

Análisis de los Errores Incurridos en la Localización de Fuentes de Actividad Neuronal al Usar Diversos Valores Nominales de Conductividad Cerebral

Presentación de Tesis

Oscar Colunga

11/25/2024

/>



Table of contents

You can use the `Toc` component to generate a table of contents for your slides:

```
<Toc minDepth="1" maxDepth="1"></Toc>
```

The title will be inferred from your slide content, or you can override it with `title` and `level` in your frontmatter.

1. [Presentación de Tesis](#)
2. [Table of contents](#)
3. [Introducción](#)
4. [Métodología - Método Propuesto](#)
5. [Métodología - Proceso](#)
6. [Métodología - Construcción del Modelo Geométrico Realista](#)
7. [Métodología - Modelo Geométrico Realista](#)
8. [Métodología - Arreglo de Electrodos de EEG](#)
9. [Métodología - Modelo Geométrico Realista Completo](#)
10. [Metodología - Variación de la Conductividad](#)
11. [Metodología - Matriz de Ganancia](#)
12. [Metodología - Problema Directo](#)
13. [Metodología - Dipolos Corticales](#)
14. [Metodología - Simulación de EEG](#)
15. [Métodología - Problema Inverso](#)
16. [Métodología - Problema Inverso](#)
17. [Métodología - Error de Localización](#)
18. [Métodología - Error de Localización](#)
19. [Métodología - Análisis Estadístico](#)
20. [Métodología - Análisis Estadístico](#)
21. [Resultados](#)

Introducción

EEG y su uso en la localización de fuentes de actividad neuronal. blah blah

$$V(r) = \frac{2\sigma_0}{\sigma_k^- + \sigma_k^+} V_0(r) + \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^R \frac{\sigma_j^- - \sigma_j^+}{\sigma_k^- + \sigma_k^+} \int_{r' \in S_j} V(r') \frac{r' - r}{||r' - r||^3} dS_j$$

El EEG es una técnica no invasiva que permite medir la actividad eléctrica del cerebro. La localización de fuentes de actividad neuronal es un problema inverso que consiste en estimar la actividad eléctrica en el cerebro a partir de las mediciones del EEG.

-  **Text-based** - focus on the content with Markdown, and then style them later
-  **Themable** - theme can be shared and used with npm packages
-  **Developer Friendly** - code highlighting, live coding with autocompletion
-  **Interactive** - embedding Vue components to enhance your expressions
-  **Recording** - built-in recording and camera view
-  **Portable** - export into PDF, PNGs, or even a hostable SPA
-  **Hackable** - anything possible on a webpage

Metodología

Método Propuesto

El método propuesto para poner a prueba la hipótesis de que la variación de la conductividad cerebral afecta la localización de fuentes de actividad neuronal consta de las siguientes etapas:

- **Modelo Geométrico:**

Se realiza una aproximación estructural y se determinan las propiedades bioelectromagnéticas de los tejidos, incluyendo las variaciones de conductividad.

- **Solución del problema directo:**

Se utilizan dipolos eléctricos para modelar puntos fijos de actividad neuronal, equivalentes a respuestas evocadas (ER). Se representa matricialmente las variaciones espacio-temporales del dipolo.

- **Solución del problema inverso:**

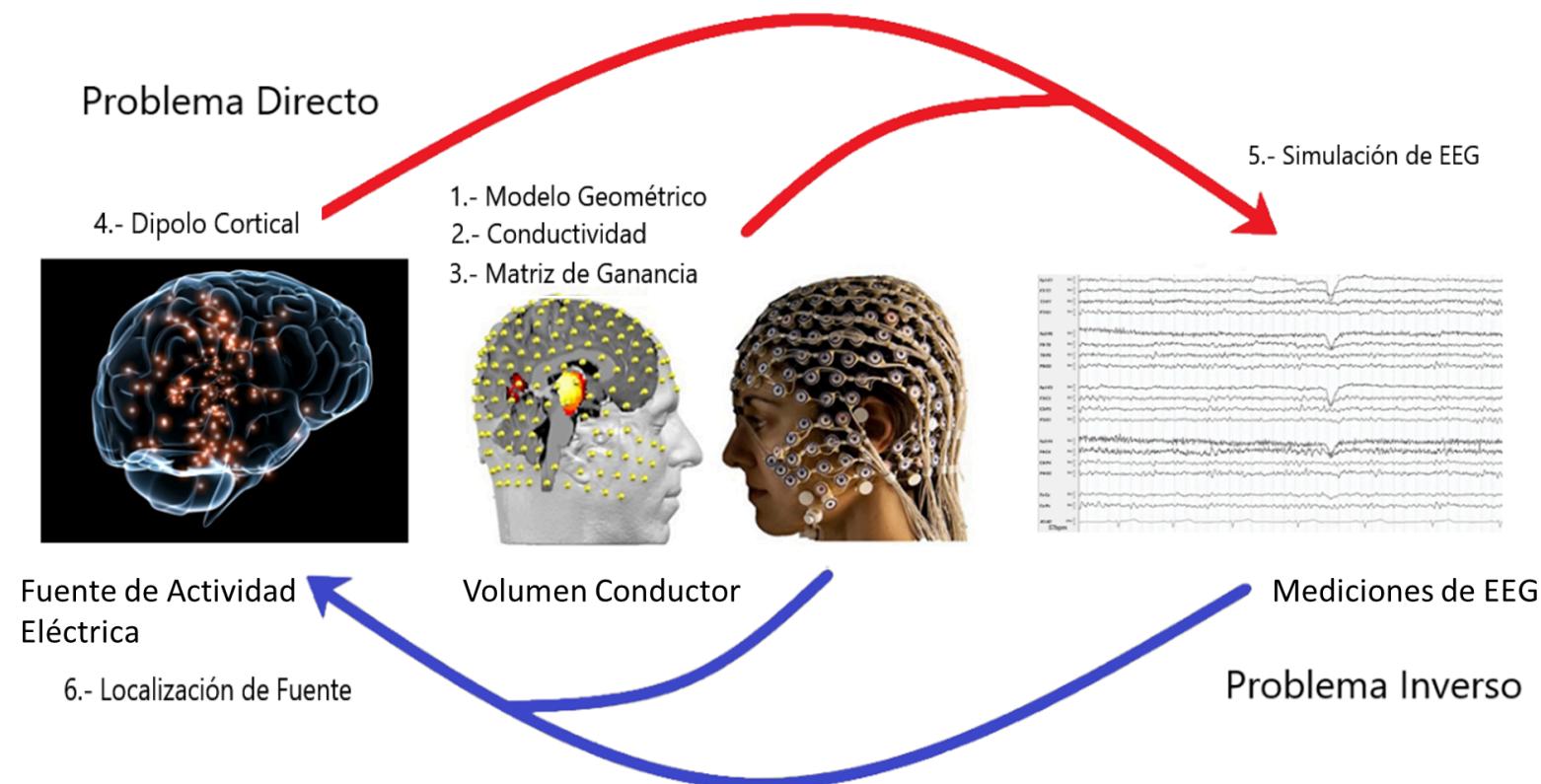
Se analizan las señales simuladas para identificar la posición de las fuentes de actividad neuronal.

- **Análisis estadístico:**

Se utiliza la frontera de Cramer-Rao para verificar el desempeño del estimador como un estimador no sesgado.

Metodología

Proceso del Método Propuesto



Problema Directo

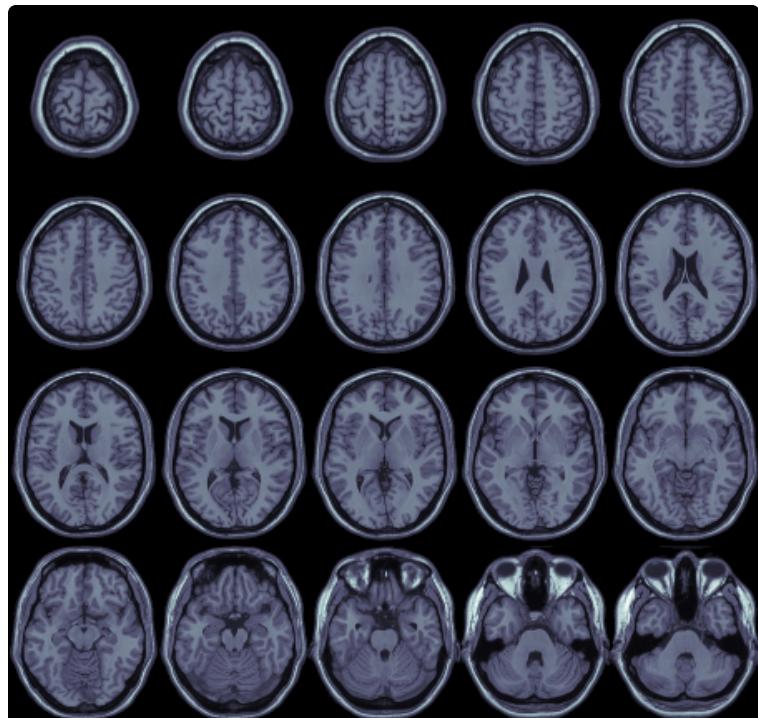
- En la primera etapa, se define el modelo geométrico realista de la cabeza (1).
- Luego, se varía la conductividad (2) y se calcula la matriz de ganancia (3), formando así nuestro modelo de volumen conductor.
- Posteriormente, se resuelve el problema directo utilizando el volumen conductor y un dipolo de corriente fijo (4).
- Esto da como resultado mediciones de EEG simuladas (5).

Problema Inverso

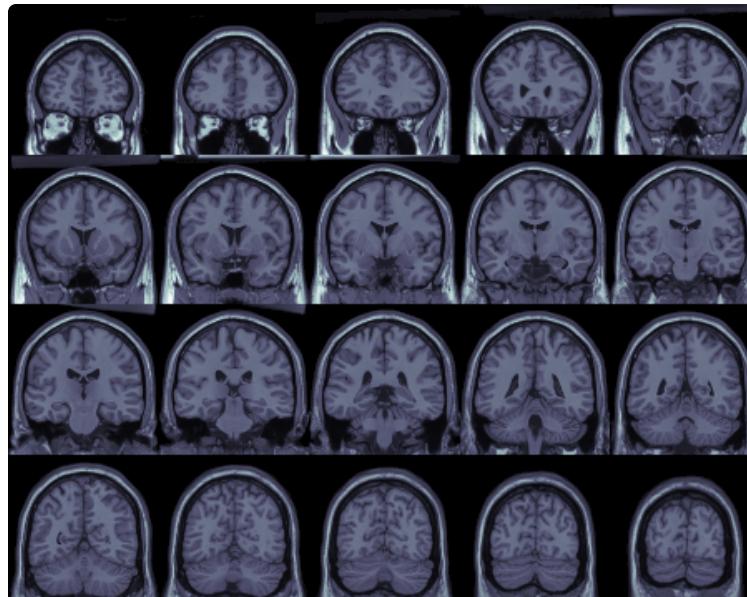
- Estas mediciones se emplean junto con el modelo de volumen conductor para resolver el problema inverso y localizar las fuentes de actividad neuronal (6).

Metodología

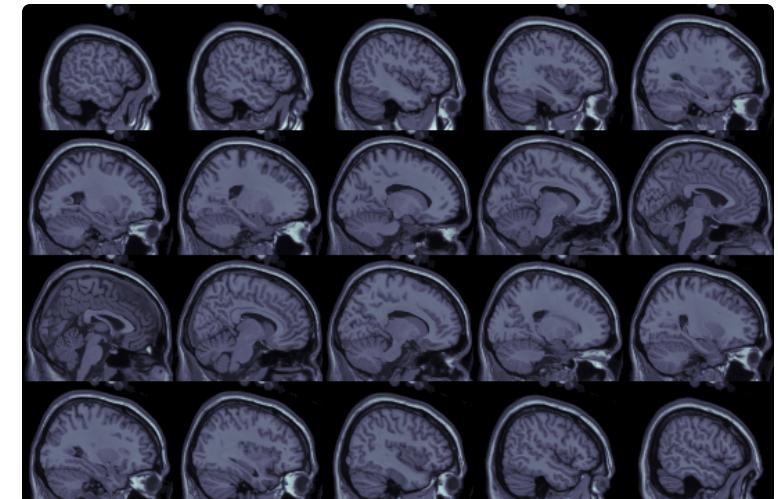
Construcción del Modelo Geométrico Realista



Corte axial



Corte coronal



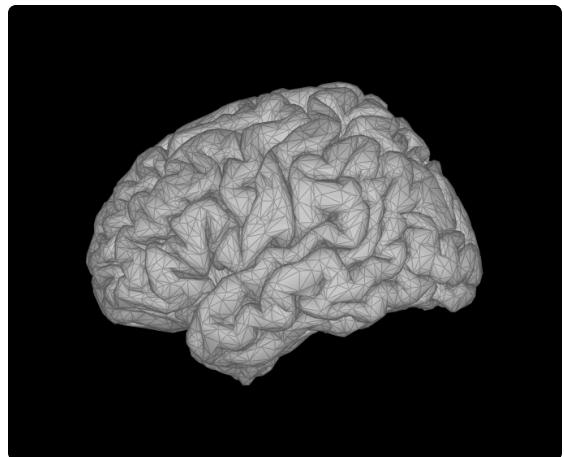
Corte sagital

Resonancia magnética de Colin27, utilizada como base para la construcción del modelo geométrico realista de la cabeza^[1].

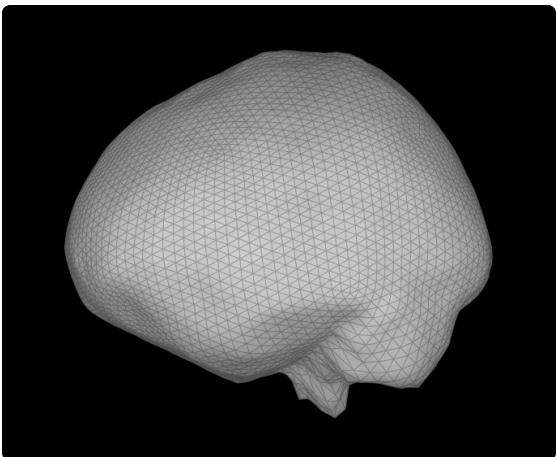
1. Colin27 MRI dataset, available at BrainWeb. ↵

Metodología

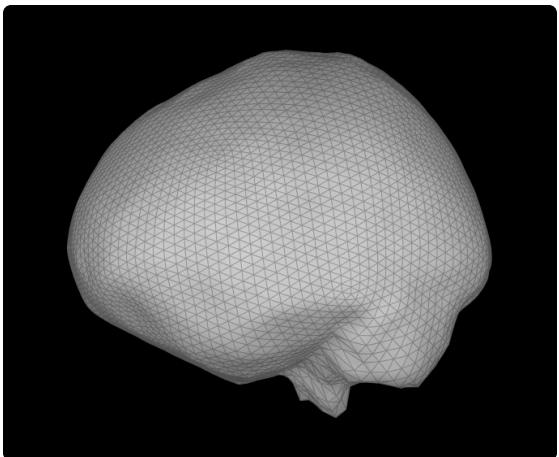
Modelo Geométrico Realista



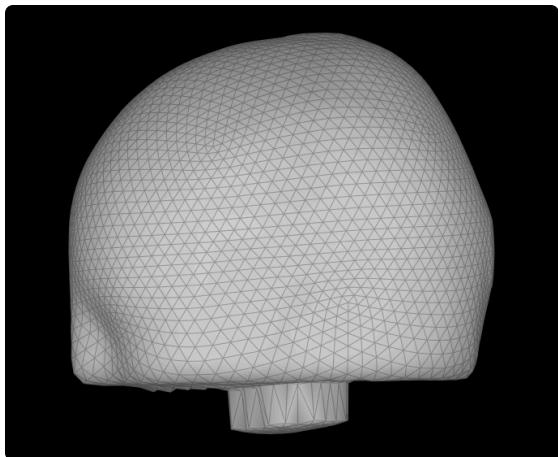
Corteza cerebral
Resolución: 29988 triángulos



Capa interna del cráneo
Resolución: 8640 triángulos



Capa externa del cráneo
Resolución: 8640 triángulos

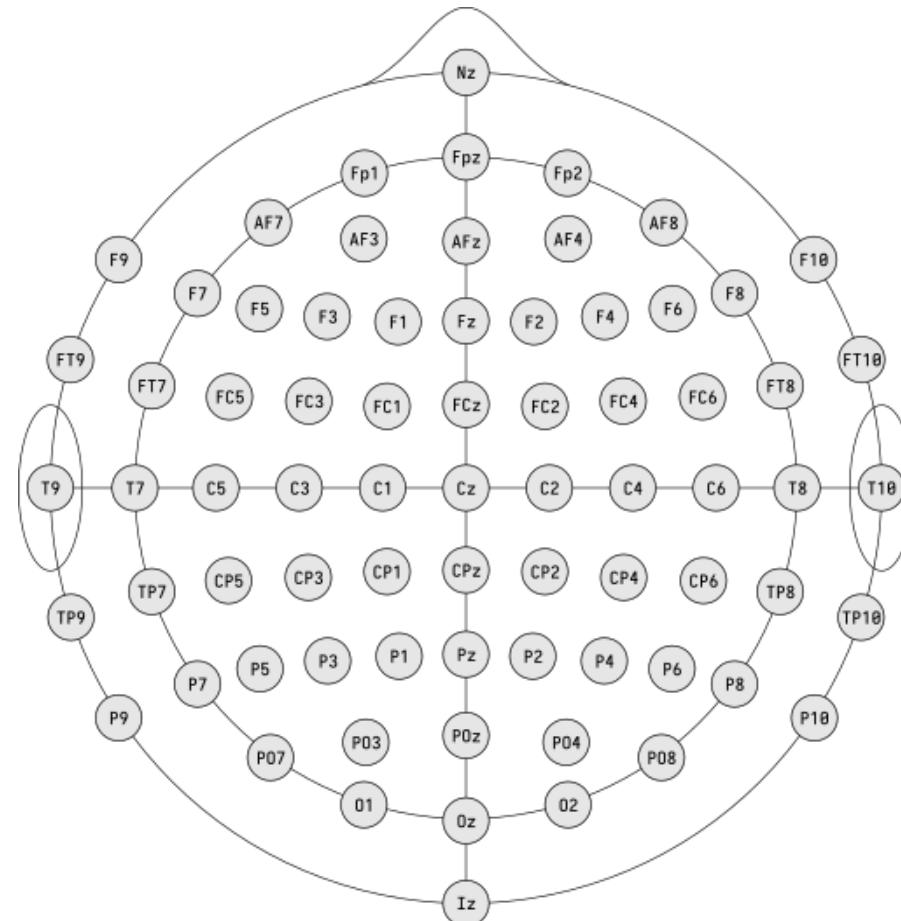


Cuero cabelludo
Resolución: 6480 triángulos

- Mallas teseladas construidas a partir de la resonancia magnética de Colin27
- Cada malla representa una de las interfaces entre los tejidos de la cabeza

Arreglo de Electrodos de EEG

Metodología

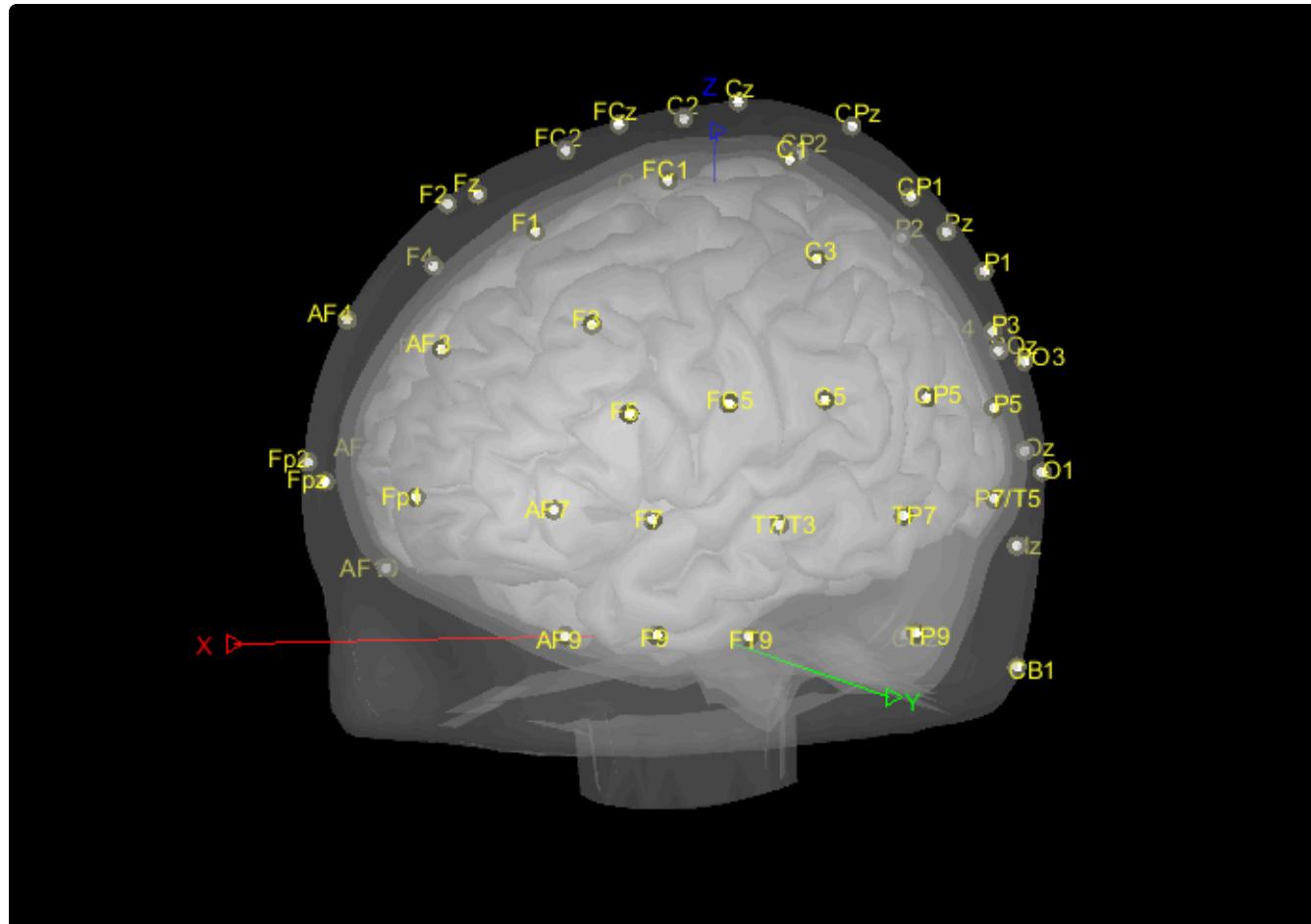


- Arreglo de electrodos EEG con sistema 10-10, tomada de la literatura^[1]
- TODO: añadir modelado 3d del arreglo de electrodos

¹ Source: "EEG Electrode Placement" by John Doe, available at [EEG Source](#) ↵

Modelo Geométrico Realista Completo

Metodología



- Modelo completo de la cabeza, compuesto de las mallas de la corteza cerebral, cráneo, cuero cabelludo, y el arreglo de electrodos EEG.
- Ejes de coordenadas: X (rojo), Y (verde), Z (azul).

Variación de la Conductividad

Metodología - Problema Directo

- La conductividad de los tejidos de la cabeza son parámetros importantes en la simulación del EEG.
- Usualmente, se asumen valores nominales y se consideran constantes e isotrópicos.
- Sin embargo, la conductividad de estos tejidos varía en la realidad, dependiendo de factores como la edad, sexo, y patologías.
- En este trabajo, se considera la variación de la conductividad en los tejidos cerebrales y su efecto en la localización de fuentes de actividad neuronal.

ID	BSCR	Referencias	Año
1	79.36	Cohen1983	1990
2	208.33	eriksenVivoHumanHead1990	2003
3	68.96	gonalvesVivoMeasurementBrain2003	2004
4	22.17	Baysal2004	2004
5	26.24	Gutierrez2004	2011
6	41.84	Dannhauer2011	2014
7	33.00	aydinCombiningEEGMEG2014a	2016
8	10.30	acarHighresolutionEEGSource2016	2003
9	20.00	hoekemaMeasurementConductivitySkull2003	1968
10	80.00	Rush1968	1983

Tabla 1: Valores de la razón de conductividad cerebro-cráneo (BSCR).

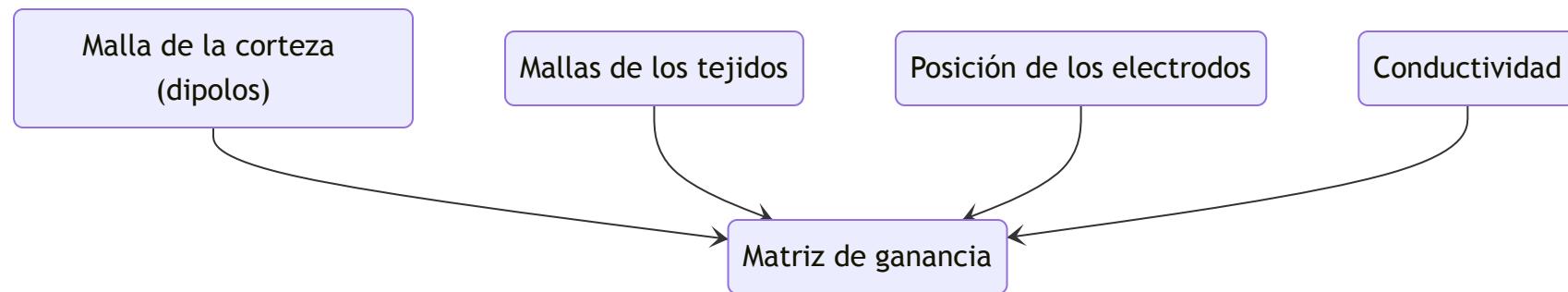
Matriz de Ganancia

Metodología - Problema Directo

Regresando al sistema de la solución del problema directo

$$V = VL + V_0$$

- L es la matriz de ganancia, y define el modelo de la respuesta de los electrodos a la actividad neuronal generada por un dipolo eléctrico.
- En otras palabras, L representa la relación entre las propiedades bioelectromagnéticas de los tejidos y las mediciones de EEG.
- Por lo tanto, fue necesario calcular la matriz de ganancia para cada variación de la conductividad en los tejidos cerebrales.

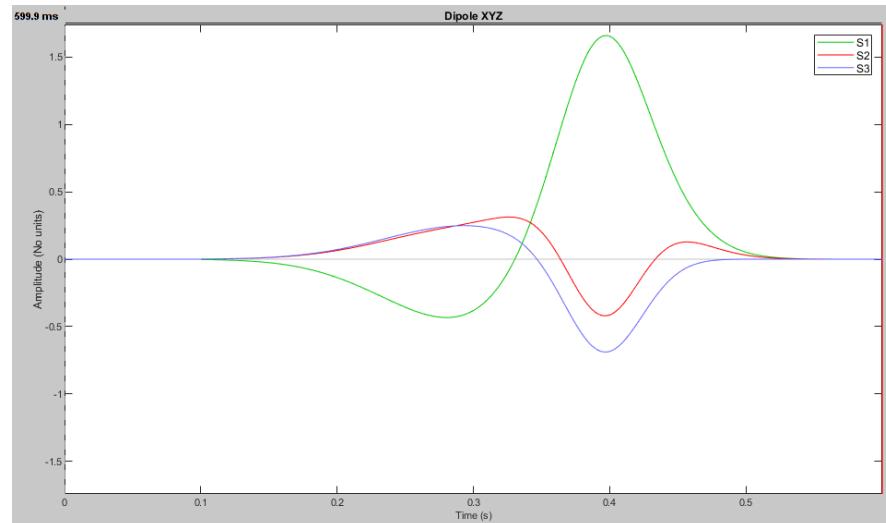


- Obteniendo 10 matrices de ganancia, una para cada valor de la razón de conductividad cerebro-cráneo (BSCR).
- Cada matriz de ganancia tiene dimensiones $N_e \times N_d$, donde N_e es el número de electrodos y N_d es el número de dipolos.
- Por lo tanto, se obtuvieron 10 matrices de ganancia de dimensiones 45006×65 .

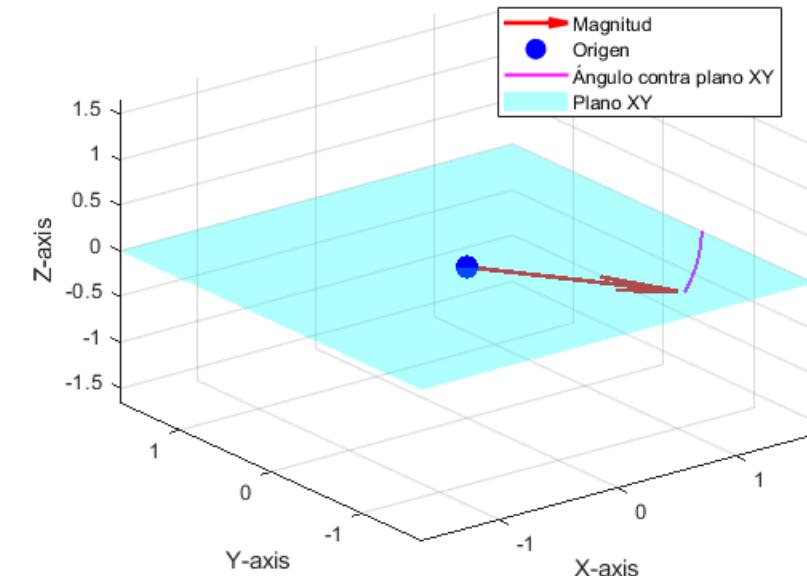
Simulación de Fuentes de Actividad Neuronal

Metodología

- El dipolo eléctrico es un modelo simplificado de la actividad neuronal correspondiente a una respuesta evocada (ER).
- Se definió un dipolo eléctrico con componentes X, Y, Z, y dirección y magnitud variables.



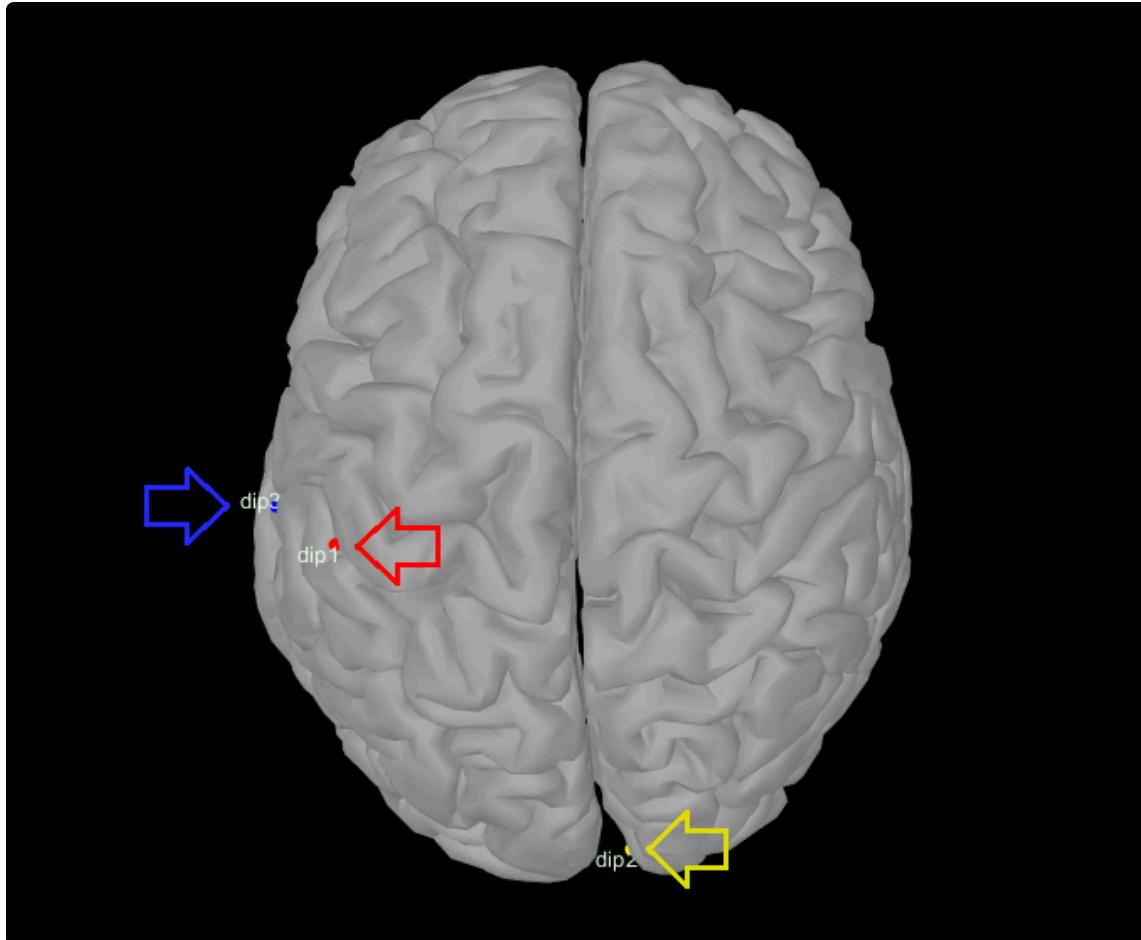
Función de dipolo eléctrico



Dipolo eléctrico

Dipolos Corticales

Metodología



- Para tener un análisis más robusto, se consideraron 3 dípolos en diferentes regiones de la corteza cerebral.
- Estos dípolos representan la actividad neuronal de eventos evocados (ER) en diferentes regiones del cerebro.
- Se consideraron las zonas somatosensoriales (Dipolo 1), visuales (Dipolo 2), y auditivas (Dipolo 3).
- Estos dípolos se crearon como scouts en Brainstorm, y se utilizaron para resolver el problema directo.

Solución del Problema Directo

Metodología

2. **Datos de Entrada para el Problema Directo:** Los scouts se utilizaron como entrada para resolver el problema directo en Brainstorm, junto con:

- La función del dipolo respecto al tiempo,
- El modelo de conductor volumétrico basado en geometría realista,
- La matriz de ganancia para cada BSCR, y
- El arreglo de sensores de EEG.

3. **Mediciones de EEG Simuladas:** Este enfoque produjo 100 mediciones de EEG simuladas para cada BSCR en los tres scouts, lo que resultó en un total de 300 mediciones.

4. **Adición de Ruido para Condiciones Realistas:** Se añadió ruido a los datos simulados para considerar condiciones experimentales con pacientes, utilizando una relación señal/ruido (SNR) de 1%, 5%, y 10% de la magnitud de la señal. El ruido se añadió mediante la siguiente función de Brainstorm:

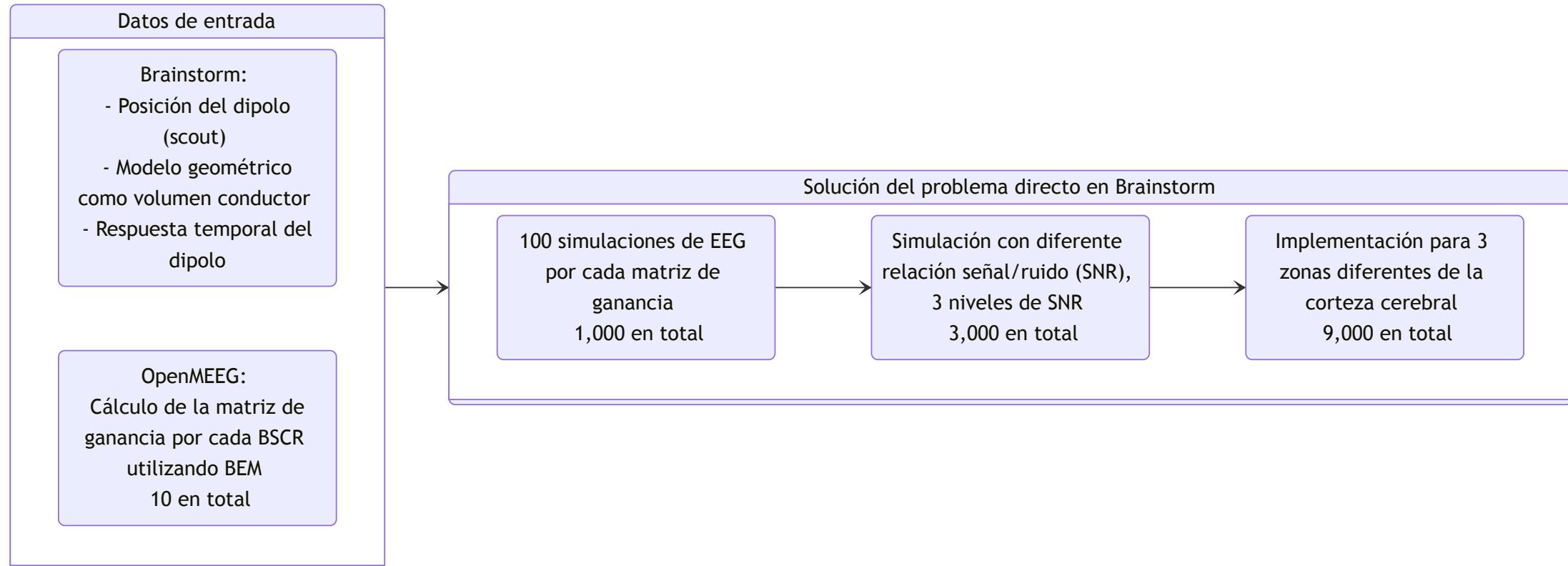
$$\text{Source} = \text{Source} + \text{SNR} \times (\text{randn}(\text{size}(\text{Source})) - 0.5)) \times \text{max}(\text{abs}(\text{Source}))$$

donde *Source* es la señal de EEG simulada y *SNR* es la razón señal/ruido.

5. **Conjunto de Datos Final:** Este proceso generó 3 sets de 10,000 mediciones para cada uno de los 3 dípolos, resultando en un total de 90,000 mediciones de EEG simuladas diferentes.

Proceso del Problema Directo

Metodología



El ruido se añadió mediante la siguiente función de Brainstorm:

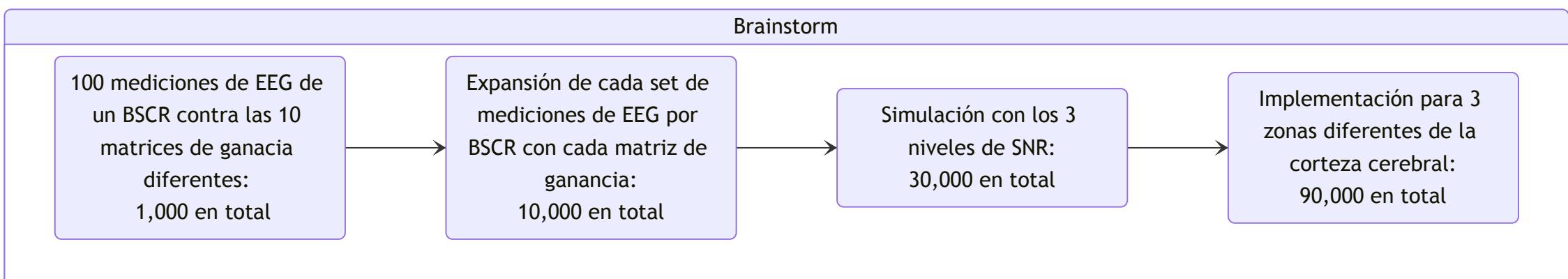
$$\text{Source} = \text{Source} + \text{SNR} \times (\text{randn}(\text{size}(\text{Source})) - 0.5) \times \text{max}(\text{abs}(\text{Source})),$$

donde *Source* es la señal de EEG simulada y *SNR* es la razón señal/ruido.

Solución del Problema Inverso

Metodología

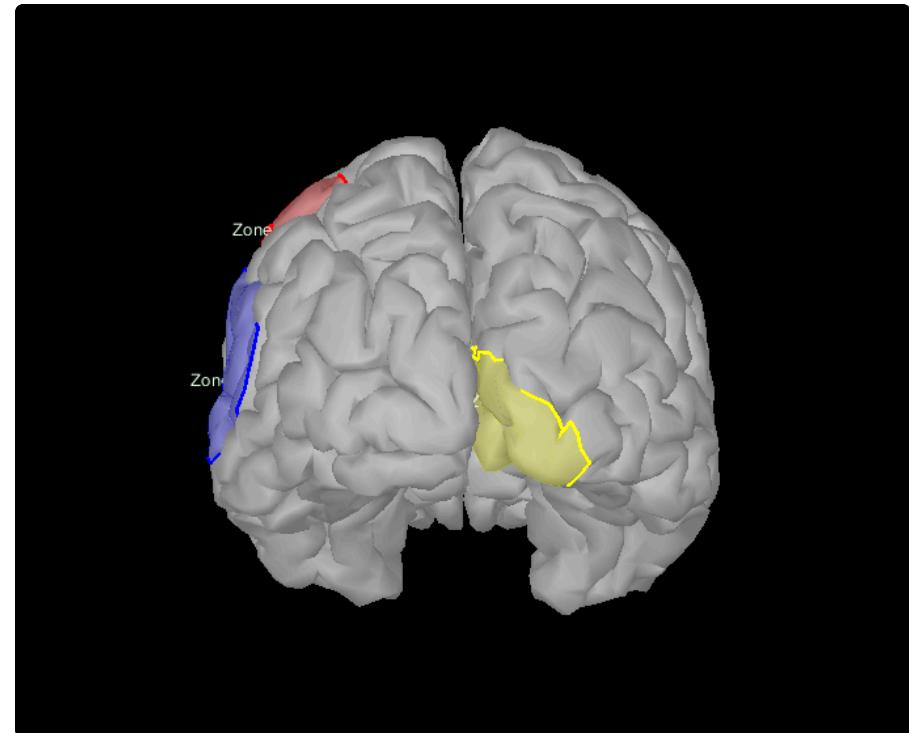
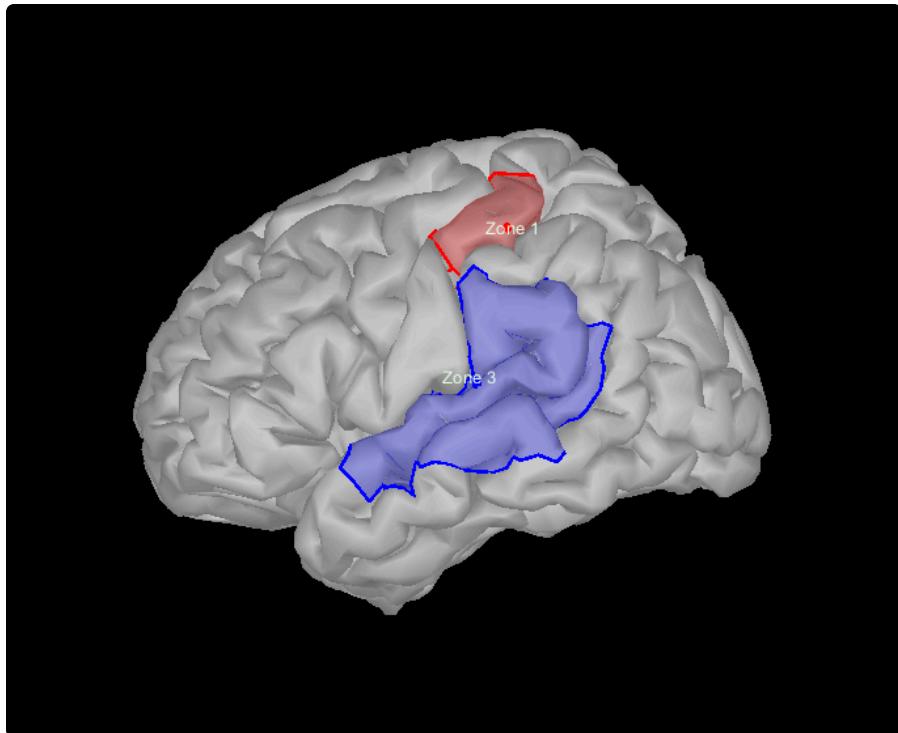
- El método seleccionado para resolver el problema inverso fue el de filtrado espacial, específicamente, el método de filtrado espacial LCMV
- Los datos de EEG simulados se utilizaron como entrada para el método de filtrado espacial, junto con:
 - La matriz de ganancia para cada BSCR,
 - El modelo de conductor volumétrico basado en geometría realista, y
 - La posición de los electrodos de EEG.



- El resultado de la solución del problema inverso es un kernel de imagen, el cual una vez ejecutado, proporciona un mapa de la actividad neuronal en la corteza cerebral denominado mapa de índice de actividad neuronal (PNAI).

Cuantificación del Error de Localización

Metodología



- Para cuantificar el error de localización de las fuentes de actividad neuronal, los resultados del problema inverso se separaron en grupos definidos por la razón de conductividad cerebro-cráneo (BSCR), la relación señal/ruido (SNR), y la región de la corteza cerebral.
- El error de localización se calculó como la distancia euclíadiana entre la posición real del dipolo y la posición estimada por el método de filtrado espacial.
- A su vez, esta posición estimada se definió como el punto de máxima actividad neuronal en la ROI correspondiente al dipolo de origen.

Estandarización del Error de Localización

Metodología

- La distancia entre la posición real y la estimada tenía una tendencia a 0, salvo algunos valores atípicos provocados por la introducción de ruido en los datos simulados.
- Por lo tanto, se tomaron tres medidas para estandarizar el error de localización:
 - Debido a la distribución sesgada a la derecha de los datos, se utilizó la media del percentil 95 como medida de tendencia central.
 - Se calculó la media y la desviación estándar de la distancia euclíadiana entre los vértices de la malla de la corteza cerebral.
 - Se dividió el error de localización por la media de la resolución de la malla de la corteza cerebral, obteniendo así una medida adimensional del error de localización.
- Quedando así, el error de localización estandarizado como:

$$\text{Error}_{\text{estandarizado}} = \frac{\text{Posición}_{\text{localización}} - \text{Posición}_{\text{real}}}{\text{Distancia media}_{\text{vértices}}},$$

y la desviación estándar del error de localización estandarizado como:

$$\text{Desviación estándar}_{\text{estandarizada}} = \frac{\text{Desviación estándar}_{\text{localización}}}{\text{Distancia media}_{\text{vértices}}}.$$

Análisis Estadístico

Metodología

- Para evaluar el desempeño del estimador de la posición de la fuente de actividad neuronal, se utilizó la frontera de Cramér-Rao.
- La frontera de Cramér-Rao es una cota inferior para la varianza de un estimador no sesgado.
- Este límite teórico inferior de la varianza del error para un estimador no sesgado se representa como una desigualdad con el valor esperado del estimador de la forma:

$$E \left\{ (\hat{\theta} - \theta)(\hat{\theta} - \theta)^T \right\} \geq CRB(\theta),$$

donde $\hat{\theta}$ es el estimador, θ es el parámetro de interés, y $CRB(\theta)$ es la matriz de Cramér-Rao.

- Esta a su vez se puede definir como la inversa de la matriz de información de Fisher,

$$CRB(\theta) = [\mathcal{I}(\theta)]^{-1},$$

y en términos de la matriz de información de Fisher para el EEG, se tiene:

$$CRB(\theta) = [J^{EEG}(\theta)]^{-1},$$

Expandiendo la matriz de información de Fisher para el EEG, se obtiene:

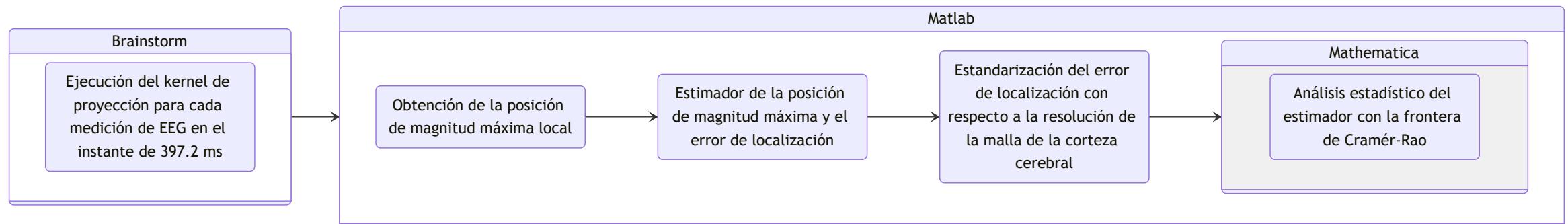
$$J_{ij}^{EEG}(\theta) = q^T \left(\frac{\partial k}{\partial \theta_i} \right)^T \frac{L^T L}{\sigma_E^2} \left(\frac{\partial k}{\partial \theta_j} \right) q,$$

donde q es la magnitud del dipolo en el instante de 397.2 ms, L es la matriz de ganancia, σ_E^2 es la varianza del ruido de las mediciones de EEG, y $\frac{\partial k}{\partial \theta_i}$ es la derivada parcial de las posiciones de los dipolos con respecto a la posición de los sensores de EEG .

Proceso del Análisis Estadístico

Metodología

- El proceso de análisis estadístico de los resultados del problema inverso se realizó en Matlab y Mathematica, y constó de las siguientes etapas:

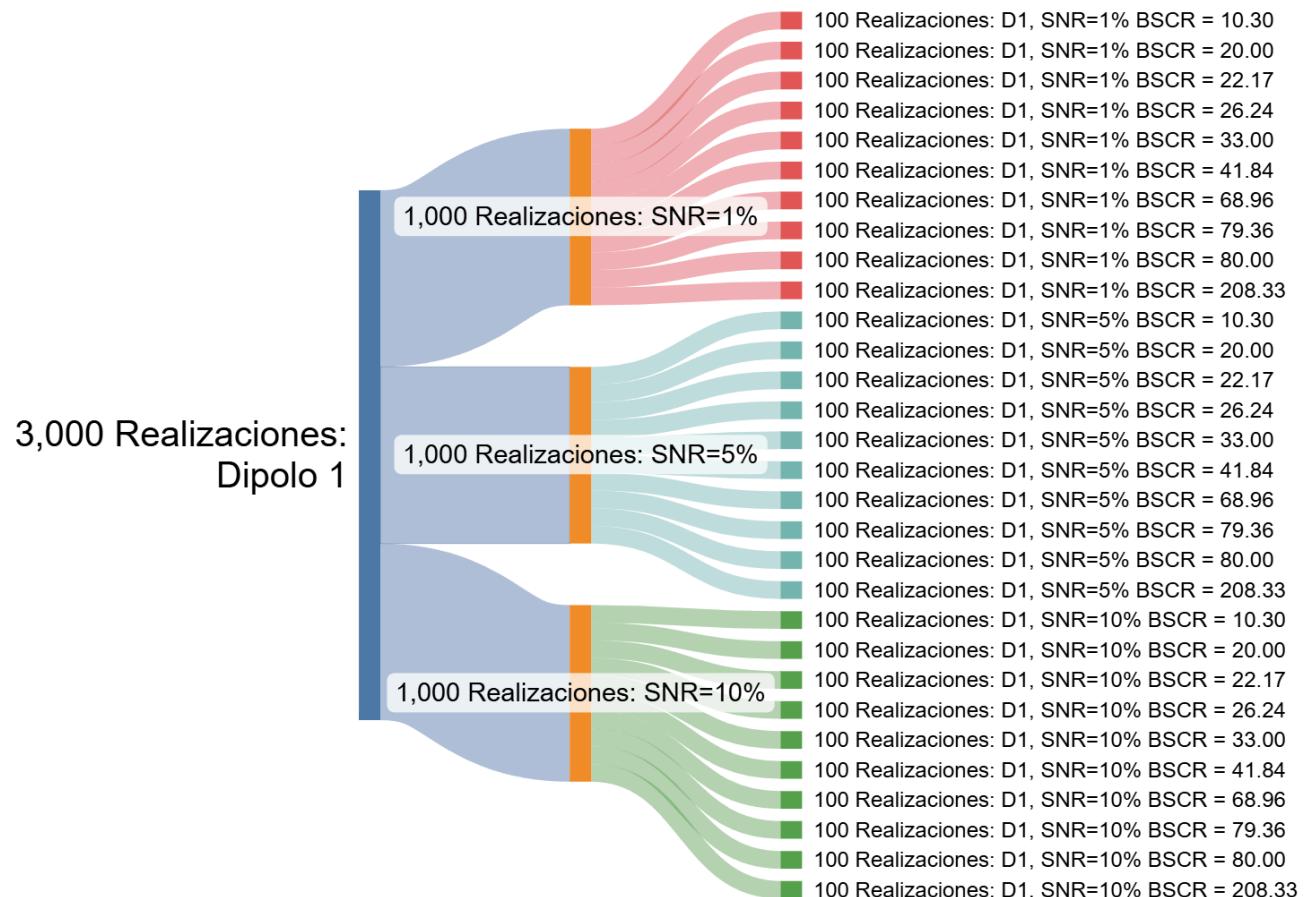


Resultados

Resumen

Solución del Problema Directo

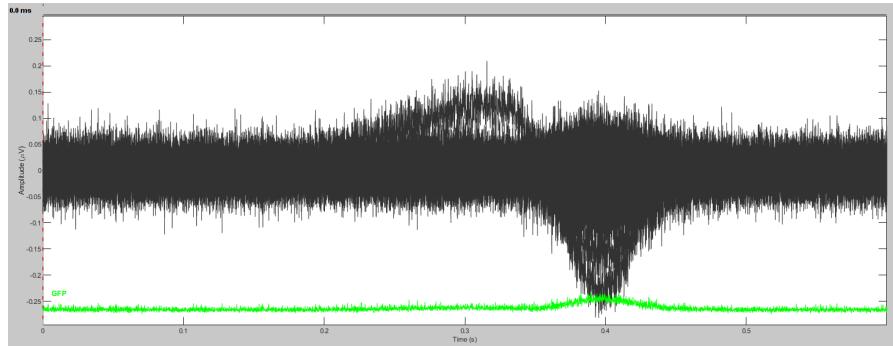
Resultados



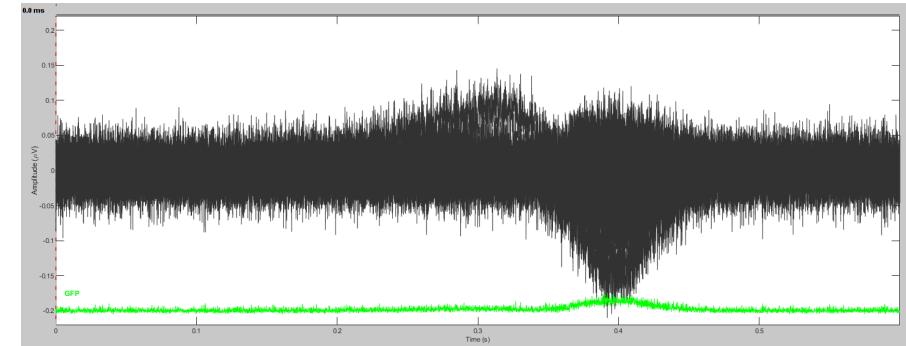
- Diagrama de la distribución de las mediciones de EEG simuladas en el problema directo.
- El resultado final del problema directo es un conjunto de mediciones de EEG simuladas para cada BSCR, SNR, y dipolo cortical.
- Obteniendo un total de 3,000 mediciones de EEG simuladas para cada dipolo cortical, sumando 9,000 en total.

Señales de EEG Simuladas

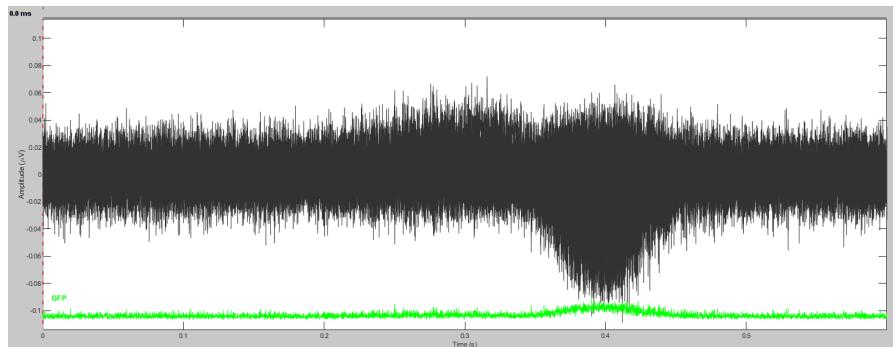
Resultados



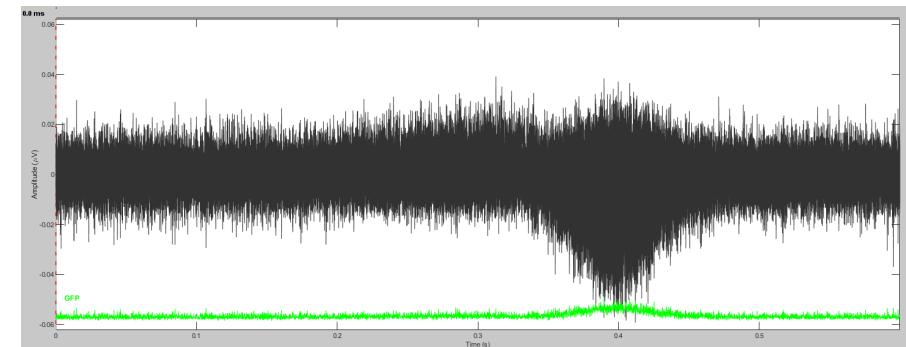
Señales de EEG simuladas con BSCR = 10



Señales de EEG simuladas con BSCR = 20



Señales de EEG simuladas con BSCR = 80



Señales de EEG simuladas con BSCR = 200

Solución del Problema Inverso

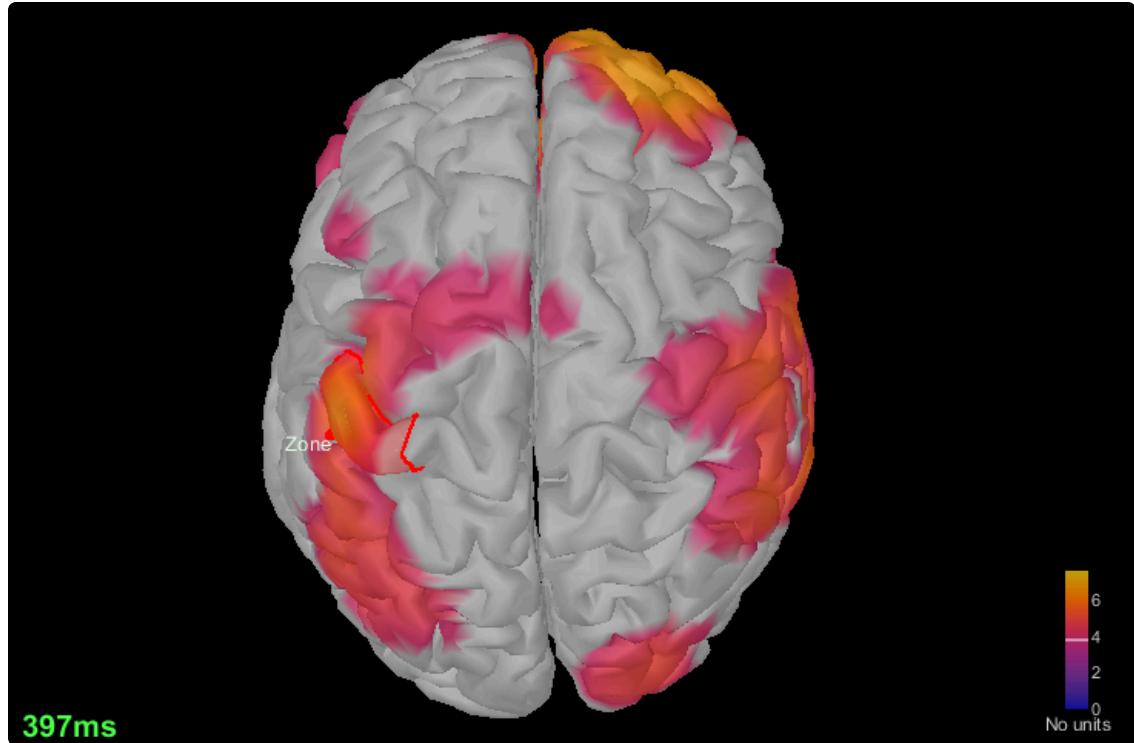
Resultados



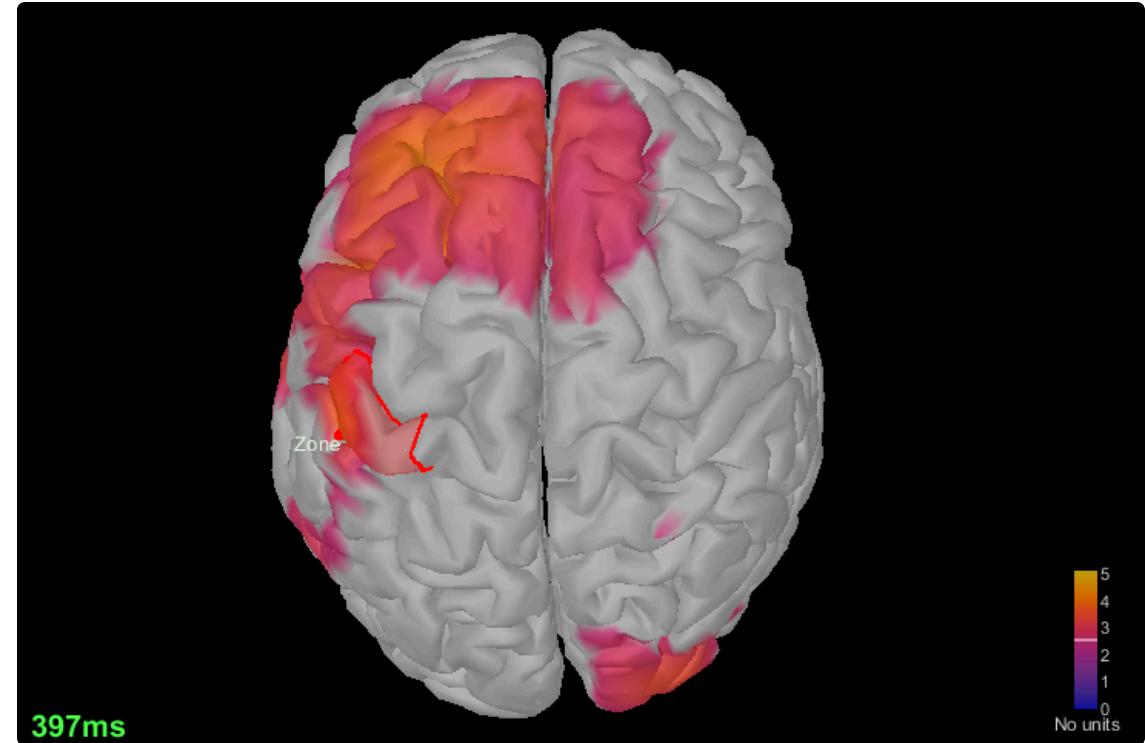
- Diagrama de la distribución de la solución del problema inverso.
- El resultado final del problema inverso es un conjunto de mapas de actividad neuronal para conjuntos de datos simulados con diferentes BSCR y SNR.
- Obteniendo un total de 30,000 mapas de actividad neuronal para cada dipolo cortical, sumando 90,000 en total.

Mapas de Actividad Neuronal

Resultados



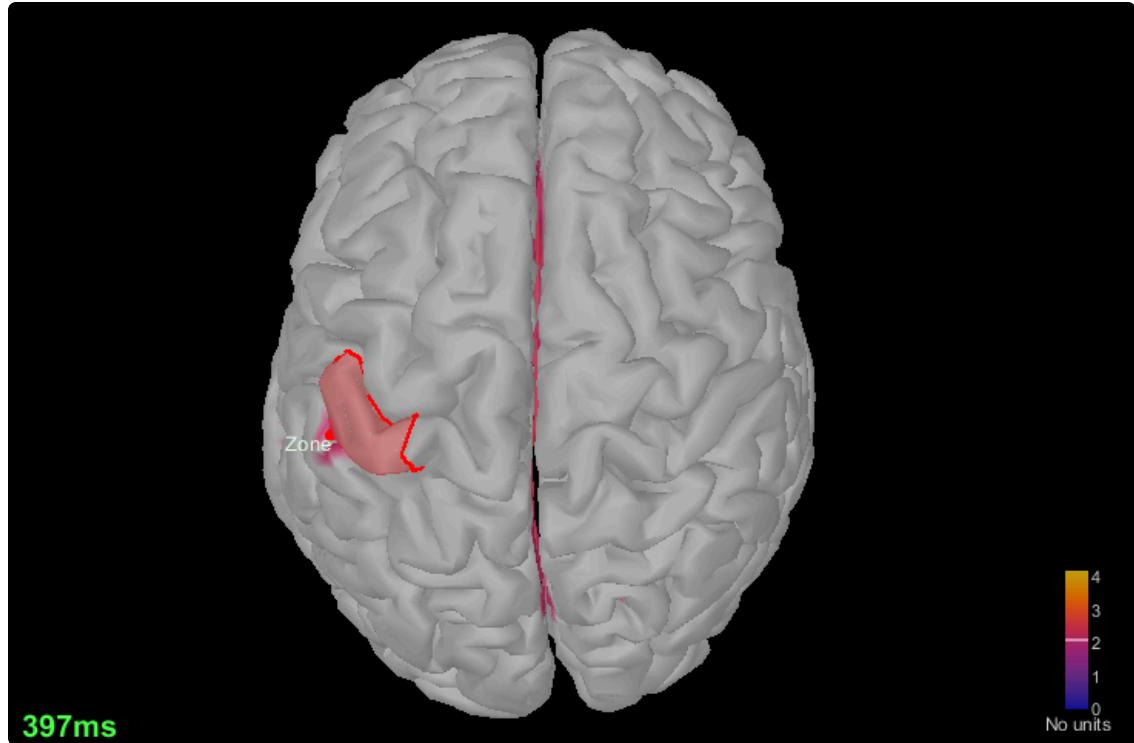
Señales de EEG simuladas con BSCR = 10



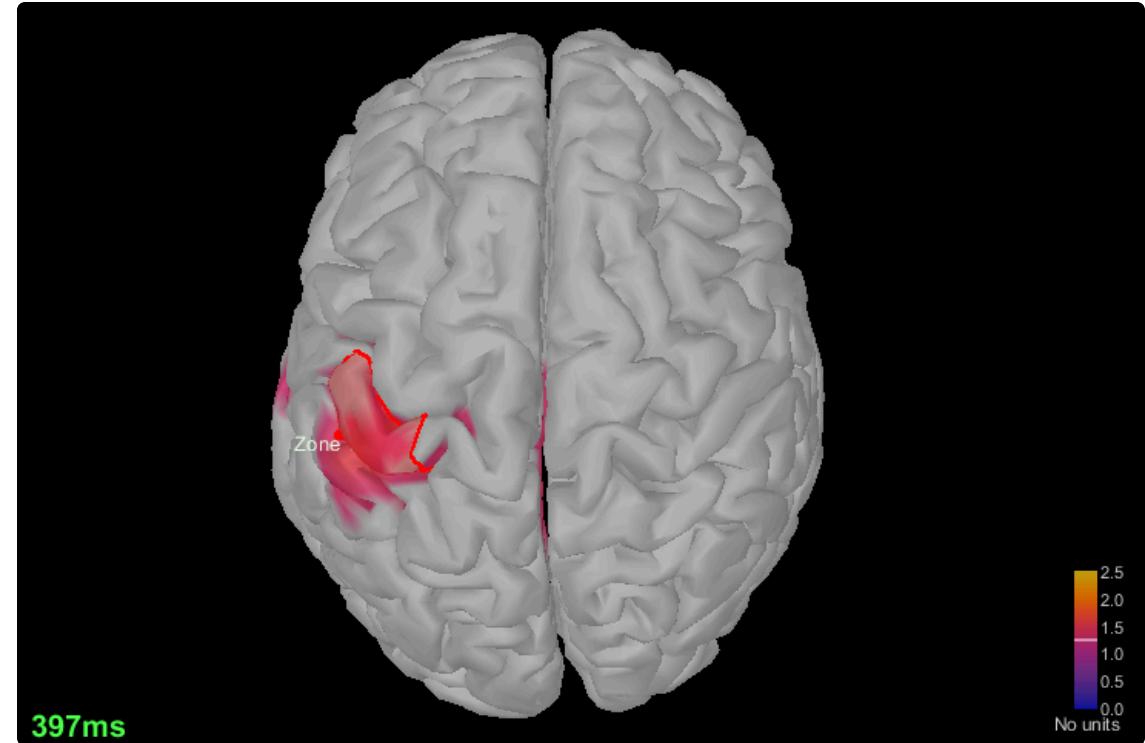
Señales de EEG simuladas con BSCR = 20

Mapas de Actividad Neuronal

Resultados



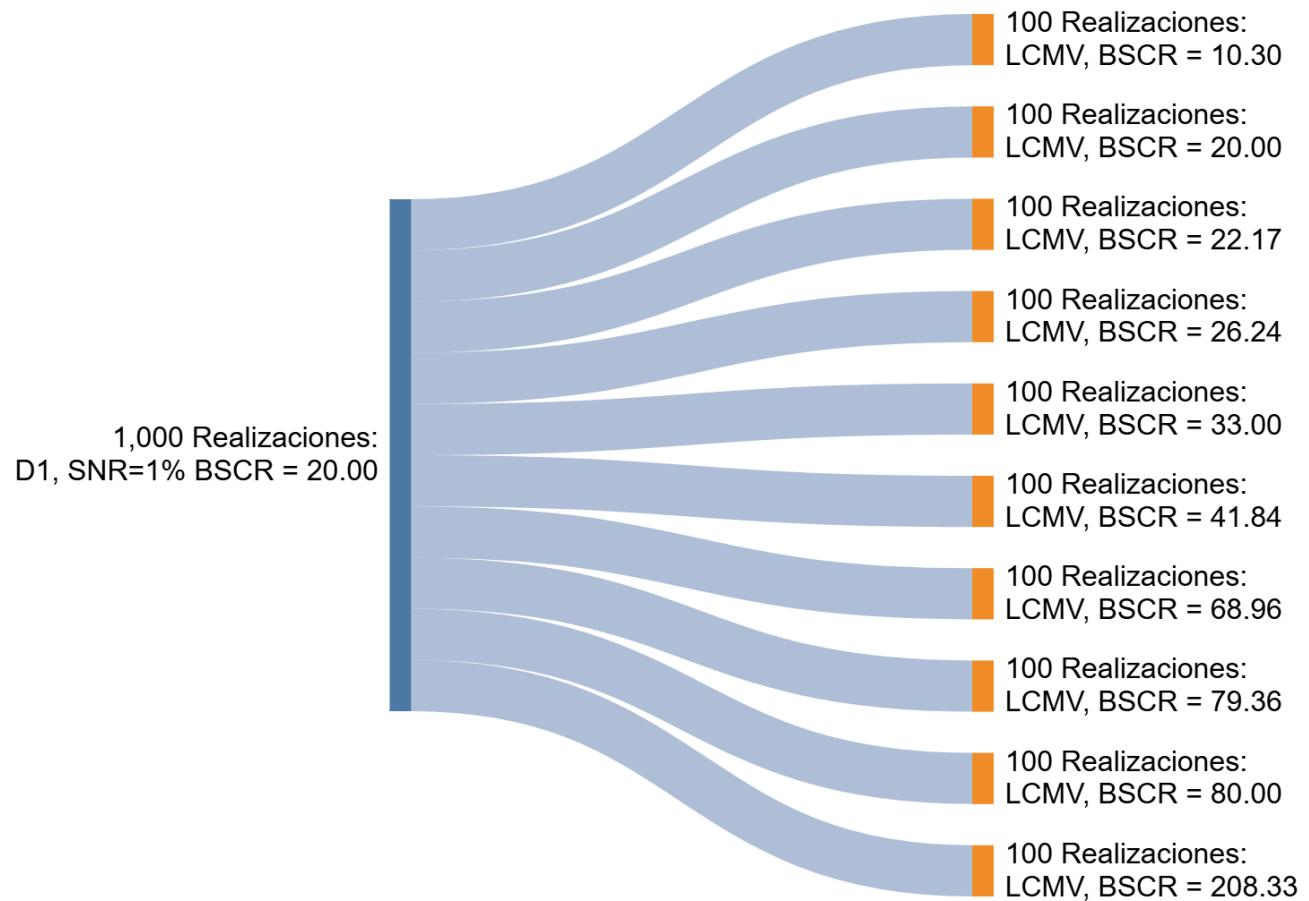
Señales de EEG simuladas con BSCR = 80



Señales de EEG simuladas con BSCR = 200

Error de Localización

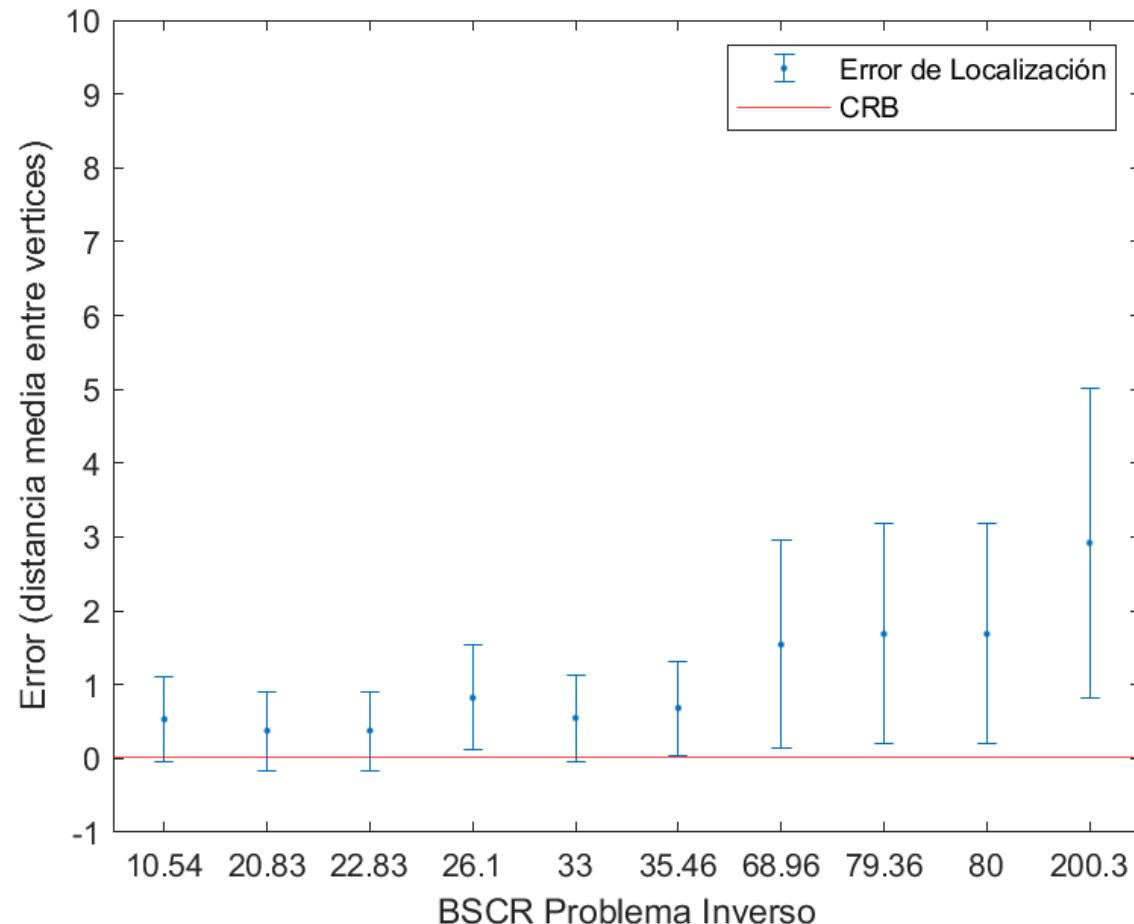
Resultados



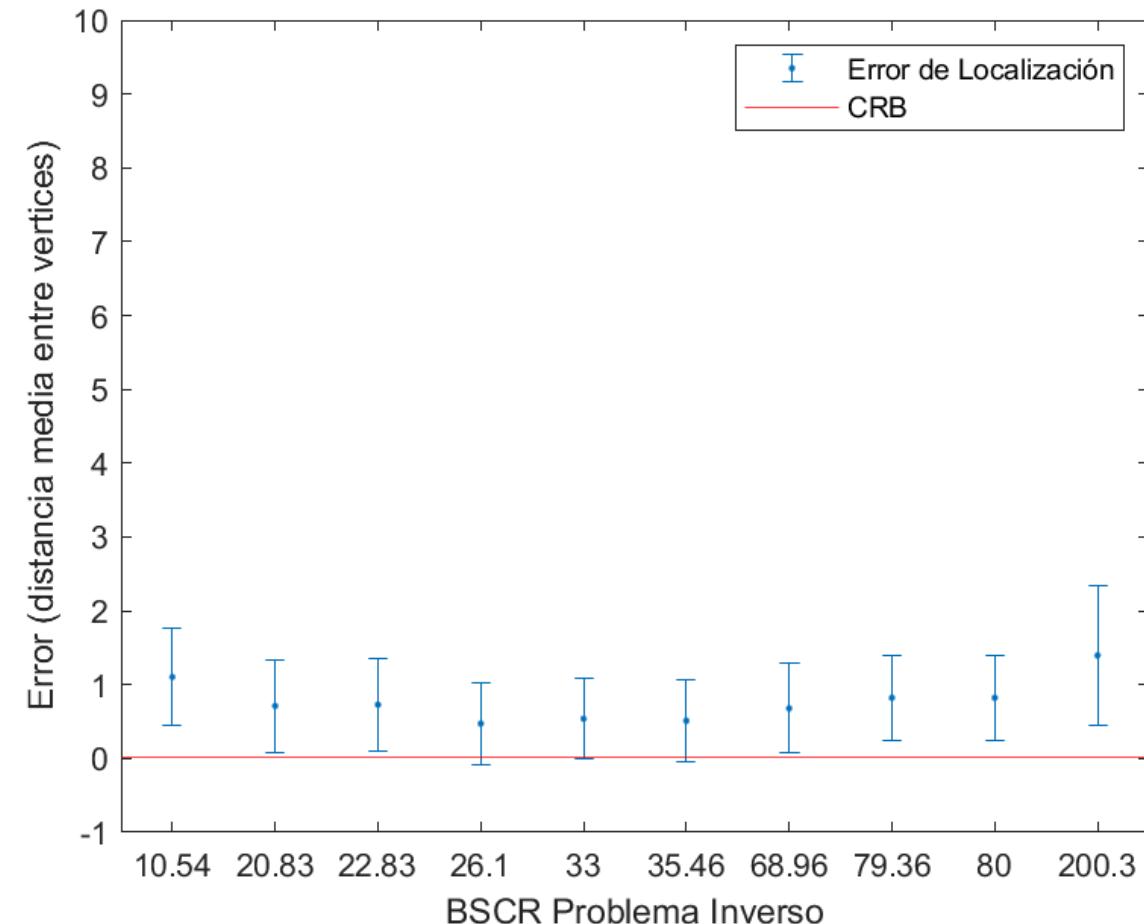
- Diagrama de la distribución del error de localización del dipolo 1, correspondiente a la zona somatosensorial
- Los datos de entrada son las mediciones de EEG simuladas con BSCR = 200 y SNR = 1%
- Cada grupo de resultados corresponde a una solución del problema inverso utilizando diferentes valores de BSCR
- Efectivamente comparando el desempeño de variar la razón de conductividad cerebro-cráneo en la localización de la fuente de actividad neuronal

Error de Localización

Resultados



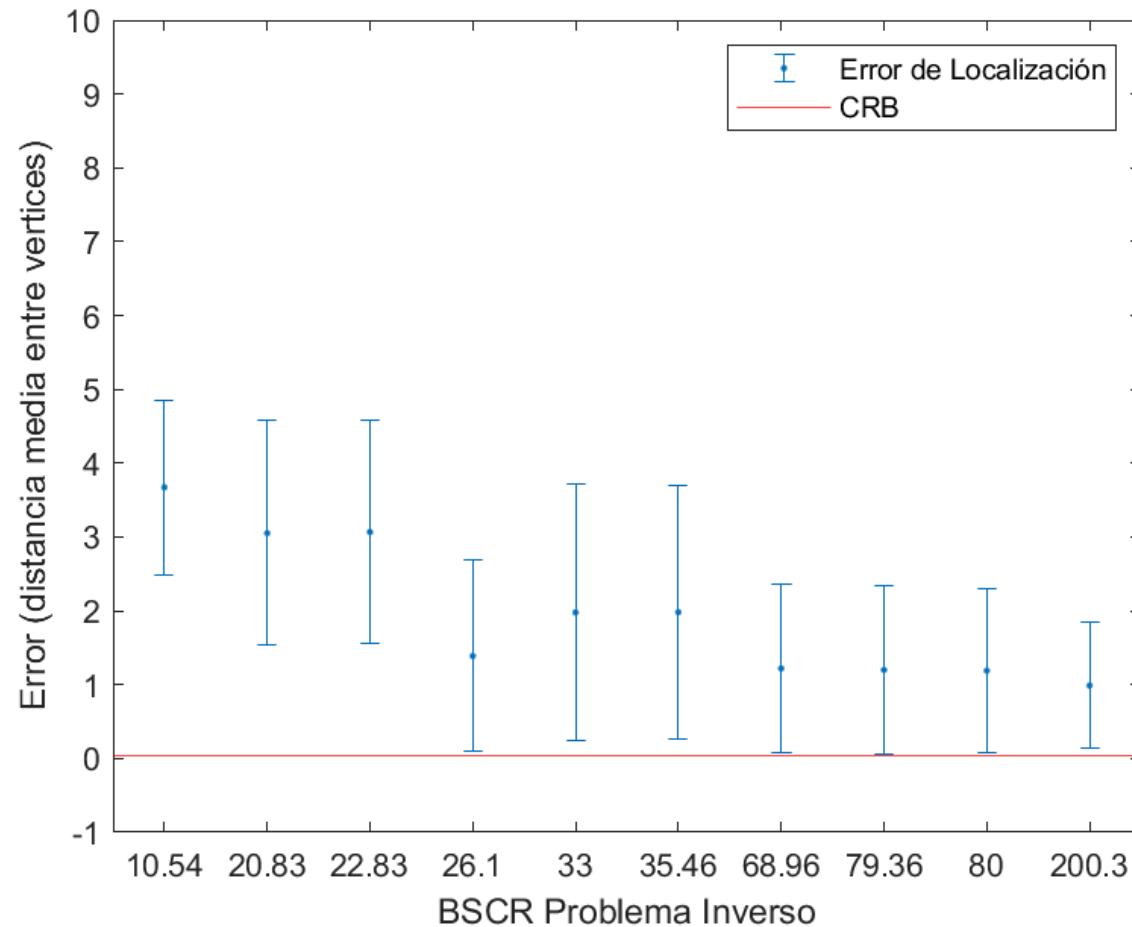
Error en la localización de la fuente de actividad neuronal
BSCR = 10



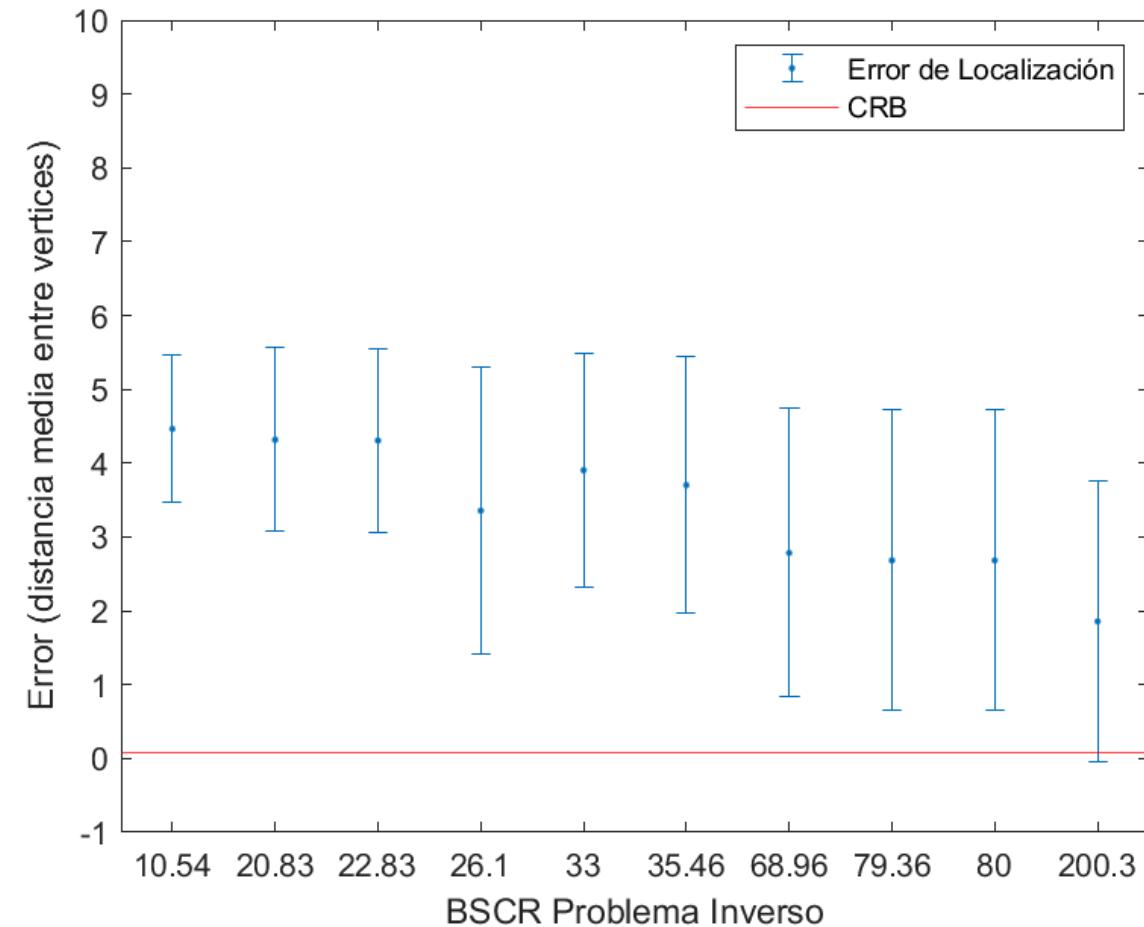
Error en la localización de la fuente de actividad neuronal
BSCR = 20

Error de Localización

Resultados



Error en la localización de la fuente de actividad neuronal
BSCR = 80

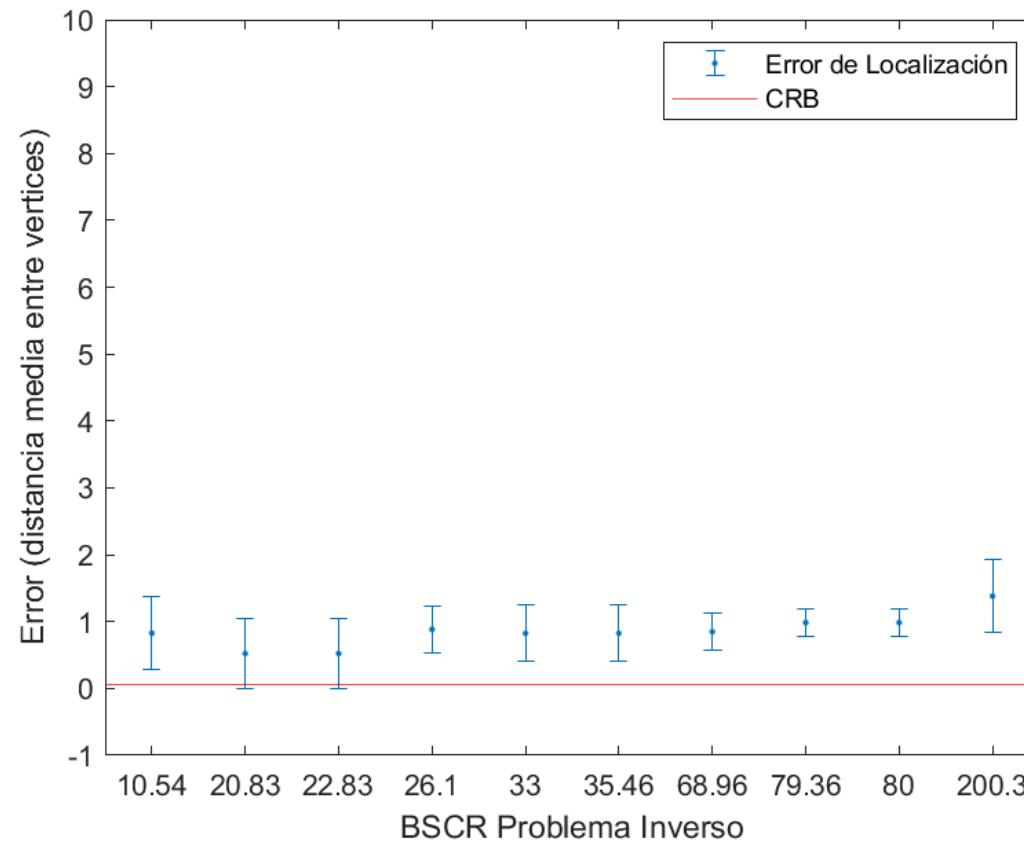


Error en la localización de la fuente de actividad neuronal
BSCR = 200

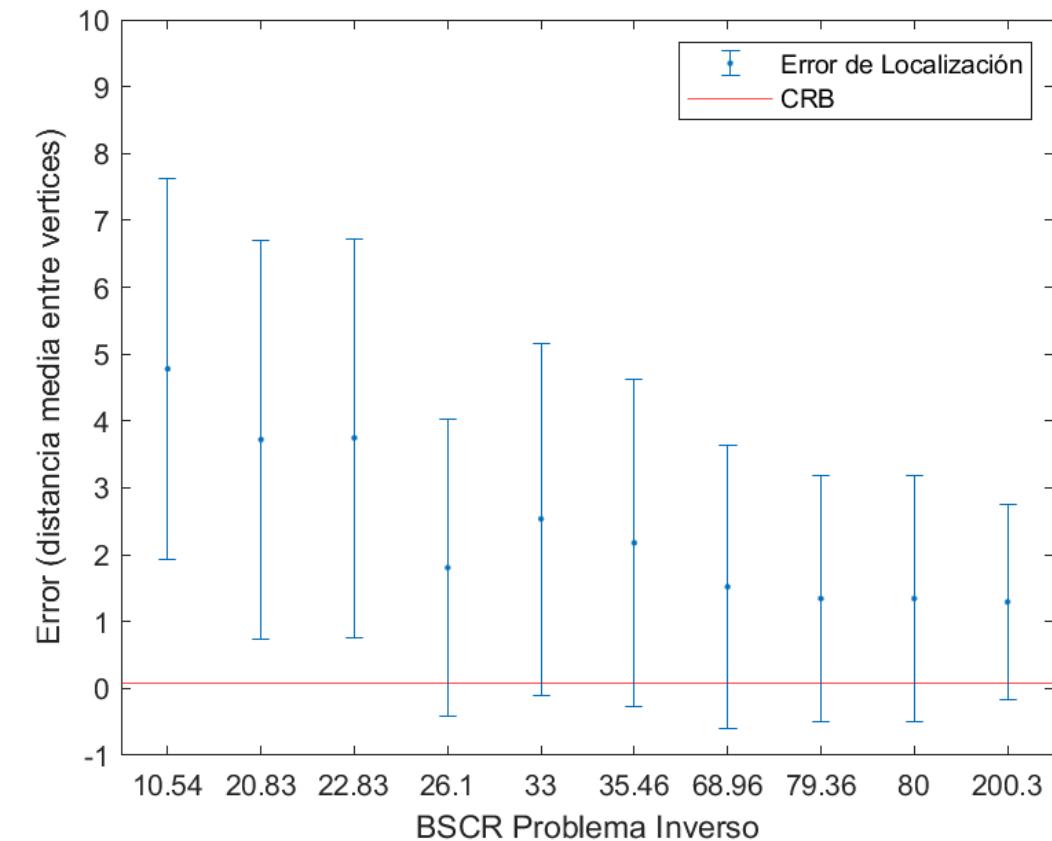
Evaluación del Error Incurrido

Resultados

Error incurrido en la localización de la fuente de actividad neuronal en con el dipolo en la zona visual y los tres niveles de SNR



Error en la localización de la fuente de actividad neuronal con
BSCR = 20 y SNR = 1%.

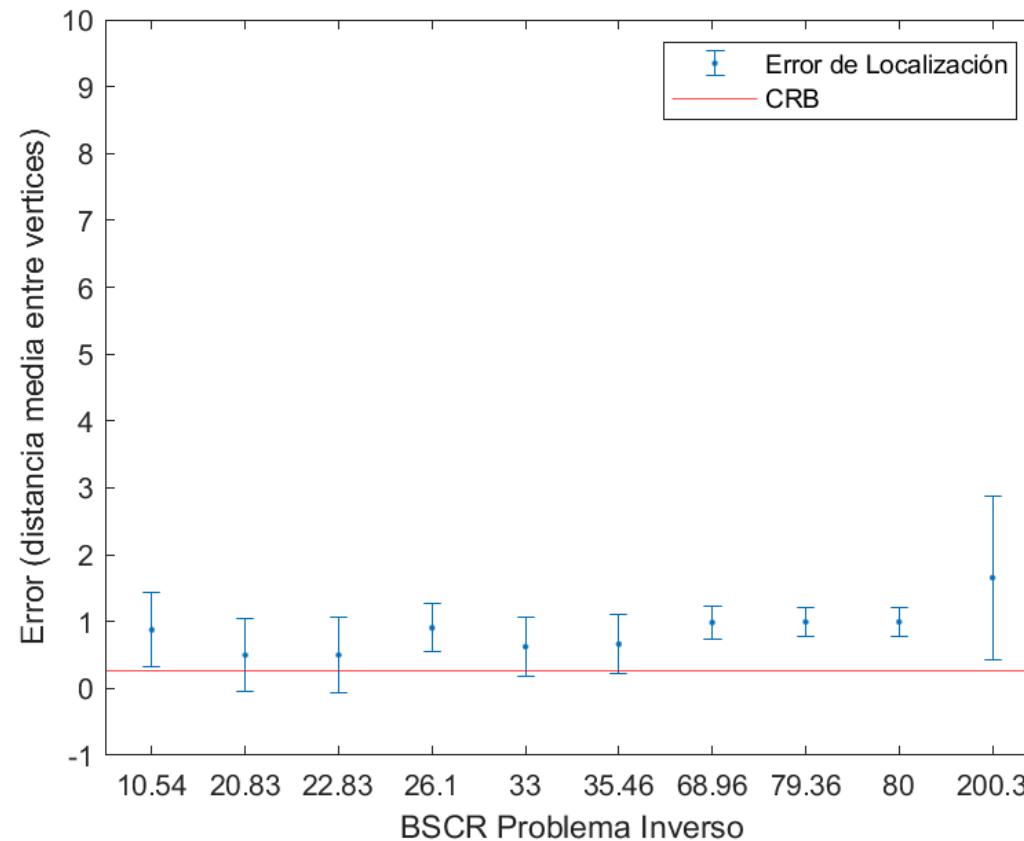


Error en la localización de la fuente de actividad neuronal con
BSCR = 80 y SNR = 1%.

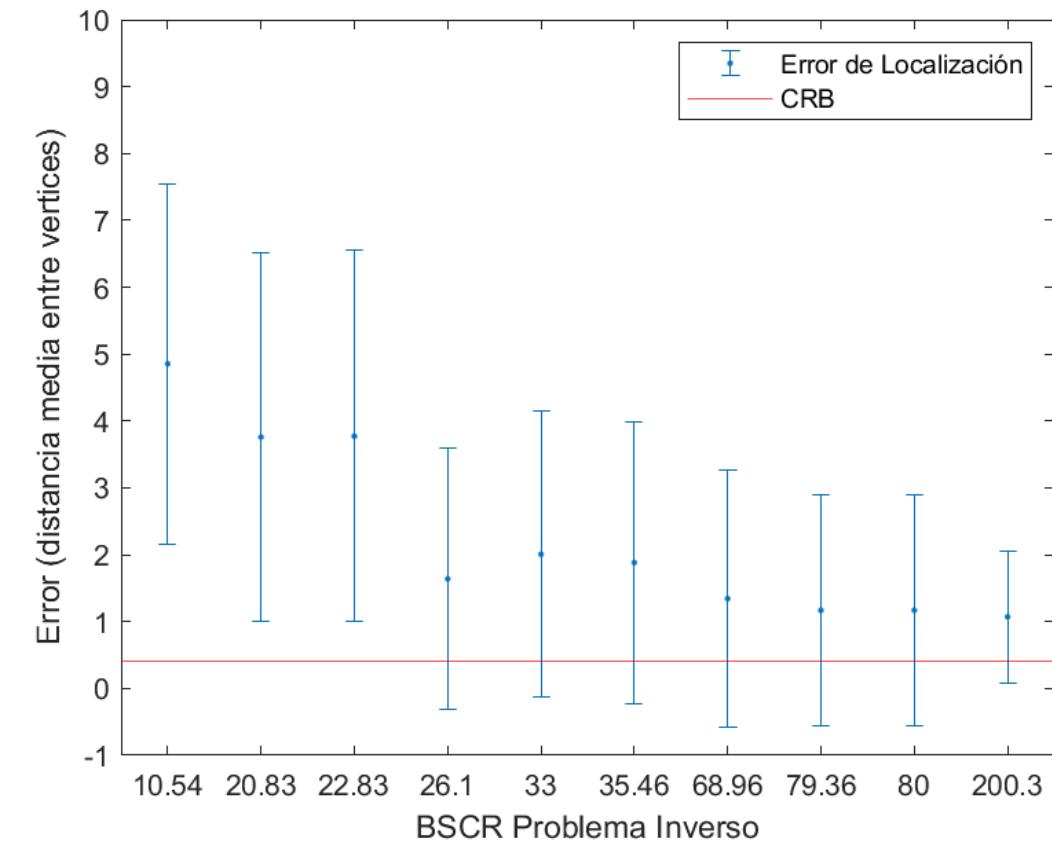
Evaluación del Error Incurrido

Resultados

Error incurrido en la localización de la fuente de actividad neuronal en con el dipolo en la zona visual y los tres niveles de SNR



Error en la localización de la fuente de actividad neuronal con
BSCR = 20 y SNR = 5%.

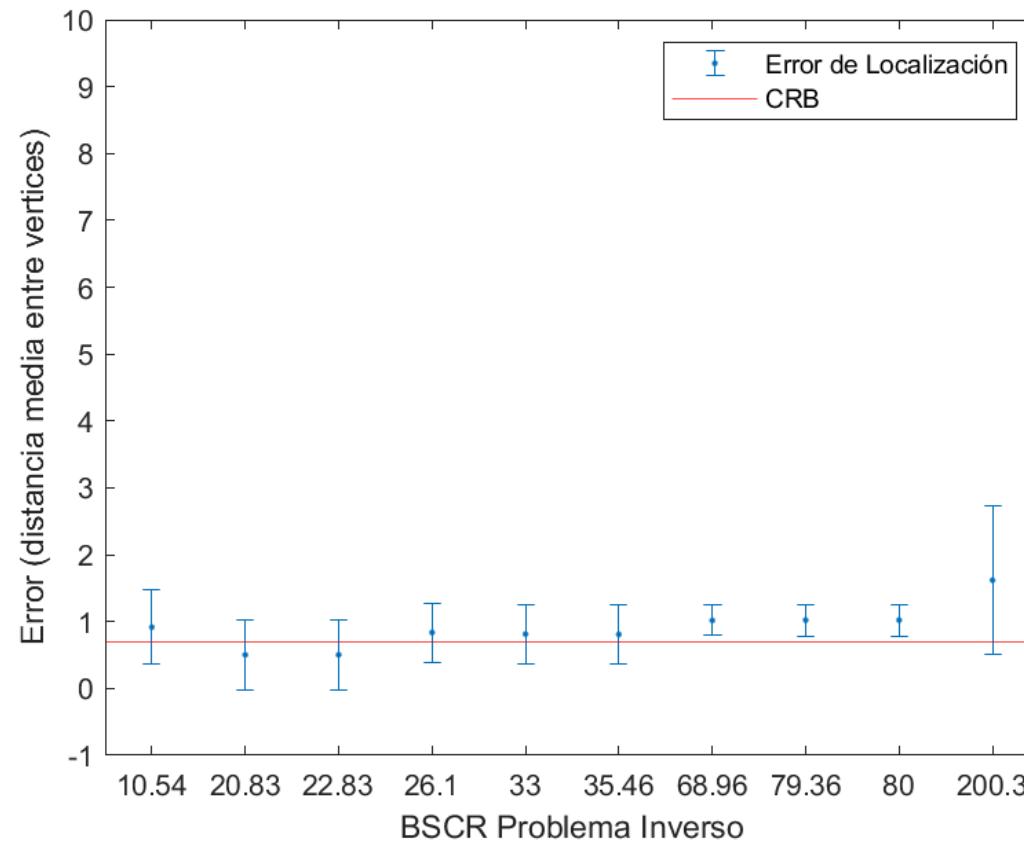


Error en la localización de la fuente de actividad neuronal con
BSCR = 80 y SNR = 5%.

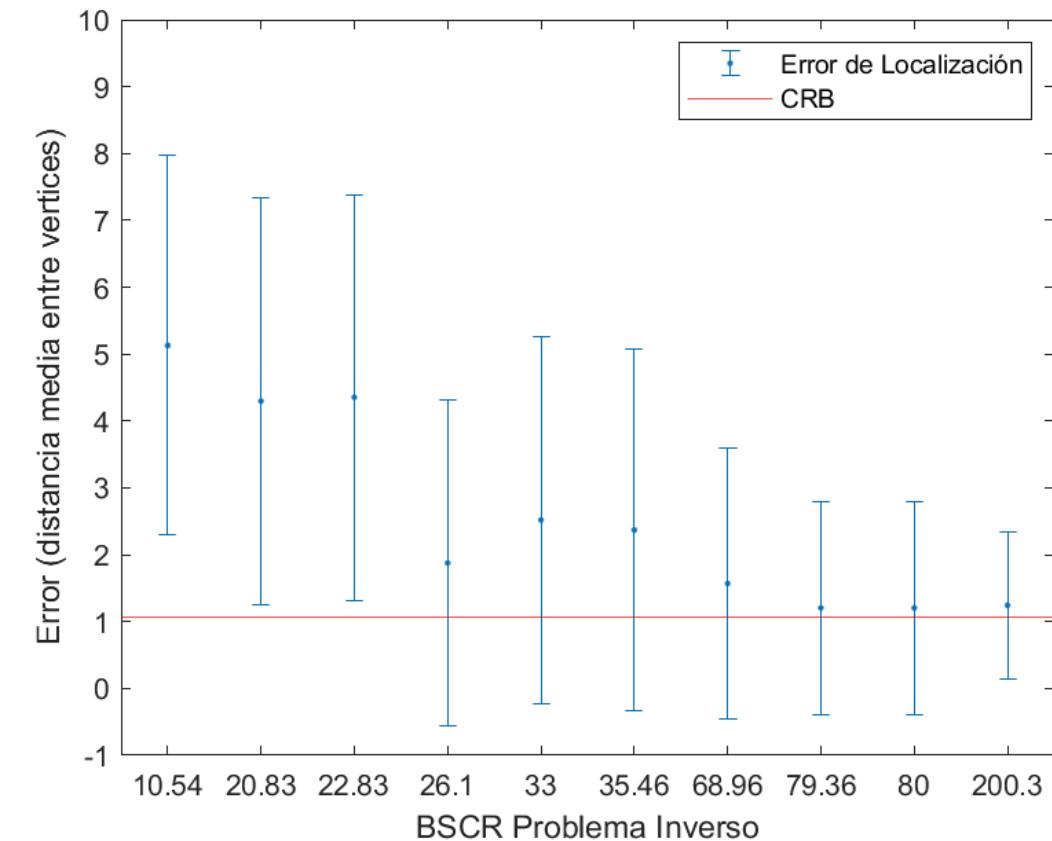
Evaluación del Error Incurrido

Resultados

Error incurrido en la localización de la fuente de actividad neuronal en con el dipolo en la zona visual y los tres niveles de SNR



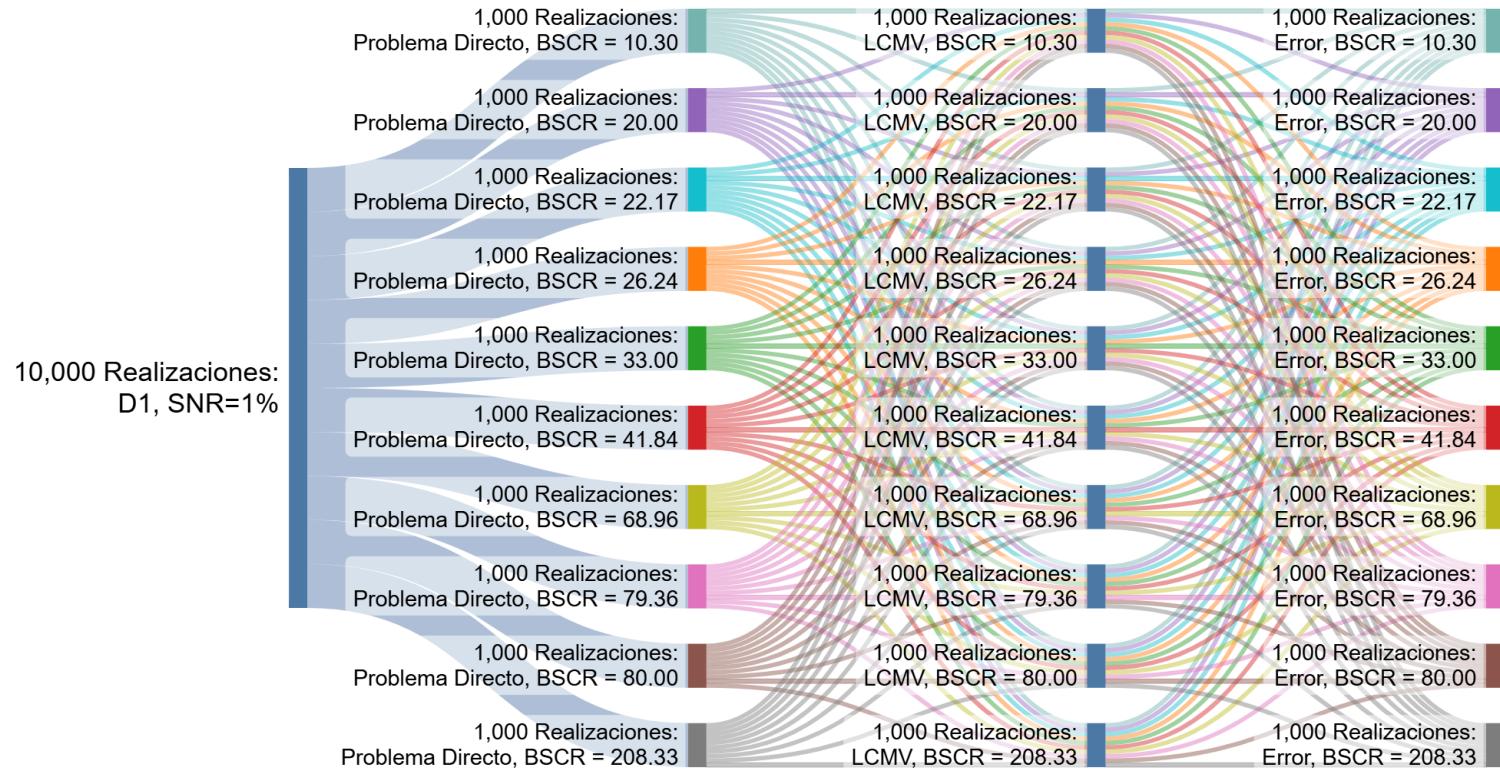
Error en la localización de la fuente de actividad neuronal con
BSCR = 20 y SNR = 10%.



Error en la localización de la fuente de actividad neuronal con
BSCR = 80 y SNR = 10%.

Evaluación del Error Incurrido General

Resultados



- Diagrama de la distribución del error de localización sin considerar el valor de BSCR utilizado en la solución del problema inverso.
- El fin de este análisis es evaluar el error general incurrido en la solución del problema inverso por grupo de datos simulados con el mismo BSCR en el problema directo.
- Esto nos permite cuantificar el error de localización cuando el BSCR varía en la solución del problema directo.

Clicks Animations

You can add `v-click` to elements to add a click animation.

This shows up when you click the slide:

```
<div v-click>This shows up when you click the slide.</div>
```

The `v-mark` directive also allows you to add inline marks, powered by Rough Notation:

```
<span v-mark.underline.orange>inline markers</span>
```

[Learn More](#)

LaTeX

LaTeX is supported out-of-box. Powered by [KaTeX](#).

Inline $\sqrt{3x - 1} + (1 + x)^2$

Block

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

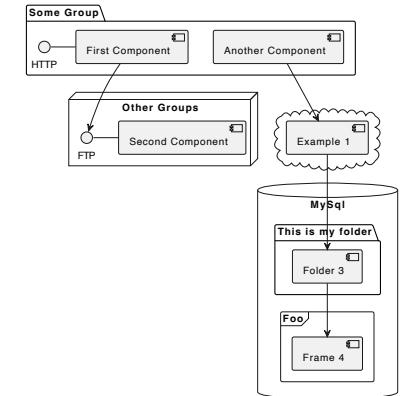
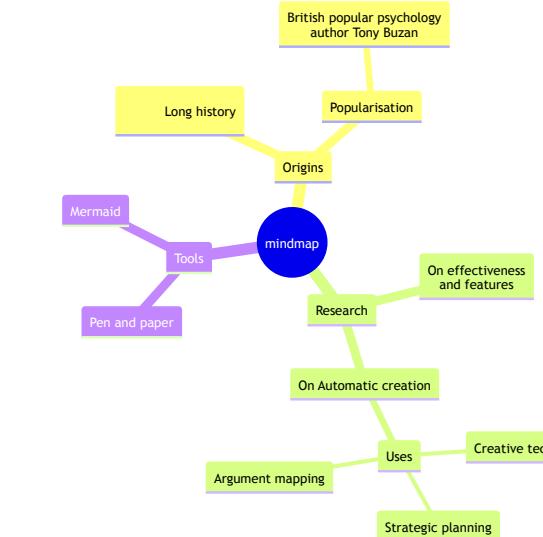
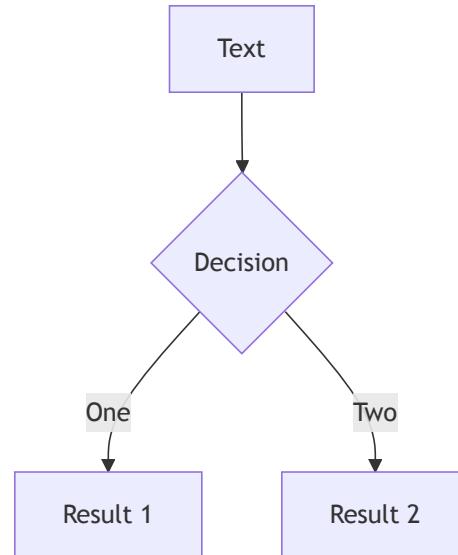
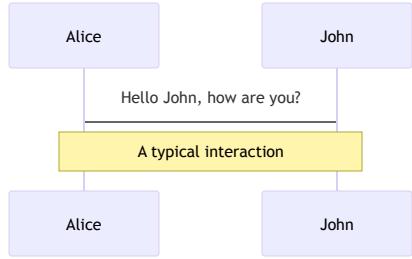
$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

[Learn more](#)

Diagrams

You can create diagrams / graphs from textual descriptions, directly in your Markdown.



Learn More: [Mermaid Diagrams](#) and [PlantUML Diagrams](#)

Learn More

[Documentation](#) · [GitHub](#) · [Showcases](#)

Powered by  [Slidev](#)