

## **Reporte del proyecto: “Electroencefalograph During Mental Arithmetic Tasks”**

**Por:** Sofía Sánchez Huerto

### **Abstract**

La aritmética suele representar una de las tareas más demandantes para muchos sujetos; sin embargo, pocas veces se consideran los registros neurofisiológicos que muestran cómo difiere la actividad cerebral entre quienes realizan operaciones con mayor facilidad y quienes presentan mayor dificultad. Entre las funciones cognitivas implicadas se encuentran la atención, la memoria de trabajo y el control ejecutivo, cuyo análisis puede apoyarse en herramientas como el análisis no lineal y la transformada de Fourier.

En este proyecto se emplea la electroencefalografía (EEG) para registrar la actividad cerebral de estudiantes universitarios mientras realizan una tarea de resta seriada. Cada participante completó dos fases: un periodo de reposo y una fase activa durante la resolución de problemas aritméticos, lo que permite comparar los patrones de actividad entre ambas condiciones. La fase activa representa un escenario de actividad cognitiva intensa, en el que aumenta la demanda de recursos atencionales y ejecutivos, lo que puede asociarse también con un aumento en los niveles de estrés cognitivo. Aunque el análisis se centra en EEG, técnicas como el electrocardiograma (ECG) también resultan relevantes para complementar la evaluación fisiológica del esfuerzo y el estrés.

El objetivo general para este estudio es caracterizar los cambios en la actividad eléctrica cerebral asociados al procesamiento cognitivo intensivo, con énfasis en la identificación de diferencias funcionales entre grupos de desempeño.

### **Introducción**

En este experimento se contó inicialmente con 66 sujetos (aplicados a hombres y a mujeres), pero tras evaluar la mala calidad que tenían las señales EEG, se seleccionaron 36 participantes cuyos registros fueron adecuados. Esto fue debido a los artefactos electromiográficos u oculográficos que fueron excesivos, así como se presentaban problemas técnicos o mala colocación de electrodos.

La tarea realizada consistió en la resolución de restas seriadas, donde el minuendo era un número de 4 dígitos y el sustraendo un número de 2 dígitos. Cada participante completó un periodo de reposo y una fase activa durante la tarea, lo que permitió comparar la actividad cerebral en condiciones de reposo y de esfuerzo cognitivo intenso. Se evaluaron funciones cognitivas como la atención, la memoria de trabajo y el control ejecutivo, considerando que la tarea también puede generar estrés cognitivo, al implicar carga emocional y esfuerzo por responder correctamente.

El registro EEG se realizó con un sistema monopolar Neurocom de 21 canales, siguiendo el esquema internacional 10/20, con electrodos referenciados a los auriculares interconectados y frecuencia de muestreo de 500 Hz. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 15 minutos, tiempo durante el cual se evaluó la actividad cerebral tanto en reposo como durante la tarea aritmética, permitiendo además estimar la inducción psicosocial, es decir, niveles de estrés cognitivo asociado al esfuerzo mental.

Los participantes fueron seleccionados considerando criterios de inclusión (agudeza visual normal, visión a color normal, ausencia de deterioro cognitivo o problemas de aprendizaje) y exclusión (uso de psicofármacos, adicción a drogas o alcohol, afecciones psiquiátricas).

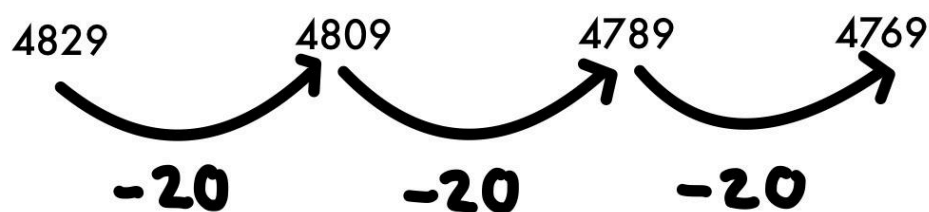
El dataset utilizado proviene del repositorio PhysioNet “**EEG during mental arithmetic task**”, que incluye archivos **.edf** con registros de EEG en reposo y durante la tarea. Para el análisis se emplearon herramientas computacionales en Python, utilizando bibliotecas como MNE y Pandas, lo que permitió procesar las señales, extraer información de canales y aplicar la transformada de Fourier, una herramienta que descompone la señal EEG en sus diferentes frecuencias para analizar las bandas de actividad cerebral. Además, se construyeron matrices de conectividad para visualizar la actividad cerebral en forma de grafos, facilitando la identificación de diferencias funcionales entre sujetos y entre las fases de reposo y tarea.

### Metodología y resultados:

Este estudio se centró en la evaluación de la actividad cognitiva humana mediante la correlación de registros EEG y la realización de tareas aritméticas. Inicialmente se contó con 66 participantes, todos estudiantes de primer a tercer año de la Universidad Nacional Taras Shevchenko de Kiev, quienes otorgaron consentimiento informado antes de iniciar el experimento. Tras evaluar la calidad de las señales, se seleccionaron 35 sujetos cuyos registros fueron considerados válidos, descartando aquellos con excesivos artefactos electromiográficos, oculográficos o problemas técnicos.

Cada ensayo comenzó con la comunicación oral de un número de 4 dígitos (minuyendo) y un número de 2 dígitos (sustraendo), y se solicitó a los participantes que realizaran restas seriadas de manera mental.

Un ejemplo sería:



Minuendo = 4829

Sustraendo = 20

Se reportaron los resultados por medio de la fórmula:

$$\text{Número de restas} = \frac{\text{No. Inicial} - \text{Resultado final esperado}}{\text{Sustraendo}}$$

En este cálculo, un resultado entero indicaba un desempeño correcto, mientras que un decimal señalaba errores. La prueba se llevó a cabo después de un periodo de relajación de 3 minutos, en el que los participantes permanecieron sentados en una cámara oscura e insonorizada. Cada registro EEG tuvo una duración de 60 segundos, tanto en la fase de reposo (\_1 en los archivos EDF) como en la fase activa (\_2 durante la tarea aritmética), permitiendo analizar la conectividad cerebral, las bandas de frecuencia y las diferencias entre estado basal y estado activo.

El registro de EEG se realizó utilizando el sistema monopolar Neurocom con 23 canales, siguiendo el esquema internacional 10/20. Los electrodos de plata/cloruro de plata se colocaron en las regiones frontal anterior (Fp1, Fp2), frontal (F3, F4, Fz, F7, F8), central (C3, C4, Cz), parietal (P3, P4, Pz), occipital (O1, O2) y temporal (T3, T4, T5, T6), referenciados a los auriculares interconectados. Para reducir interferencias y mejorar la calidad de las señales se aplicó la referencia común promedio (CAR, common average reference) y posteriormente se aplicó Independent Component Analysis (ICA) para eliminar artefactos de ojos, músculos y actividad cardíaca, obteniendo registros limpios y confiables, adecuados para el análisis de conectividad y actividad cerebral asociada con la tarea.

**Tabla de datos que se obtuvieron:**

**G= Buenos contadores (buen desempeño)**

**B= Malos contadores (mal desempeño)**

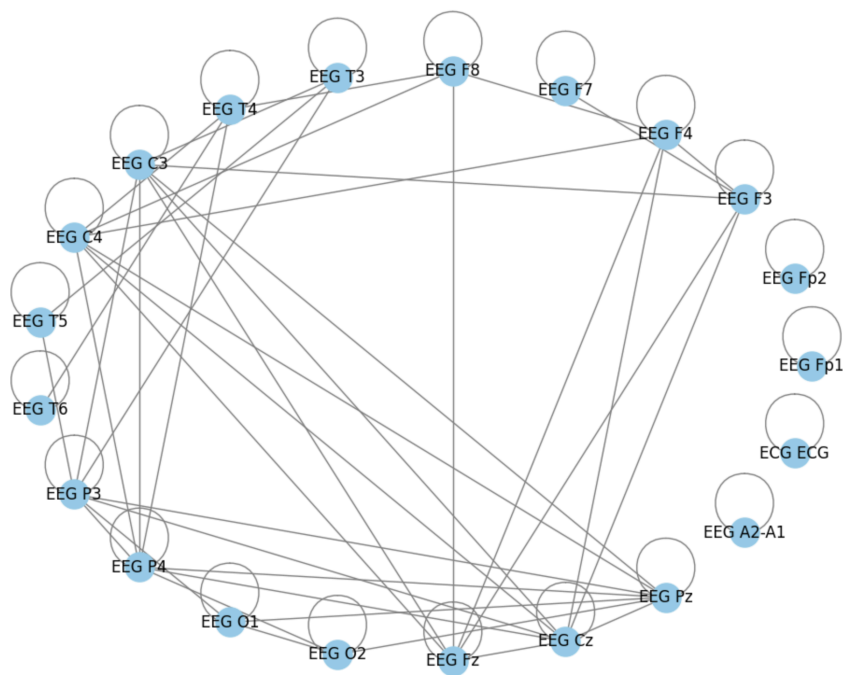
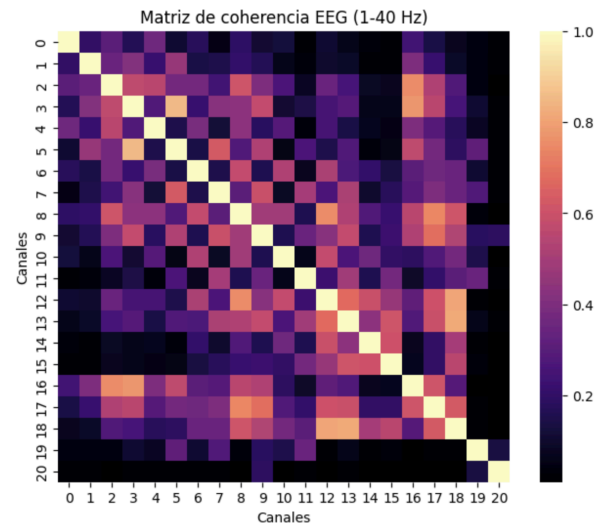
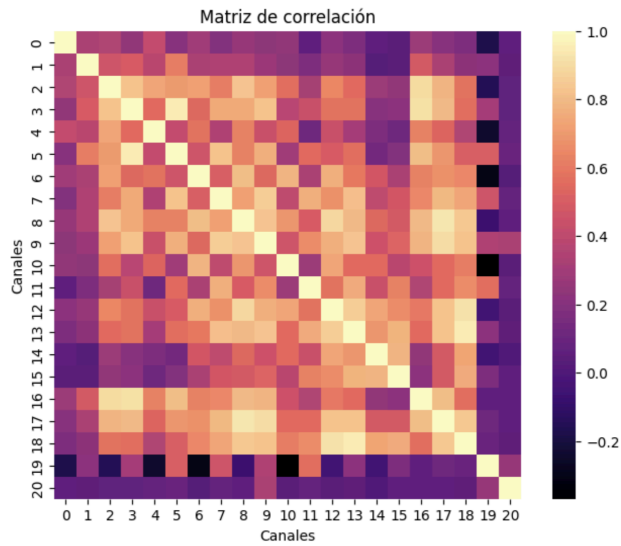
**Table 1.** Subjects and population data.

<b>Name</b>	<b>Age</b>	<b>Gender</b>	<b>Number of Subtractions</b>	<b>Count Quality</b>
Subject0	21	F	9.7	B
Subject1	18	F	29.35	G
Subject2	19	F	12.88	G
Subject3	17	F	31	G
Subject4	17	F	8.6	B
Subject5	16	F	20.71	G
Subject6	18	M	4.35	B
Subject7	18	F	13.38	G
Subject8	26	M	18.24	G
Subject9	16	F	7	B
Subject10	17	F	1	B
Subject11	18	F	26	G
Subject12	17	F	26.36	G
Subject13	24	M	34	G
Subject14	17	F	9	B
Subject15	17	F	22.18	G
Subject16	17	F	11.59	G
Subject17	17	F	28.7	G
Subject18	17	F	20	G
Subject19	22	M	7.06	B
Subject20	17	F	15.41	G
Subject22	19	F	4.47	B
Subject21	20	F	1	B
Subject23	16	F	27.47	G
Subject24	17	M	14.76	G
Subject25	17	M	30.53	G
Subject26	17	F	13.59	G
Subject27	19	F	34.59	G
Subject28	19	F	27	G
Subject29	19	M	16.59	G
Subject30	17	M	10	B
Subject31	19	F	19.88	G
Subject32	20	F	13	G
Subject33	17	M	21.47	G
Subject34	18	F	31	G
Subject35	17	F	12.18	G

(En esta tabla se muestran todos los sujetos a prueba, incluyendo el número de restas, grupo de desempeño en la tarea aritmética (bueno o bajo), edad y género)

## Resultados:

Para este caso examinamos al sujeto 20...



Hubs (nodo, grado): [(17, 9), (12, 8), (3, 7)]

Comunidad 1: [2, 3, 5, 7, 16]

Comunidad 2: [10, 12, 14, 15]

Comunidad 3: [9, 13, 17, 18]

Comunidad 4: [6, 8]

Comunidad 5: [0]

Comunidad 6: [1]

Comunidad 7: [4]

Comunidad 8: [11]

Comunidad 9: [19]

Comunidad 10: [20]

**\*Datos que se obtuvieron en Python**

Como se puede observar en la tabla de hubs y comunidades (para el sujeto 20), varios nodos aparecen en comunidades individuales (por ejemplo, los nodos 0, 1, 4, 11, 19 y 20), lo que indica que no presentan conexiones significativas con otros nodos bajo el umbral establecido. Por otro lado, los nodos que conforman comunidades más grandes reflejan agrupaciones de canales con mayor correlación, mostrando patrones funcionales en la actividad cerebral durante la tarea. Asimismo, los hubs que fueron identificados (como los nodos 17, 12 y 3) corresponden a los canales con más conexiones dentro de la red, lo cual demuestra un gran desempeño, considerando que obtuvo el promedio de número de restas de 15.41

En el caso del participante sujeto 21, se observó un bajo desempeño en la tarea de resta seriada, evidenciado por un promedio de 1 en el cálculo del resultado. Esta característica se refleja también en los grafos de conectividad generados en Python, donde se aprecia una conectividad notablemente baja entre los canales, indicando una menor coordinación funcional durante la actividad cognitiva intensa.

---

```
Procesando: Subject09_1.edf
Hubs (nodo, grado): [(7, 20), (8, 20), (9, 20)]
Comunidad 1: [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 16]
Comunidad 2: [7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18]
Comunidad 3: [17]
Comunidad 4: [19]
Comunidad 5: [20]

Procesando: Subject09_2.edf
Hubs (nodo, grado): [(8, 18), (17, 17), (9, 16)]
Comunidad 1: [7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18]
Comunidad 2: [0, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 16]
Comunidad 3: [1]
Comunidad 4: [19]
Comunidad 5: [20]

Procesando: Subject10_1.edf
Hubs (nodo, grado): [(17, 16), (8, 15), (6, 14)]
Comunidad 1: [0, 1, 2, 3, 4, 5, 16]
Comunidad 2: [11, 12, 13, 14, 15, 18]
Comunidad 3: [7, 8, 9]
Comunidad 4: [6, 10, 17]
Comunidad 5: [19]
Comunidad 6: [20]

Procesando: Subject10_2.edf
Hubs (nodo, grado): [(3, 13), (9, 13), (17, 13)]
Comunidad 1: [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16]
Comunidad 2: [8, 10, 12, 13, 14, 15, 18]
Comunidad 3: [7, 9, 11, 17]
Comunidad 4: [19]
Comunidad 5: [20]

Procesando: Subject11_1.edf
Hubs (nodo, grado): [(12, 17), (13, 17), (17, 17)]
Comunidad 1: [11, 12, 13, 14, 15, 18, 19]
Comunidad 2: [1, 3, 5, 7, 9, 16]
Comunidad 3: [2, 4, 6, 8, 10, 17]
Comunidad 4: [0]
Comunidad 5: [20]
```

Aunque no se muestran todos los sujetos, se puede observar cómo ciertos nodos (hubs) mantienen conexiones más fuertes y centralizadas, reflejando diferencias en la conectividad entre participantes, así como en la participación de las distintas bandas de frecuencia.

## **Discusión y conclusiones:**

En este caso se analizó la actividad cerebral de estudiantes universitarios durante una tarea de resta seriada, comparando periodos de reposo con fases activas de esfuerzo cognitivo intenso. Los resultados que se obtuvieron a partir de los registros EEG muestran un incremento en la correlación y coherencia entre ciertos canales durante la tarea aritmética. En algunos sujetos con bajo desempeño, se observó una menor conectividad en la corteza prefrontal (canales Fp1, Fp2, F3, F4, Fz, F7, F8), lo que podría estar relacionado con signos de estrés y una menor coordinación funcional en áreas asociadas con la atención, memoria de trabajo y control ejecutivo.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos reportados en el artículo “EEG during Mental Arithmetic Task Performance”, donde se observó un incremento en la actividad sincronizada en bandas de frecuencia asociadas a procesos cognitivos intensivos. La combinación de técnicas computacionales en Python permitió reproducir y visualizar estos patrones de conectividad, facilitando la identificación de diferencias funcionales entre fases y sujetos.

- Zyma, I., Tukaev, S., Seleznev, I., Kiyono, K., Popov, A., Chernykh, M., & Shpenkov, O. (2024). Electroencephalograms during mental arithmetic task performance. *Journal of Neuroscience Methods*, 277(2), 1–15.  
<https://pdf.sciencedirectassets.com/780156/1-s2.0-S2772528624X00023/1-s2.0-S2772528624000074/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEjB%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIG3bAxondk1ZL3y7PCqzQHDP7K4dXk150u8HPZs8Dc5FAiBdzOMWTNgs9tJt5CHHnyB9jWsx%2FUuy3SBSwSJHtDMLZCqzBQheEAUaDDA1OTAwMzU0Njg2NSIM79axqHrAW1JS0JkAkPafM1wZe2C5W%2FhrDPcG2kuzQgeKGLIXGrZ10eigE%2FZpBd%2F%2BSXS6Dh099QpD4%2Fcj2AY7awKpe8VIJLGN1Dbemrx%2BHHU9W707r9tQiBG%2BGkgcR62nisi%2FZp%2FZ9vjNINngJ7aypEZYHLMiV02XZxbM%2FFHb7NEJawRyFz4xEbDSyt6qjHTXno7L6UpAlfKvNwoi7Ers6eGwqV%2BFe%2FH4kJ02aJoiR%2BxBKcbKaKgufxVfpiRtvCYEcXBCSGRrn5Z2xfV2Li0eyUcAO0auyJwBZ90TwVdtlrhtFCRLI%2B0Di7clpNcuEP4k5yW5cU78MOLvqhTENUf1Bgs94S53HooJuAIY1jyG%2FsnKlO0YqNEjrUcUrA8Ff9LXY6agxN0SopST5GIGMfaUz8qUILJd%2B2qK%2FD4EwNtg46iqIn9s2KCElkr3vpEtN2BPoKjC8chghzqlga9X9hQEUQPlp50655yi1BbdUvsYO1pQ6Q4tsnvQSeWtDJAUD2A1SiicO2%2FYsPOWVvQLNyGC6vCUuLRFQmr6srTjim3iQc2GX4vfX89Jr0DBv6KRYykG%2FntGzWd%2BmqaN95vBI%2F%2BmTxvUcXfG7VnuXC41IMmu%2BNjdDAi2Og2ImP1hkSbhMDWJuBVFCVTnDY0hSr8wLvlujAwwjy2bPV%2BBp16f8L4U7EbcWldLM8eWzMNeIQSkyByK5gmMqw%2BOLvL%2FOWa4543xc2t%2FRkUkhh%2F7AlgKUg0lpjXfc7eVC26uCT94vLD%2FqZMxvxodCpUop7Aw3gEQVgVTkiVvMQWmW%2F2QeJbsJMeOBkEuLLhKQxOn%2B%2F96FNd1v2zSiHNJ9gTjfZpZJMBJceoyxbJZVGgWR2Pa4OCfqkExWtDKb2OcSRCgP5st08DP98wmpaTyQY6sgExWcN%2F7ierg%2BhJLuIYVFUN0zGI7rNN0%2Fk%2F4qu%2BxiTD7bLZkXOo%2FzuVSYQd8ah0ctx0u8avYcNlegE51w4RmBAxnS90cYjWI2JgGoh%2FK31cV4zOHpD1x6qjpqvFEBYbUejhl9zWzA53ZjHHz5ko73QWKRwO%2Fss%2FfwK5AJSR3jx09EuQClike2bA3Q9BGxq06j4x1U0RMhXGrYhePFm1P4jJ5zew4VxMokXEV1IkLkPDVL7V&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Date=20251124T2138>



[02Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=300&X-Amz-Credential=ASIAQ3PHCVTYT23P5QRP%2F20251124%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Signature=0e97fb9857e2b9c2ea7085ed5b0805dfd43a767b10dfda4187b8561d209ed1b7&hash=1523ee92c6223f64d68402637141e4032a683f98d7a02aa4de653139787ea6da&host=68042c943591013ac2b2430a89b270f6af2c76d8dfd086a07176afe7c76c2c61&pii=S2772528624000074&tid=spdf-b53a812c-5035-4845-832c-2e623982e36e&sid=af1f869f5bc4c44c016b75a10a4094832038gxrqa&type=client&tsoh=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&rh=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&ua=171e590e510455035e0b51&rr=9a3c0d0e6f233464&cc=mx](https://www.physionet.org/content/eegmat/1.0.0/02Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=300&X-Amz-Credential=ASIAQ3PHCVTYT23P5QRP%2F20251124%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Signature=0e97fb9857e2b9c2ea7085ed5b0805dfd43a767b10dfda4187b8561d209ed1b7&hash=1523ee92c6223f64d68402637141e4032a683f98d7a02aa4de653139787ea6da&host=68042c943591013ac2b2430a89b270f6af2c76d8dfd086a07176afe7c76c2c61&pii=S2772528624000074&tid=spdf-b53a812c-5035-4845-832c-2e623982e36e&sid=af1f869f5bc4c44c016b75a10a4094832038gxrqa&type=client&tsoh=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&rh=d3d3LnNjaWVuY2VkaXJlY3QuY29t&ua=171e590e510455035e0b51&rr=9a3c0d0e6f233464&cc=mx)

- EEG during Mental Arithmetic Tasks V1.0.0. (2018, 17 diciembre).  
<https://physionet.org/content/eegmat/1.0.0/>
- <https://www.mdpi.com/2306-5729/4/1/14>
- Martínez, A., & Gómez, B. (2022). *Procesamiento de señales EEG en tareas cognitivas*. Universidad Carlos III de Madrid — e-Archivo.  
<https://e-archivo.uc3m.es/%E2%80%A6/f014dd46-%E2%80%A6/content>
- <https://www.brainaccess.ai/tutorials/eeg-signal-rereference/>
- Al-Fahoum, A. S., & Al-Fraihat, A. A. (2014). Methods of EEG signal features extraction using linear analysis in frequency and time-frequency domains. *ISRN Neuroscience*, 2014, Article 730218. <https://doi.org/10.1155/2014/730218>