,455	97	27	Memoria 1	0,539	94
	Memoria 2	3,132	86		Memoria 2	0,61	95		Memoria 2	0,656	94
	Memoria 3	0,729	93		Memoria 3	0,803	98		Memoria 3	0,792	96
	Memoria 4	1,874	75		Memoria 4	1,563	92		Memoria 4	1,991	100
	Media	1,727	82,439		Media	0,768	95,472		Media	0,864	95,969
8	Memoria 1	2,111	77	18	Memoria 1	1,831	71	28	Memoria 1	0,492	96
	Memoria 2	3,175	100		Memoria 2	3,595	92		Memoria 2	0,714	94
	Memoria 3	0,816	98		Memoria 3	0,965	95		Memoria 3	0,855	98
	Memoria 4	2,224	80		Memoria 4	2,335	70		Memoria 4	1,984	91
	Media	1,868	88,146		Media	1,962	81,183		Media	0,879	94,715
9	Memoria 1	2,197	75	19	Memoria 1	2,703	91	29	Memoria 1	0,497	92
	Memoria 2	3,907	91		Memoria 2	3,635	100		Memoria 2	0,563	100
	Memoria 3	0,873	98		Memoria 3	0,959	96		Memoria 3	0,749	97
	Memoria 4	1,794	92		Memoria 4	1,875	82		Memoria 4	1,63	92
	Media	1,915	88,568		Media	2,050	91,999		Media	0,765	95,189
10	Memoria 1	1,914	71	20	Memoria 1	2,15	77	30	Memoria 1	0,368	96
	Memoria 2	3,519	83		Memoria 2	3,453	92		Memoria 2	0,503	97
	Memoria 3	0,942	96		Memoria 3	0,869	92		Memoria 3	0,69	98
	Memoria 4	2,656	67		Memoria 4	1,601	75		Memoria 4	1,253	92
	Media	2,026	78,464		Media	1,793	83,615		Media	0,632	95,723

Figura A-4.: Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de memoria realizadas por segunda vez

LÓGICA (1ª Vez)											
SHAM				tDCS a 149 μ A				tDCS a 300 μ A			
USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD
1	Lógica 1	1,127	96	11	Lógica 1	0,959	100	21	Lógica 1	1,023	93
	Lógica 2	3,862	100		Lógica 2	1,837	98		Lógica 2	4,008	100
	Lógica 3	3,537	50		Lógica 3	1,333	80		Lógica 3	2,128	86
	Lógica 4	8,228	0,0001		Lógica 4	3,287	92		Lógica 4	3,456	85
	Media	3,355	2,632		Media	1,667	92,157		Media	2,343	90,803
2	Lógica 1	1,146	100	12	Lógica 1	1,452	95	22	Lógica 1	1,228	100
	Lógica 2	2,97	67		Lógica 2	2,621	88		Lógica 2	2,254	95
	Lógica 3	2,31	79		Lógica 3	2,113	82		Lógica 3	2,992	95
	Lógica 4	5,266	88		Lógica 4	6,153	86		Lógica 4	4,431	80
	Media	2,537	82,613		Media	2,652	87,625		Media	2,461	92,179
3	Lógica 1	1,149	96	13	Lógica 1	1,457	100	23	Lógica 1	1,391	100
	Lógica 2	2,568	94		Lógica 2	2,351	74		Lógica 2	2,967	87
	Lógica 3	3,156	84		Lógica 3	1,39	77		Lógica 3	2,703	86
	Lógica 4	3,937	64		Lógica 4	5,482	38		Lógica 4	4,67	67
	Media	2,461	83,457		Media	2,260	68,214		Media	2,687	84,144
4	Lógica 1	1,225	100	14	Lógica 1	1,22	100	24	Lógica 1	1,2	100
	Lógica 2	2,279	100		Lógica 2	3,507	100		Lógica 2	2,64	75
	Lógica 3	2,299	77		Lógica 3	3,146	74		Lógica 3	2,229	81
	Lógica 4	4,332	80		Lógica 4	7,682	20		Lógica 4	5,94	57
	Media	2,296	88,592		Media	3,189	62,025		Media	2,545	76,711
5	Lógica 1	1,259	100	15	Lógica 1	1,354	100	25	Lógica 1	1,141	96
	Lógica 2	2,305	95		Lógica 2	2,731	50		Lógica 2	2,481	94
	Lógica 3	3,925	100		Lógica 3	2,21	78		Lógica 3	2,262	92
	Lógica 4	5,755	86		Lógica 4	6,016	86		Lógica 4	4,118	80
	Media	2,845	95,073		Media	2,648	76,101		Media	2,266	90,275
6	Lógica 1	1,227	100	16	Lógica 1	1,28	100	26	Lógica 1	1,427	100
	Lógica 2	2,177	90		Lógica 2	2,754	81		Lógica 2	2,873	73
	Lógica 3	3,656	75		Lógica 3	3,237	89		Lógica 3	3,185	83
	Lógica 4	5,278	63		Lógica 4	4,573	78		Lógica 4	5,588	71
	Media	2,679	80,753		Media	2,688	86,595		Media	2,923	80,987
7	Lógica 1	1,096	85	17	Lógica 1	1,463	100	27	Lógica 1	1,53	95
	Lógica 2	2,585	76		Lógica 2	1,964	82		Lógica 2	4,456	100
	Lógica 3	3,101	89		Lógica 3	2,237	85		Lógica 3	6,445	78
	Lógica 4	5	67		Lógica 4	6,344	43		Lógica 4	8,131	80
	Media	2,574	78,782		Media	2,527	73,990		Media	4,348	87,746
8	Lógica 1	1,142	92	18	Lógica 1	1,13	100	28	Lógica 1	1,29	100
	Lógica 2	2,536	94		Lógica 2	3,836	91		Lógica 2	2,936	87
	Lógica 3	4,957	100		Lógica 3	3,564	94		Lógica 3	3,903	93
	Lógica 4	4,736	78		Lógica 4	6,267	71		Lógica 4	6,926	83
	Media	2,872	90,626		Media	3,137	88,279		Media	3,181	90,525
9	Lógica 1	1,493	90	19	Lógica 1	1,181	100	29	Lógica 1	1,175	100
	Lógica 2	3,927	82		Lógica 2	2,774	88		Lógica 2	2,778	93
	Lógica 3	1,994	83		Lógica 3	2,975	63		Lógica 3	3,72	88
	Lógica 4	6,132	71		Lógica 4	5,746	50		Lógica 4	5,528	100
	Media	2,910	81,208		Media	2,736	72,560		Media	2,862	95,113
10	Lógica 1	1,418	100	20	Lógica 1	1,305	91	30	Lógica 1	1,022	100
	Lógica 2	3,451	100		Lógica 2	4,46	80		Lógica 2	2,587	65
	Lógica 3	1,986	79		Lógica 3	3,711	88		Lógica 3	3,298	89
	Lógica 4	5,179	88		Lógica 4	7,296	50		Lógica 4	3,844	91
	Media	2,664	91,312		Media	3,543	75,231		Media	2,406	85,180

Figura A-5.: Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de lógica realiza por primera vez

LÓGICA (2ª Vez)											
SHAM				tDCS a 149 µA				tDCS a 300 µA			
USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD	USUARIO	TAREA	TIEMPO REACCIÓN	EXACTITUD
1	Lógica 1	0,958	100	11	Lógica 1	0,782	100	21	Lógica 1	0,958	100
	Lógica 2	2,623	100		Lógica 2	1,476	90		Lógica 2	2,764	100
	Lógica 3	2,794	86		Lógica 3	1,782	88		Lógica 3	2,372	84
	Lógica 4	5,525	13		Lógica 4	3,09	79		Lógica 4	3,991	73
	Media	2,496	57,824		Media	1,588	88,938		Media	2,238	88,491
2	Lógica 1	1,094	100	12	Lógica 1	0,984	100	22	Lógica 1	1,061	100
	Lógica 2	3,39	92		Lógica 2	2,24	89		Lógica 2	2,361	100
	Lógica 3	2,822	86		Lógica 3	3	95		Lógica 3	2,304	96
	Lógica 4	4,833	78		Lógica 4	6,695	67		Lógica 4	3,746	91
	Media	2,667	88,633		Media	2,579	86,756		Media	2,156	96,678
3	Lógica 1	1,026	100	13	Lógica 1	1,179	92	23	Lógica 1	1,213	100
	Lógica 2	1,843	83		Lógica 2	2,604	94		Lógica 2	2,486	83
	Lógica 3	3,071	95		Lógica 3	1,264	77		Lógica 3	3,425	88
	Lógica 4	3,359	83		Lógica 4	4,425	90		Lógica 4	4,012	55
	Media	2,102	89,944		Media	2,036	87,986		Media	2,537	79,612
4	Lógica 1	1,069	100	14	Lógica 1	1,05	96	24	Lógica 1	1,053	96
	Lógica 2	2,414	100		Lógica 2	2,873	93		Lógica 2	2,773	87
	Lógica 3	30,53	84		Lógica 3	3,59	88		Lógica 3	2,71	91
	Lógica 4	4,308	70		Lógica 4	6,334	71		Lógica 4	4,36	67
	Media	4,292	87,568		Media	2,878	86,422		Media	2,424	84,475
5	Lógica 1	1,156	96	15	Lógica 1	1,263	91	25	Lógica 1	1,064	96
	Lógica 2	2,419	100		Lógica 2	2,743	81		Lógica 2	2,495	89
	Lógica 3	3,091	89		Lógica 3	3,001	80		Lógica 3	2,28	100
	Lógica 4	6,173	100		Lógica 4	5,321	75		Lógica 4	4,314	80
	Media	2,703	96,142		Media	2,727	81,549		Media	2,261	90,926
6	Lógica 1	1,06	96	16	Lógica 1	1,181	100	26	Lógica 1	1,271	100
	Lógica 2	2,486	94		Lógica 2	2,359	94		Lógica 2	2,35	95
	Lógica 3	3,679	81		Lógica 3	3,733	88		Lógica 3	2,2	74
	Lógica 4	4,415	90		Lógica 4	4,108	80		Lógica 4	4,834	44
	Media	2,558	90,060		Media	2,557	90,193		Media	2,374	74,577
7	Lógica 1	0,927	100	17	Lógica 1	1,035	97	27	Lógica 1	1,181	92
	Lógica 2	2,24	80		Lógica 2	2,309	89		Lógica 2	3,967	82
	Lógica 3	3,951	87		Lógica 3	3,239	83		Lógica 3	6,607	89
	Lógica 4	4,241	80		Lógica 4	4,33	80		Lógica 4	11,053	75
	Media	2,429	86,382		Media	2,406	87,013		Media	4,301	84,239
8	Lógica 1	0,949	100	18	Lógica 1	0,982	93	28	Lógica 1	1,136	92
	Lógica 2	2,021	95		Lógica 2	2,835	100		Lógica 2	3,037	86
	Lógica 3	3,638	100		Lógica 3	3,417	100		Lógica 3	2,2	81
	Lógica 4	3,757	100		Lógica 4	6,901	83		Lógica 4	5,896	86
	Media	2,263	98,726		Media	2,846	93,733		Media	2,586	86,162
9	Lógica 1	1,245	100	19	Lógica 1	100	1,181	29	Lógica 1	1,162	96
	Lógica 2	2,837	93		Lógica 2	100	2,933		Lógica 2	2,833	100
	Lógica 3	1,924	83		Lógica 3	88	3,347		Lógica 3	4,343	100
	Lógica 4	5,265	75		Lógica 4	86	5,957		Lógica 4	4,333	80
	Media	2,446	87,228		Media	93,271	2,883		Media	2,805	93,614
10	Lógica 1	1,185	96	20	Lógica 1	1,062	100	30	Lógica 1	1,032	100
	Lógica 2	2,908	87		Lógica 2	4,361	90		Lógica 2	2,344	95
	Lógica 3	2,56	77		Lógica 3	3,528	88		Lógica 3	2,617	91
	Lógica 4	5,112	75		Lógica 4	6,952	67		Lógica 4	3,111	93
	Media	2,591	83,337		Media	3,265	85,349		Media	2,107	94,692

Figura A-6.: Resultados de las actividades relacionadas con los procesos cognitivos de lógica realizas por segunda vez

B. Anexo: Informes estadísticos IBM SPSS

A continuación, se muestran los informes estadísticos obtenidos para las pruebas de atención, memoria y lógica atendiendo a si era la primera vez que se realizaban o, por el contrario, la segunda vez.

Descriptivos

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
TR	SHAM	40	1,62263	,867262	,137126	1,34526	1,89999	,445	4,121
	149	40	1,54997	,845378	,133666	1,27961	1,82034	,607	4,166
	300	40	1,31570	,583111	,092198	1,12921	1,50219	,480	2,893
	Total	120	1,49610	,780672	,071265	1,35499	1,63721	,445	4,166
Precisión	SHAM	40	90,10000	11,973903	1,893240	86,27056	93,92944	50,000	100,000
	149	40	90,87500	10,198510	1,612526	87,61336	94,13664	57,000	100,000
	300	40	93,42500	7,228460	1,142920	91,11323	95,73677	75,000	100,000
	Total	120	91,46667	10,011702	,913939	89,65698	93,27636	50,000	100,000

Figura B-1.: Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TR	1,036	2	117	,358
Precisión	1,930	2	117	,150

Figura B-2.: Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.

ANOVA

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TR	Entre grupos	(Combinado)	2,058	2	1,029	1,709	,186
		Término lineal	1,884	1	1,884	3,128	,080
		Desviación	,174	1	,174	,289	,592
		Término cuadrático	,174	1	,174	,289	,592
	Dentro de grupos		70,466	117	,602		
Total			72,524	119			
Precisión	Entre grupos	(Combinado)	242,117	2	121,058	1,212	,301
		Término lineal	221,113	1	221,113	2,214	,139
		Desviación	21,004	1	21,004	,210	,647
		Término cuadrático	21,004	1	21,004	,210	,647
	Dentro de grupos		11685,750	117	99,878		
Total			11927,867	119			

Figura B-3.: ANOVA de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.

Pruebas robustas de igualdad de medias

		Estadístico ^a	gl1	gl2	Sig.
TR	Welch	2,112	2	75,092	,128
	Brown-Forsythe	1,709	2	106,805	,186
Precisión	Welch	1,505	2	74,420	,229
	Brown-Forsythe	1,212	2	102,669	,302

a. F distribuida de forma asintótica

Figura B-4.: Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.

Coefficientes de contraste

Contraste	tDCS		
	SHAM	149	300
1	-2	1	1
2	0	-1	1

Figura B-5.: Coeficientes utilizados para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.

Pruebas de contraste

		Contraste	Valor de contraste	Error estándar	t	gl	Sig. (bilateral)
TR	Suponer varianzas iguales	1	-,37958	,300568	-1,263	117	,209
		2	-,23427	,173533	-1,350	117	,180
	No se asume varianzas iguales	1	-,37958	,318718	-1,191	66,532	,238
		2	-,23427	,162379	-1,443	69,261	,154
Precisión	Suponer varianzas iguales	1	4,10000	3,870624	1,059	117	,292
		2	2,55000	2,234706	1,141	117	,256
	No se asume varianzas iguales	1	4,10000	4,271293	,960	60,650	,341
		2	2,55000	1,976488	1,290	70,288	,201

Figura B-6.: Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por primera vez.

Descriptivos

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
TR2	SHAM	40	1,44568	,848245	,134119	1,17439	1,71696	,371	3,922
	149	40	1,31892	,737444	,116600	1,08308	1,55477	,331	3,369
	300	40	1,20628	,596590	,094329	1,01548	1,39707	,415	2,473
	Total	120	1,32362	,735069	,067102	1,19076	1,45649	,331	3,922
Precisión2	SHAM	40	92,15000	8,991592	1,421695	89,27435	95,02565	63,000	100,000
	149	40	90,72500	9,976864	1,577481	87,53424	93,91576	63,000	100,000
	300	40	93,27500	6,710067	1,060955	91,12902	95,42098	75,000	100,000
	Total	120	92,05000	8,658653	,790423	90,48488	93,61512	63,000	100,000

Figura B-7.: Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TR2	,985	2	117	,377
Precisión2	1,806	2	117	,169

Figura B-8.: Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.

ANOVA

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
TR2	Entre grupos	(Combinado)	1,148	2	,574	1,063	,349	
		Término lineal	Contraste	1,148	1	1,148	2,124	,148
		Desviación		,001	1	,001	,002	,961
		Término cuadrático	Contraste	,001	1	,001	,002	,961
	Dentro de grupos		63,151	117	,540			
Total			64,299	119				
Precisión2	Entre grupos	(Combinado)	130,650	2	65,325	,869	,422	
		Término lineal	Contraste	25,313	1	25,313	,337	,563
		Desviación		105,338	1	105,338	1,402	,239
		Término cuadrático	Contraste	105,338	1	105,338	1,402	,239
	Dentro de grupos		8791,050	117	75,137			
Total			8921,700	119				

Figura B-9.: ANOVA de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.

Pruebas robustas de igualdad de medias

		Estadístico ^a	gl1	gl2	Sig.
TR2	Welch	1,085	2	76,346	,343
	Brown-Forsythe	1,063	2	108,770	,349
Precisión2	Welch	,911	2	75,625	,406
	Brown-Forsythe	,869	2	107,279	,422

a. F distribuida de forma asintótica

Figura B-10.: Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.

Coefficientes de contraste

Contraste	tDCS		
	SHAM	149	300
1	-2	1	1
2	0	-1	1

Figura B-11.: Coeficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.

Pruebas de contraste

		Contraste	Valor de contraste	Error estándar	t	gl	Sig. (bilateral)
TR2	Suponer varianzas iguales	1	-,38615	,284540	-1,287	117	,201
		2	-,11265	,164279	-,686	117	,494
	No se asume varianzas iguales	1	-,38615	,307320	-1,191	63,935	,238
		2	-,11265	,149979	-,751	74,740	,455
Precisión2	Suponer varianzas iguales	1	-,30000	3,357168	-,089	117	,929
		2	2,55000	1,938262	1,316	117	,191
	No se asume varianzas iguales	1	-,30000	3,420372	-,088	73,296	,930
		2	2,55000	1,901071	1,341	68,290	,184

Figura B-12.: Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de atención realizadas por segunda vez.

Descriptivos

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
TR	SHAM	40	1,65833	1,100511	,174006	1,30636	2,01029	,464	4,175
	149	40	1,41668	,953405	,150747	1,11176	1,72159	,489	3,972
	300	40	,97918	,562557	,088948	,79926	1,15909	,380	2,523
	Total	120	1,35139	,937129	,085548	1,18200	1,52078	,380	4,175
Precisión	SHAM	40	87,85000	11,523777	1,822069	84,16452	91,53548	40,000	100,000
	149	40	90,22500	9,859234	1,558882	87,07186	93,37814	64,000	100,000
	300	40	93,92500	3,911767	,618505	92,67396	95,17804	80,000	100,000
	Total	120	90,66667	9,310998	,849974	88,98363	92,34970	40,000	100,000

Figura B-13.: Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TR	9,033	2	117	,000
Precisión	10,816	2	117	,000

Figura B-14.: Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.

ANOVA

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TR	Entre grupos	(Combinado)	9,481	2	4,740	5,836	,004
		Término lineal	9,225	1	9,225	11,358	,001
		Desviación	,256	1	,256	,315	,576
		Término cuadrático	,256	1	,256	,315	,576
	Dentro de grupos		95,026	117	,812		
Total			104,507	119			
Precisión	Entre grupos	(Combinado)	749,817	2	374,908	4,585	,012
		Término lineal	738,113	1	738,113	9,027	,003
		Desviación	11,704	1	11,704	,143	,706
		Término cuadrático	11,704	1	11,704	,143	,706
	Dentro de grupos		9566,850	117	81,768		
Total			10316,667	119			

Figura B-15.: ANOVA de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.

Pruebas robustas de igualdad de medias

		Estadístico ^a	gl1	gl2	Sig.
TR	Welch	7,488	2	71,272	,001
	Brown-Forsythe	5,836	2	96,748	,004
Precisión	Welch	6,616	2	63,379	,002
	Brown-Forsythe	4,585	2	85,906	,013

Figura B-16.: Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.

Coefficientes de contraste

Contraste	tDCS		
	SHAM	149	300
1	-2	1	1
2	0	-1	1

Figura B-17.: Coeficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.

		Contraste	Valor de contraste	Error estándar	t	gl	Sig. (bilateral)
TR	Suponer varianzas iguales	1	-,92080	,349040	-2,638	117	,009
		2	-,43750	,201518	-2,171	117	,032
	No se asume varianzas iguales	1	-,92080	,389549	-2,364	58,901	,021
		2	-,43750	,175032	-2,500	63,221	,015
Precisión	Suponer varianzas iguales	1	8,45000	3,502170	2,413	117	,017
		2	3,70000	2,021979	1,830	117	,070
	No se asume varianzas iguales	1	8,45000	4,011534	2,106	55,370	,040
		2	3,70000	1,677099	2,206	50,982	,032

Figura B-18.: Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por primera vez.

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
TR2	SHAM	40	1,53915	1,068440	,168935	1,19745	1,88085	,390	4,311
	149	40	1,31403	,940955	,148778	1,01309	1,61496	,431	3,635
	300	40	,88970	,478035	,075584	,73682	1,04258	,368	1,991
	Total	120	1,24763	,901278	,082275	1,08471	1,41054	,368	4,311
Precisión2	SHAM	40	89,55000	9,842217	1,556191	86,40231	92,69769	60,000	100,000
	149	40	91,40000	8,871736	1,402745	88,56268	94,23732	64,000	100,000
	300	40	94,10000	4,499573	,711445	92,66097	95,53903	79,000	100,000
	Total	120	91,68333	8,227831	,751095	90,19609	93,17058	60,000	100,000

Figura B-19.: Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TR2	12,702	2	117	,000
Precisión2	7,671	2	117	,001

Figura B-20.: Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.

ANOVA

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TR2	Entre grupos	(Combinado)	8,700	2	4,350	5,786	,004
		Término lineal	8,436	1	8,436	11,220	,001
		Desviación	,265	1	,265	,352	,554
		Término cuadrático	,265	1	,265	,352	,554
	Dentro de grupos		87,964	117	,752		
Total			96,664	119			
Precisión2	Entre grupos	(Combinado)	418,867	2	209,433	3,209	,044
		Término lineal	414,050	1	414,050	6,343	,013
		Desviación	4,817	1	4,817	,074	,786
		Término cuadrático	4,817	1	4,817	,074	,786
	Dentro de grupos		7637,100	117	65,274		
Total			8055,967	119			

Figura B-21.: ANOVA de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.

Pruebas robustas de igualdad de medias

		Estadístico ^a	gl1	gl2	Sig.
TR2	Welch	7,936	2	68,403	,001
	Brown-Forsythe	5,786	2	92,740	,004
Precisión2	Welch	4,261	2	68,590	,018
	Brown-Forsythe	3,209	2	93,538	,045

a. F distribuida de forma asintótica

Figura B-22.: Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.

Coefficientes de contraste

Contraste	tDCS		
	SHAM	149	300
1	-2	1	1
2	0	-1	1

Figura B-23.: Coeficientes utilizados para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.

Pruebas de contraste

		Contraste	Valor de contraste	Error estándar	t	gl	Sig. (bilateral)
TR2	Suponer varianzas iguales	1	-,87457	,335818	-2,604	117	,010
		2	-,42433	,193885	-2,189	117	,031
	No se asume varianzas iguales	1	-,87457	,376835	-2,321	58,022	,024
		2	-,42433	,166877	-2,543	57,874	,014
Precisión2	Suponer varianzas iguales	1	6,40000	3,129082	2,045	117	,043
		2	2,70000	1,806576	1,495	117	,138
	No se asume varianzas iguales	1	6,40000	3,487229	1,835	58,873	,072
		2	2,70000	1,572847	1,717	57,819	,091

Figura B-24.: Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de memoria realizadas por segunda vez.

Descriptivos

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
TR	SHAM	40	3,14265	1,700007	,268795	2,59896	3,68634	1,096	8,228
	149	40	3,15995	1,900419	,300483	2,55217	3,76773	,959	7,882
	300	40	3,19760	1,751913	,277002	2,63731	3,75789	1,022	8,131
	Total	120	3,16673	1,771210	,161689	2,84657	3,48689	,959	8,228
Precisión	SHAM	40	83,95000	18,583066	2,938241	78,00685	89,89316	,000	100,000
	149	40	81,05000	19,584073	3,098514	74,78671	87,31329	20,000	100,000
	300	40	87,95000	11,107747	1,756289	84,39757	91,50243	57,000	100,000
	Total	120	84,31667	16,952219	1,547519	81,25243	87,38091	,000	100,000

Figura B-25.: Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TR	,293	2	117	,747
Precisión	2,428	2	117	,093

Figura B-26.: Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.

ANOVA

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TR	Entre grupos	(Combinado)	,063	2	,032	,010	,990
		Término lineal					
		Contraste	,060	1	,060	,019	,891
		Desviación	,003	1	,003	,001	,977
		Término cuadrático					
		Contraste	,003	1	,003	,001	,977
	Dentro de grupos		373,262	117	3,190		
	Total		373,325	119			
Precisión	Entre grupos	(Combinado)	960,267	2	480,133	1,690	,189
		Término lineal					
		Contraste	320,000	1	320,000	1,128	,291
		Desviación	640,267	1	640,267	2,254	,136
		Término cuadrático					
		Contraste	640,267	1	640,267	2,254	,136
	Dentro de grupos		33237,683	117	284,083		
	Total		34197,950	119			

Figura B-27.: ANOVA de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.

Pruebas robustas de igualdad de medias

		Estadístico ^a	gl1	gl2	Sig.
TR	Welch	,010	2	77,836	,990
	Brown-Forsythe	,010	2	115,928	,990
Precisión	Welch	2,105	2	72,386	,129
	Brown-Forsythe	1,690	2	100,601	,190

a. F distribuida de forma asintótica

Figura B-28.: Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.

Coefficientes de contraste

Contraste	tDCS		
	SHAM	149	300
1	-2	1	1
2	0	-1	1

Figura B-29.: Coeficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.

Pruebas de contraste

			Valor de contraste	Error estándar	t	gl	Sig. (bilateral)
		Contraste					
TR	Suponer varianzas iguales	1	,07225	,691766	,104	117	,917
		2	,03765	,399392	,094	117	,925
	No se asume varianzas iguales	1	,07225	,675294	,107	83,130	,915
		2	,03765	,408681	,092	77,489	,927
Precisión	Suponer varianzas iguales	1	1,09999	6,527819	,169	117	,866
		2	6,90000	3,768838	1,831	117	,070
	No se asume varianzas iguales	1	1,09999	6,870661	,160	67,163	,873
		2	6,90000	3,559909	1,938	61,739	,057

Figura B-30.: Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por primera vez.

Descriptivos

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
TR2	SHAM	40	3,52245	4,605355	,728171	2,04959	4,99531	,927	30,530
	149	40	12,05070	27,627252	4,368252	3,21508	20,88632	,782	100,000
	300	40	2,98123	1,901117	,300593	2,37322	3,58923	,958	11,053
	Total	120	6,18479	16,603596	1,515694	3,18357	9,18602	,782	100,000
Precisión2	SHAM	40	88,60000	15,204250	2,404003	83,73744	93,46256	13,000	100,000
	149	40	79,53545	27,201809	4,300952	70,83595	88,23495	1,181	100,000
	300	40	88,17500	12,606241	1,993222	84,14333	92,20667	44,000	100,000
	Total	120	85,43682	19,695951	1,797986	81,87662	88,99701	1,181	100,000

Figura B-31.: Informe descriptivo de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.

Prueba de homogeneidad de varianzas

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
TR2	16,835	2	117	,000
Precisión2	3,756	2	117	,026

Figura B-32.: Resultados del test de Levene de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.

ANOVA

			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TR2	Entre grupos	(Combinado)	2070,391	2	1035,196	3,941	,022
		Término lineal	5,858	1	5,858	,022	,882
		Desviación	2064,533	1	2064,533	7,859	,006
		Término cuadrático	2064,533	1	2064,533	7,859	,006
	Dentro de grupos		30735,456	117	262,696		
Total			32805,847	119			
Precisión2	Entre grupos	(Combinado)	2093,180	2	1046,590	2,779	,066
		Término lineal	3,613	1	3,613	,010	,922
		Desviación	2089,568	1	2089,568	5,547	,020
		Término cuadrático	2089,568	1	2089,568	5,547	,020
	Dentro de grupos		44070,548	117	376,671		
Total			46163,728	119			

Figura B-33.: ANOVA de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.

Pruebas robustas de igualdad de medias

		Estadístico ^a	gl1	gl2	Sig.
TR2	Welch	2,320	2	59,593	,107
	Brown-Forsythe	3,941	2	41,545	,027
Precisión2	Welch	1,855	2	73,254	,164
	Brown-Forsythe	2,779	2	79,530	,068

a. F distribuida de forma asintótica

Figura B-34.: Resultado de las pruebas robustas de homogeneidad de los datos relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.

Coefficientes de contraste

Contraste	tDCS		
	SHAM	149	300
1	-2	1	1
2	0	-1	1

Figura B-35.: Coeficientes utilizamos para realizar el contraste tras realizar el ANOVA con los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.

Pruebas de contraste

		Contraste	Valor de contraste	Error estándar	t	gl	Sig. (bilateral)
TR2	Suponer varianzas iguales	1	7,98703	6,277295	1,272	117	,208
		2	-9,06948	3,624198	-2,502	117	,014
	No se asume varianzas iguales	1	7,98703	4,614424	1,731	47,969	,090
		2	-9,06948	4,378582	-2,071	39,369	,045
Precisión2	Suponer varianzas iguales	1	-9,48955	7,516695	-1,262	117	,209
		2	8,63955	4,339766	1,991	117	,049
	No se asume varianzas iguales	1	-9,48955	6,751892	-1,405	90,829	,163
		2	8,63955	4,740371	1,823	55,014	,074

Figura B-36.: Resultado de las pruebas de contraste de los valores relacionados con las actividades de lógica realizadas por segunda vez.

Bibliografía

- [1] Andrews, Hoy, et al., Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*, 2017.
- [2] Richard C Atkinson and Richard M Shiffrin. Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of learning and motivation*, 2:89–195, 1968.
- [3] Alan D Baddeley and Graham Hitch. Working memory. *Psychology of learning and motivation*, 8:47–89, 1974.
- [4] Alan D Baddeley, Michael D Kopelman, and Barbara A Wilson. *The handbook of memory disorders*. John Wiley & Sons, 2003.
- [5] Marom Bikson and Felipe Fregni. Ingrid moreno-duarte¹, nigel gebodh^{1, 2}, pedro schestatsky^{1, 3}, berkan guleyupoglu², davide reato². *The Stimulated Brain: Cognitive Enhancement Using Non-Invasive Brain Stimulation*, page 35, 2014.
- [6] Boggio, Khoury, et al., Temporal cortex direct current stimulation enhances performance on visual recognition memory task in alzheimer disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 2012.
- [7] Boggio, Bermanpohl, et al., Go-no-go task performance improvement after anodal transcranial dc stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex in major depression. *Journal of Affective Disorders*, 2007.
- [8] Boggio, Ferruci, et al., Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with parkinson disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 2006.
- [9] Andre Russowsky Brunoni, Leandro Valiengo, Tamires Zanao, Janaina Farias de Oliveira, Isabela Martins Bensenor, and Felipe Fregni. Manic psychosis after sertraline and transcranial direct-current stimulation. *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences*, 23(3):E4–E5, 2011.
- [10] Coffman, Trumbo, et al., Impact of tdc on performance and learning of target detection: Interaction with stimulus characteristics and experimental design. *Neuropsychologia*, 2012.

- [11] Ferruci, Marceglia, et al., Cerebellar transcranial direct current stimulation impairs the practice-dependent proficiency increase in working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2008.
- [12] Andy Field. *Discovering statistics using SPSS*. Sage publications, 2009.
- [13] Fregni, Boggio, et al., Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental Brain Research*, 2005.
- [14] Gladwin, den Uyl, et al., Anodal tdcS of dorsolateral prefrontal cortex during an implicit association test. *Neuroscience Letters*, 2012.
- [15] Gladwin, den Uyl, et al., Enhancement of selective attention by tdcS: Interaction with interference in a sternberg task. *Neuroscience Letters*, 2012.
- [16] Donald Olding Hebb. *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Psychology Press, 2005.
- [17] Hoy, Emonson, et al., Testing the limits: Investigating effect of tdcS dose on working memory enhancement in healthy controls. *Neuropsychologia*, 2013.
- [18] Jacobson, Goren, et al., Oppositional transcranial direct current stimulation (tdcS) of parietal substrates of attention during encoding modulates episodic memory. *Brain Research*.
- [19] Mulquiney, Hoy, et al., Improving working memory: Exploring the effect of transcranial random noise stimulation and transcranial direct current stimulation on the dorsolateral prefrontal cortex. *Clinical Neuropsychology*, 2011.
- [20] Mckinley et al. Nelson. The effects of transcranial direct current stimulation (tdcS) on multitasking throughput capacity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2016.
- [21] Nilsson, Lebedev, et al., No significant effect of prefrontal tdcS on working memory performance in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2015.
- [22] Nitsche, Paulus, et al., Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*, 2000.
- [23] Oliveira, Zanao, et al., Acute working memory improvement after tdcS in antidepressant-free patients with major depressive disorder. *Neuroscience Letters*, 2012.
- [24] Ulrich Palm, Daniel Keeser, Christina Schiller, Zoe Fintescu, Eva Reisinger, Frank Padberg, and Michael Nitsche. Skin lesions after treatment with transcranial direct current stimulation (tdcS). *Brain stimulation*, 1(4):386–387, 2008.

- [25] Walter Paulus, Angel V Peterchev, and Michael Ridding. Transcranial electric and magnetic stimulation: technique and paradigms. *Handb Clin Neurol*, 116:329–342, 2013.
- [26] Edmund D Pellegrino and Alice A Pellegrino. Humanism and ethics in roman medicine: translation and commentary on a text of scribonius largus. *Literature and medicine*, 7(1):22–38, 1988.
- [27] Robert Rehmman, Matthias Sczesny-Kaiser, Melanie Lenz, Tomasz Gučia, Annika Schliesing, Peter Schwenkreis, Martin Tegenthoff, and Oliver Höffken. Polarity-specific cortical effects of transcranial direct current stimulation in primary somatosensory cortex of healthy humans. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 2016.
- [28] Francisco J Román, Lindsay B Lewis, Chi-Hua Chen, Sherif Karama, Miguel Burgaleta, Kenia Martínez, Claude Lepage, Susanne M Jaeggi, Alan C Evans, William S Kremen, et al. Gray matter responsiveness to adaptive working memory training: a surface-based morphometry study. *Brain Structure and Function*, 221(9):4369–4382, 2016.
- [29] CI Sarmiento, D San-Juan, and VBS Prasath. Letter to the editor: Brief history of transcranial direct current stimulation (tdcs): from electric fishes to microcontrollers. *Psychological medicine*, 46(15), 2016.
- [30] Charlotte J Stagg and Michael A Nitsche. Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *The Neuroscientist*, 17(1):37–53, 2011.
- [31] Teo, Hoy, et al., Investigating the role of current strength in tdcs modulation of working memory performance in healthy controls. *Frontiers in Psychiatry*, 2011.
- [32] Zaehle, Sandmann, et al., Transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex modulates working memory performance: combined behavioural and electrophysiological evidence. *BMC Neuroscience*, 2011.