

Electroencefalogram and eye-gaze datasets for robot-assisted surgery performance evaluation

Introducción

La cirugía asistida por robot (RAS), es una nueva aplicación en la medicina en donde el cirujano controla un sistema quirúrgico robótico como si fueran sus propias manos, lo que les permite ser más precisos, controlados y flexibles los movimientos, además de tener un mayor campo de visión (Mayo Clinic, s.f.). La finalidad de esta herramienta es minimizar la invasividad quirúrgica al permitir incisiones más pequeñas, reducir el dolor y la pérdida de sangre y por lo tanto, lleva a una recuperación más rápida (Muacevic, A & Alder, J., 2025). Sin embargo, a pesar de su implementación en la clínica es escasa la literatura que documenta similitudes o diferencias cerebrales entre usar esta técnica y los métodos convencionales. Además las evaluaciones de esta técnica son subjetivas porque dependen en gran medida de las opiniones del evaluador. Por lo cual evaluar su desempeño desde otras métricas como la cinemática de la mano, electroencefalograma y mirada ocular pueden proporcionar información sobre el rendimiento de SAR (Shafiei, S., et al, 2023), como por ejemplo, la atención, coordinación motora, aprendizaje, y evaluación de fatiga que podría ser interesante comparar entre cirujanos novatos y expertos, o cómo cambia la actividad cerebral dependiendo de las tareas y su dificultad.

Descripción del experimento

En este experimento se evaluó a 15 participantes usando tareas del Simulador Quirúrgico da Vinci, que es un sistema que permite a los cirujanos practicar y mejorar sus habilidades en la cirugía asistida por robot (RAS) . Cada participante realizó 27 tareas del simulador donde se usan los instrumentos EndoWrist que simulan movimientos de la mano y muñeca humana, las 27 tareas pertenecen a 6 apartados (ver tabla 1). Se obtuvieron resultados de sus puntuaciones en las tareas, actividad de electroencefalograma y actividad ocular. En este caso es de nuestro interés la actividad de electroencefalograma que fue captada por un auricular EEG de 128 canales (AntNeuro®).

Tabla 1.

| Apartado | Tareas | Propósito |
|---------------------------------|--|---|
| 1. Manipulación 1 del EndoWrist | Agarrar y colocar objetos, colocarlos en un tablero de clavijas. | Familiarizarse con el uso del EndoWrist. Proporcionar un mayor rango de movimiento y destreza. |
| 2.Manipulación 2 del EndoWrist | Tablero de correspondencias, anillo y riel. | Practicar la coordinación y control de los movimientos. |
| 3.Cámara y embrague | Apuntado de cámara, escalado del movimiento de la mano al brazo quirúrgico, desplazamiento del anillo. | Manipulación de la cámara para aprovechar eficazmente el campo de visión. |
| 4.Control de la aguja | Apuntado de la aguja en diferentes tejidos, pasar la aguja a través de anillos. | Mejorar el agarre, control y posición de las agujas. |
| 5.Manejo de la aguja | Sutura de esponja, puntería de agujas y pasarlas por tubos. | Practicar la puntería de la aguja. |
| 6.Energía y disección | Alternar entre diferentes modos de energía de los instrumentos. Y practicar disección usando energía. | Probar los diferentes instrumentos energéticos (son aquellos que pueden cortar, coagular o cauterizar tejido usando energía eléctrica). |

Tabla 1. Descripción de las diferentes tareas que realizaron los cirujanos en el Simulador Quirúrgico da Vinci, con el propósito de familiarizarse con los instrumentos, aprovechar el campo de visión y mejorar la coordinación y control de sus movimientos.

Descripción del dataset

Datos

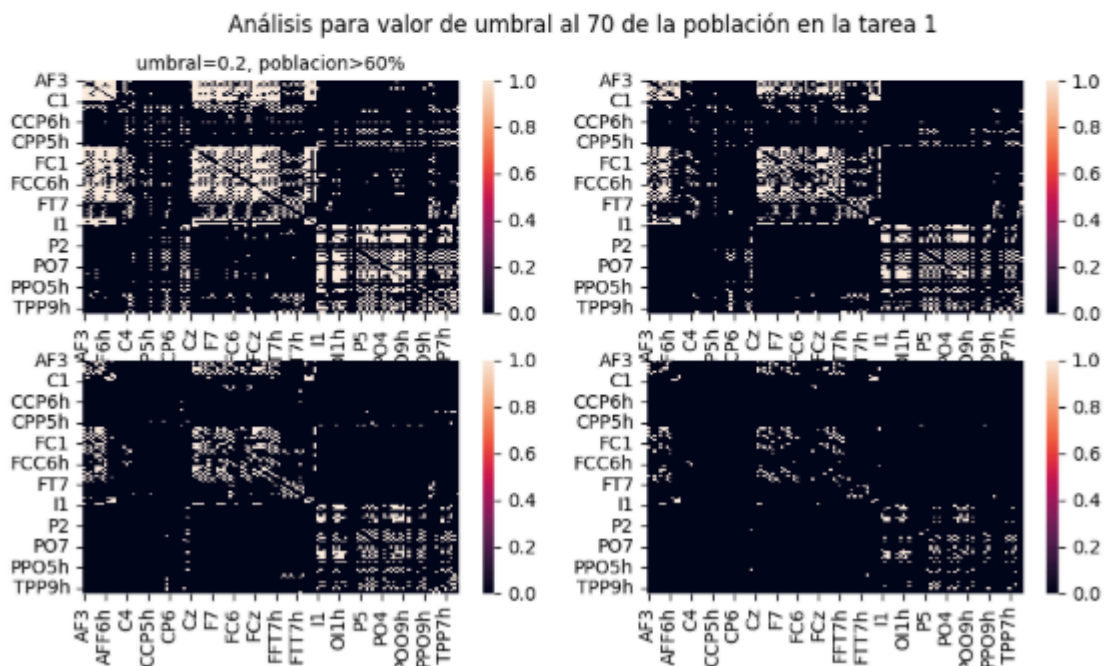
Los datos se obtuvieron de la plataforma Physionet. Los datos se encontraban en crudo, por lo que el primer paso fue preprocesarlos (el preprocesado se encuentra en dos notebook diferentes), debido a que mi computadora no soporta tantas cosas, lo que hice para reducir los datos y que además fuera parte de mi análisis, tome la tarea 1, 4, 9, 15, 17, 23 que corresponden a la primera tarea de cada apartado de la tabla 1. A estos datos les aplique

un filtro de 5 - 40 Hz, el artículo reportó que para algunos sujetos los canales podían estar ruidosos, así que modifique el código para que leyera estos canales y si los encontraba defectuosos los eliminará. Aplique la Phase Locking Value (PLV) para medir sincronía de fase entre pares de canales, use este método ya que la literatura reporta que es una de las medidas de interacción de fase más utilizada para electroencefalograma, consiste en medir qué tan constante son las diferencias de fase entre dos señales, en este caso entre dos electrodos, en el cual si la diferencia es siempre parecida $PLV \approx 1$, y si la diferencia de fase cambia mucho al azar $PLV \approx 0$. (Aydore, S., Pantazis, D & Leahy, R, 2013). Estos datos los convertí a xlsx y los guardé en otra carpeta para su posterior análisis. El reajuste del tamaño de las matrices por los electrodos eliminados (de 128x128 a 124x124), el cambio de nombre de los electrodos para mejor visualización y la eliminación de la diagonal se hizo en el notebook del proyecto.

Resultados y análisis

Tarea 1

Elegí el umbral 0.4 y porcentaje de 0.6, me base en el percentil 50%, en el mapa de calor ya que conserva conexiones fuertes entre regiones y en que μ_{σ} indica que los enlaces más fuertes están entre $\sim 0.2-0.4$.



```
tarea1u1 = capsula(lista_recortada, 0.3, 0.6)
tarea1u2 = capsula(lista_recortada, 0.4, 0.6)
tarea1u3 = capsula(lista_recortada, 0.5, 0.6)
tarea1u4 = capsula(lista_recortada, 0.6, 0.6)
```

Métricas para tarea 1:

'clustering': 0.642162757763668 - valor alto, hay varios agrupamientos indicando conectividad local fuerte

'path_length': nan -

'small_world_sigma': nan -

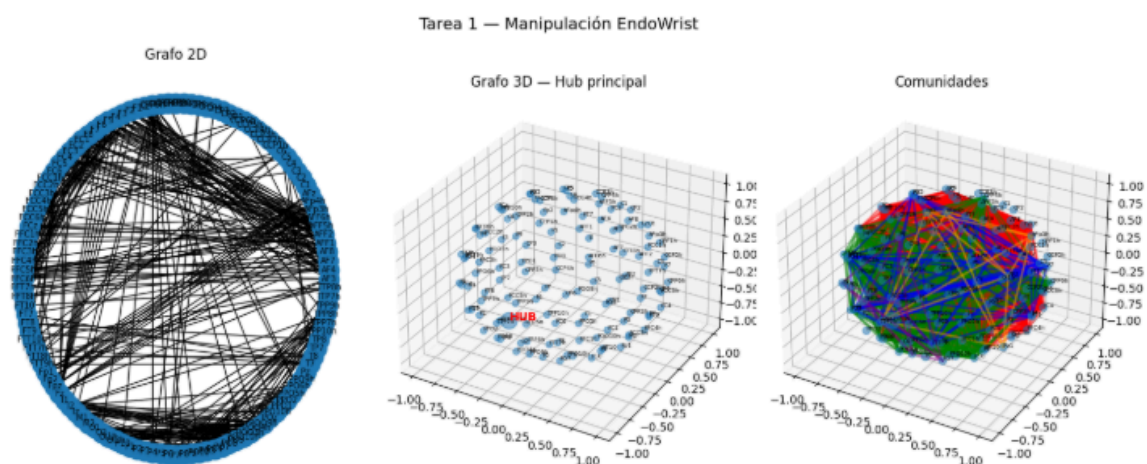
'modularidad': 0.3928122906991517 - confirma comunidades

'eficiencia_global': 0.46462321881280555 - eficiencia moderada, la red no está totalmente conectada entre todos los nodos

'eficiencia_local': 0.7682152330299343 - tiene alto grado de comunicación local, coincidiendo con clustering

'top5_hubs': [('TTP8h', 0.1728138759449554),
('PO10', 0.1598712373828894),
('FTT8h', 0.1549365605891719),
('FC6', 0.1386766062972347),
('FFT8h', 0.1270379251139083)]

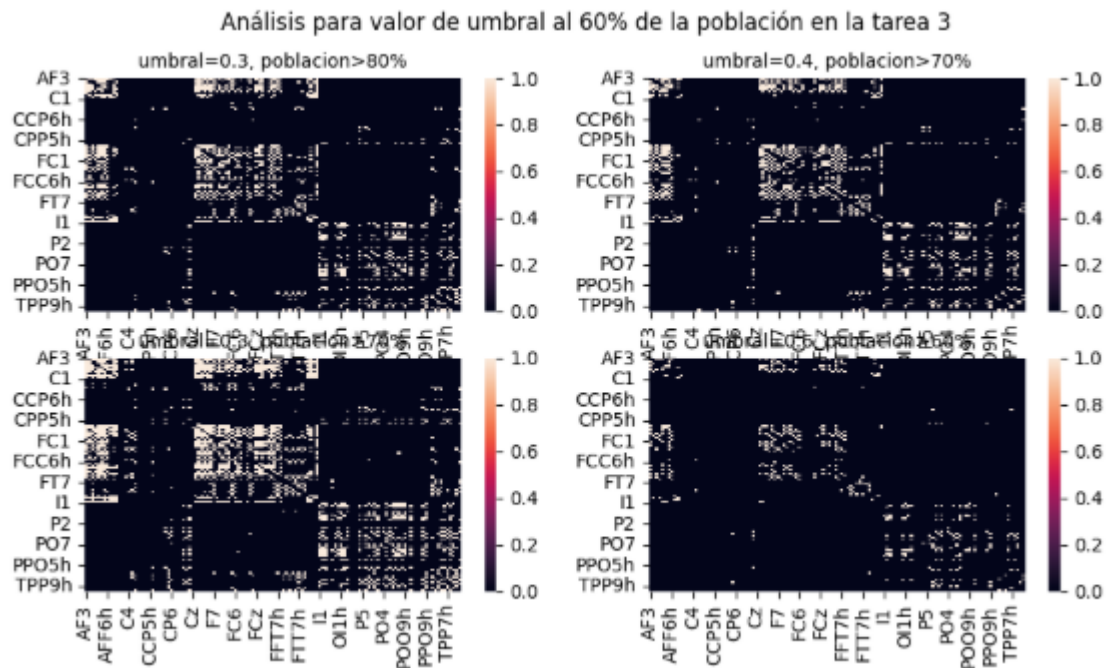
Estas métricas hacen sentido porque no es una tarea compleja, las áreas de integración importante provienen de zonas frontocentrales, occipitales y temporales, que son las encargadas del sistema espacial, área visual, control fino y planificación de movimientos.



El grafo 2d muestra conexiones en electrodos temporales y frontales, en el grafo 3d podemos observar al hub principal que es TTP8h, forma parte del procesamiento visual y espacial que puede ayudar a mapear la posición de los instrumentos de la tarea.

Tarea 2

Umbral y porcentaje elegido 0.4, 0.7, se destacan redes visibles en el mapa de calor, con el porcentaje 0.7 elimino redes débiles.

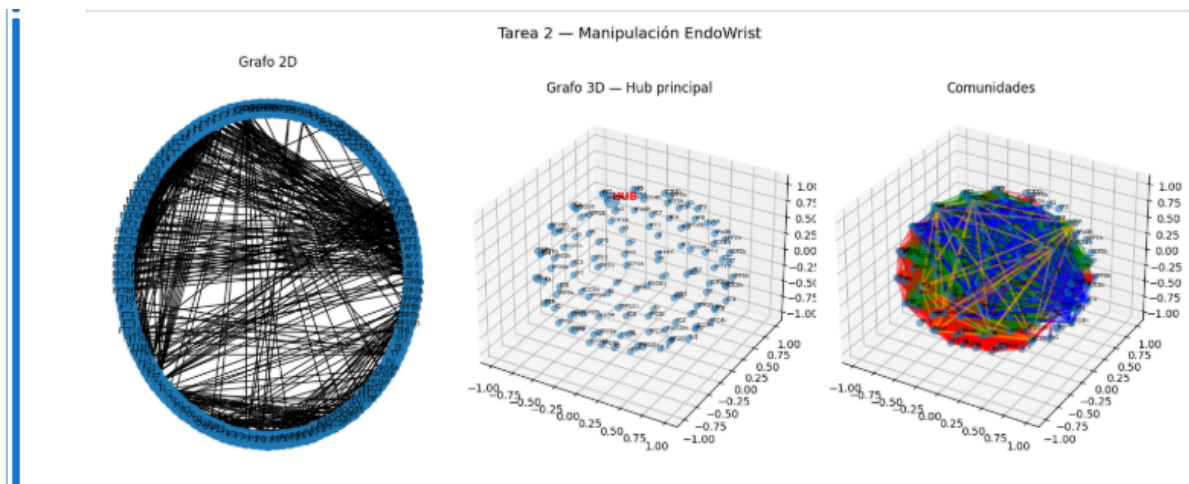


Métricas

```
'clustering': 0.5151853460488657,
'path_length': nan,
'small_world_sigma': nan,
'modularidad': 0.5372133875739645,
'eficiencia_global': 0.20989956040112703,
'eficiencia_local': 0.6071217085309476,
'top5_hubs': [('CCP6h', 0.16100371607775488),
('CPP6h', 0.1523876517403596),
('FCC6h', 0.12473488690788165),
('FTT7h', 0.10673638424167031),
('TTP7h', 0.1030694211653594)],
```

Nuevamente indica un baja eficiencia global, pero tiene coherencia, ya que igual es una tarea para conocer la instrumentación, buena eficiencia local, logra formar redes densas con

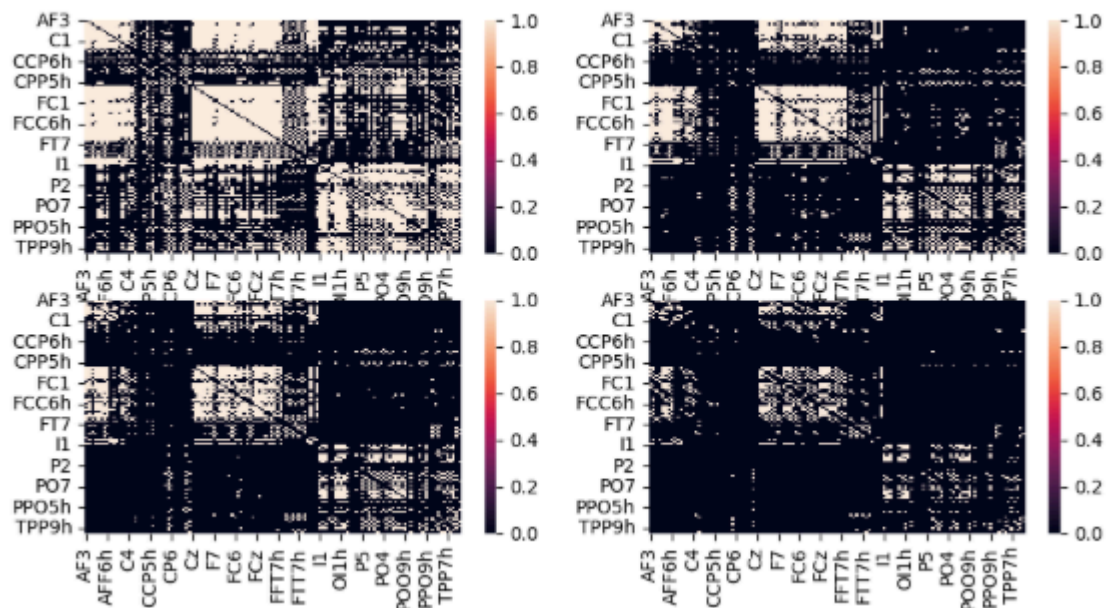
sus vecinos y su hubs pertenecen a áreas frontales, temporales y centrales.}



Tarea 3

```
[: Text(0.5, 0.98, 'Análisis para valor de umbral al 60% de la población en la tarea 3')
```

Análisis para valor de umbral al 60% de la población en la tarea 3



Umbral elegido 0.3, 0.8 (imagen [1, 0])

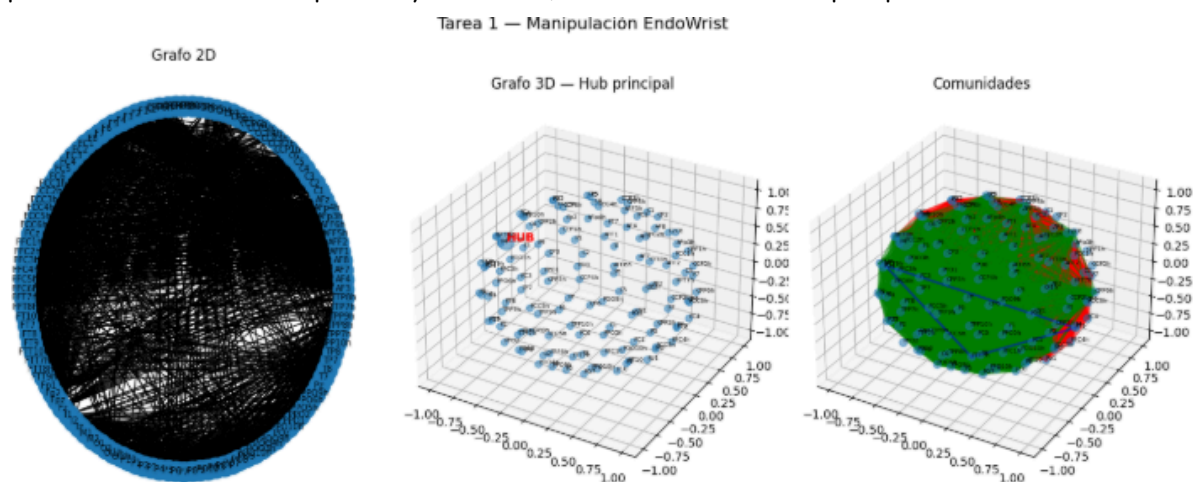
Métricas

```
{'clustering': 0.6477225523396819,  
'path_length': nan,  
'small_world_sigma': nan,
```



```
'modularidad': 0.37931881735633266,  
'eficiencia_global': 0.4569761342774432,  
'eficiencia_local': 0.7650936381364747,  
'top5_hubs': [('FCC2h', 0.050661733973176346),  
( 'O2', 0.03700092721687578),  
( 'FFC6h', 0.032401458731318236),  
( 'OI1h', 0.030041788885968954),  
( 'FC4', 0.029809685033236985)],
```

Esta tarea no difiere tanto de las anteriores indica una intermedia eficiencia global, buena eficiencia local, un clustering alto, indicando que los nodos forman grupos densos. Sus hubs pertenecen a áreas occipitales y frontales, lo cual hace sentido porque la tarea es visual.



Conclusión

La obtención de electroencefalograma para estas tareas muestra que existe un patrón de actividad que tiene relación con la naturaleza de la tarea, sin importar si es un simulador virtual los cirujanos procesan la información como si lo estuvieran haciendo en realidad. Esto nos aporta evidencia de que el EEG es una herramienta útil para evaluar la coordinación motora, procesamiento visual y del espacio durante la cirugía asistida por robot. También sería posible evaluar los niveles de aprendizaje dependiendo la experiencia del cirujano, lo cual también aportaría información relevante.

Referencias

Mayo Clinic. (s.f.) Cirugía robótica. Cirugía robótica - Mayo Clinic

PhysioNet (2023). Electroencephalogram and eye-gaze datasets for robot-assisted surgery performance evaluation.

<https://physionet.org/content/eeg-eye-gaze-data/1.0.0/#files-panel>

Burbano, et al. (2025). Robot-Assisted Surgery: Current Applications and Future Trends in General Surgery. PubMed, 17(4) <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12080974/>

Aydore, S, Pantazis, D, Leahy, R, (2013). A note on the Phase Locking Value and its properties. PubMed.