



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



FACULTAT DE BELLES
ARTS DE SANT CARLES

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Bellas Artes

Puentes de comunicación no verbal: Un relato poético
experimental audiovisual controlado por señales EEG.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Bellas Artes

AUTOR/A: Lin, Xin

Tutor/a: Mañas Carbonell, Moisés

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

En este trabajo de fin de grado plantea la ideación, preproducción y prototipado de un dispositivo creativo, artístico e interactivo para facilitar la interacción audiovisual entre personas con dificultades en la comunicación verbal. Este dispositivo se comunicará con los usuarios a través de sensores Brain Interface EEG (Electroencefalografía), con la finalidad de construir un relato poético experimental audiovisual.

Palabras clave: Brain Interface; Arte Interactivo; Accesibilidad; Relato experimental audiovisual; HCI

En aquest treball de fi de grau es planteja la ideació, preproducció i prototipatge d'un dispositiu creatiu, artístic i interactiu per facilitar la interacció audiovisual entre persones amb dificultats en la comunicació verbal. Aquest dispositiu es comunicarà amb els usuaris a través de sensors Brain Interface EEG (Electroencefalografia), amb la finalitat de construir un relat poètic experimental audiovisual.

Paraules clau: Brain Interface; Art Interactiu; Accessibilitat; Relat experimental audiovisual; HCI (Interacció Humà-Computadora).

ABSTRACT AND KEYWORDS

This undergraduate thesis presents the ideation, pre-production, and prototyping of a creative, artistic, and interactive device designed to facilitate audiovisual interaction for individuals facing challenges in verbal communication. The device communicates with users through Brain Interface EEG (Electroencephalography) sensors, aiming to construct a poetic experimental audiovisual narrative.

Keywords: Brain Interface; Interactive Art; Accessibility; Experimental Audiovisual Narrative; HCI (Human-Computer Interaction).

AGRADECIMIENTOS

En más de diez años de contacto con el arte, he vivido muchas experiencias, conocido a muchas personas y superado numerosas dificultades, llegando a donde estoy ahora. Esta etapa está por concluir y me preparo para la siguiente fase. He enfrentado adversidades, pero también he recibido mucho apoyo: agradezco mi perseverancia, el apoyo de mis padres y la ayuda de todos los que me han acompañado en el camino, permitiéndome llegar hasta aquí.

Al escribir este agradecimiento, recuerdo mis primeros acercamientos a la pintura cuando tenía cinco o seis años, momento en el que quedé profundamente atraído por su magia. Agradezco a mi madre por su apoyo, que me permitió estudiar pintura desde pequeña y adentrarme en el mundo del arte. Más tarde, durante mis estudios en España, enfrenté muchas dificultades y desafíos, pero estoy muy agradecido a los profesores que me ayudaron en el camino. Especialmente agradezco a Martín, Inma y Pedro de mi época de la educación secundaria, quienes organizaron mi primera exposición individual, haciéndome sentir reconocido en un entorno desconocido.

Especialmente me agradezco a mí mismo por haber superado cada noche desde la educación secundaria, por mi determinación, perseverancia y constancia en el arte, superando obstáculos y llegando hasta donde estoy hoy.

Estoy muy agradecido a mi tutor, Moisés Mañas Carbonell, por su disposición a apoyarme y confiar en mi elección de tema para la investigación y creación, dándome la oportunidad de realizar trabajos relacionados con arte y tecnología antes de graduarme, lo que amplió las posibilidades para mi futura creación artística. Agradezco su ayuda con mi TFG, que me permitió perfeccionar mi proyecto final de grado.

Agradezco también a la UPV y al gobierno español por ofrecerme la oportunidad de participar en intercambios académicos internacionales, permitiéndome experimentar diferentes sistemas educativos artísticos. Agradezco a los profesores de la *Central Academy of Fine Arts (CAFA)* por brindarme oportunidades de aprendizaje y compartir sus conocimientos artísticos. Especialmente, agradezco al profesor Yuan Zhang por ayudarme a resolver problemas con los materiales de vidrio y ampliar mi pensamiento creativo. Agradezco a mis compañeros por su ayuda en la instalación de mi obra, permitiéndome realizar óptimamente el proyecto de TFG.

Agradezco a mi familia y amigos por su compañía, que ha dado un poco de color a este camino solitario.

Estas pocas palabras no pueden expresar por completo mis profundos sentimientos y experiencias. Solo puedo ofrecer esta obra como el último regalo para mí mismo en esta etapa de grado, como un resumen de mis más de diez años de experiencia artística, abriendo el siguiente capítulo en mi camino artístico.

Xin Lin

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	7
3. MARCO TEÓRICO.....	8
3.1 ANÁLISIS LINGÜÍSTICO	8
3.1.1 <i>Análisis Neurolingüística</i>	9
3.1.2 <i>Análisis Psicolingüística</i>	11
3.1.3 <i>Trastornos del habla y Afasias</i>	11
3.1.4 <i>Investigación de Métodos de Tratamiento para la Afasia</i>	12
3.2 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA	14
3.2.1 <i>Análisis de Brain interfaz EEG</i>	14
3.2.2 <i>Tipos y características de las ondas cerebrales</i>	15
3.2.3 <i>Análisis de dispositivos de interacción existentes</i>	16
4. MARCO REFERENCIAL	18
CASOS DE ESTUDIO	18
4.1 RAFAEL LOZANO-HEMMER	18
4.2 MAURICE BENAYOUN	20
4.3 REFIK ANADOL: <i>MELTING MEMORIES</i>	22
4.4 ANGIE COOMBES.....	23
4.5 OUCHHH: <i>SAY_SUPERSTRINGS</i>	24
4.6 HA YOON	25
5. PRODUCCIÓN ARTÍSTICA	26
5.1 PREPRODUCCIÓN	26
5.1.1 <i>Plan de trabajo</i>	26
5.1.2 <i>Concepción de la idea</i>	27
5.1.3 <i>Análisis de los materiales y técnicas</i>	28
5.1.4 <i>Plan de creación final</i>	32
5.2 PRODUCCIÓN	36
5.2.1 <i>La fabricación de la instalación</i>	36
5.2.2 <i>Montaje</i>	38
5.2.3 <i>Búsqueda de posibles colaboraciones</i>	38
5.2.4 <i>Resultado final</i>	39
5.3. POSTPRODUCCIÓN.....	40

5.3.1 Prueba de rendimiento y usuarios.....	40
6. CONCLUSIONES	42
7. FUENTES CONSULTADAS.....	44
8. ÍNDICE DE IMÁGENES.....	48
9. ANEXOS	51

1. INTRODUCCIÓN

El apartado del marco teórico se divide en tres ámbitos principales. En primer lugar, se aborda de manera introductoria el análisis lingüístico, la psicología, la neurociencia, y los trastornos del habla y afasias, así como los métodos de tratamiento para la afasia. El segundo ámbito se enfoca en disciplinas científicas como la ingeniería electrónica, los sensores de interfaz cerebral EEG y las ondas cerebrales, incluyendo el análisis de dispositivos de interacción existentes.

En el marco referencial, se presentan una selección de casos y referentes artísticos que me inspiran en el proceso de producción.

La producción artística se divide en tres etapas: preproducción, producción y postproducción. Durante la preproducción, se elabora un plan de trabajo, se analizan los materiales y técnicas, se realizan pruebas para desarrollar la investigación de la obra, y se termina con el plan de la creación final de la obra. En la etapa de producción, se explica el proceso de producción de la pieza. En la etapa de postproducción, se detalla el resultado final de la obra interactiva y se llevan a cabo pruebas de evaluación por parte de los usuarios.

He hecho el trabajo desde China a distancia gracias a una beca Promoe UPV en la *Central Academy of Fine Arts* (CAFA). Como es mi primera incursión en el ámbito del arte y la tecnología, el proceso de autoaprendizaje ha sido muy complejo. Al mismo tiempo, durante la creación de esta obra, también he tenido que cumplir con las exigentes tareas académicas de CAFA. Esto ha representado un gran reto en términos de gestión del tiempo, energía y desgaste físico. Además, las restricciones del internet en China han dificultado la búsqueda de información y el uso de software, aunque afortunadamente, estos problemas se resolvieron finalmente.

A pesar de saber que tendría que enfrentarme a estas complejidades, opté por un tema que resulta complicado para mí debido a mi experiencia de cuatro años en el grado. A lo largo de mis estudios de grado, he llegado a comprender el arte de manera más profunda y he perfeccionado mi forma de crear. He aprendido que el arte debe ser más inclusivo y adaptarse a las características que surgen con el avance del tiempo. Esto me ha llevado a intentar diferentes medios interdisciplinarios, buscando más posibilidades en el lenguaje artístico y no limitándome a una sola forma de creación, tratando de innovar en mi obra artística.

Para mí, este es un desafío, pero también una oportunidad para aprender nuevos medios y tecnologías. Esta obra será el primer regalo que me haga a mí mismo al adentrarme en el campo del arte y la tecnología.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En este trabajo como **objetivo principal** se propone la ideación, el diseño y la prototipación de una instalación artística interactiva cuyo principal objetivo es fomentar la expresión y la interacción de personas con trastornos de la comunicación. Esto permitirá a los individuos expresar sus pensamientos y comunicarse con el mundo exterior a través de formas artísticas. Como **objetivos específicos** se propone:

- Analizar de manera fundamental e introductoria teorías sobre trastornos del habla, afasia, neurolingüística y psicolingüística para comprender los principios básicos de la expresión lingüística, el pensamiento humano.
- Examinar sensores EEG (electroencefalografía) y el análisis de datos de ondas cerebrales para entender cómo se puede utilizar esta tecnología en la creación de la obra.
- Detectar y analizar algunas obras y artistas relevantes en el ámbito de los medios tecnológicos, la expresión y la interacción artística para inspirar la creatividad.

La metodología utilizada ha sido deductiva, partiendo de conocimientos aceptados y aplicarlos en unas condiciones determinadas específicas. También se ha intentado aplicar una metodología descriptiva explicando las partes de nuestros objetivos, así como también se ha realizado una metodología experimental en la parte práctica del trabajo aportando posibilidades y pruebas con posibles resultados nada definidos en un primer momento. Se han utilizado fuentes de reconocido prestigio y criterio como Google Academic, CNKI, Dialnet, Nature, SCI para la consulta de los conceptos utilizados en el trabajo.

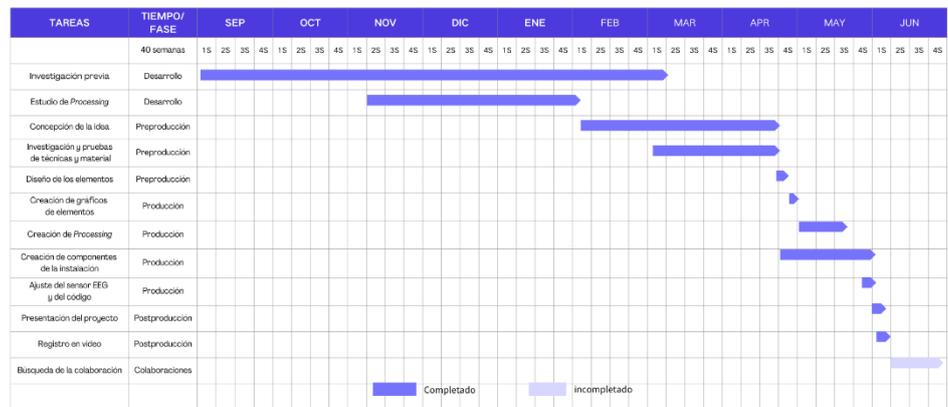
A nivel estructural metodológico y desde un punto de vista temporal y consecutivo en el trabajo, para alcanzar la visión de esta obra, ha sido necesario analizar en profundidad informes de investigación relevantes fuera del ámbito artístico, que servirán como base del contexto de investigación de esta obra.

Primero, como apuntan los objetivos específicos, se analizaron algunas teorías sobre trastornos del habla, afasia, neurolingüística y psicolingüística para comprender los principios básicos de la expresión lingüística, el pensamiento humano. En segundo lugar, se examinarán sensores EEG (electroencefalografía) y el análisis de datos de ondas cerebrales para entender cómo se puede utilizar esta tecnología en la creación de la obra. De igual forma, se analizarán algunas obras y artistas relevantes en el ámbito de los medios tecnológicos, la expresión y la interacción artística para inspirar la creatividad.

Posteriormente, se abordará la parte central de la presentación de la obra interactiva, que incluye los elementos visuales y el diseño de audio. Los espectadores jugarán un papel principal en esta obra; el dispositivo se conectará con los individuos a través de sensores EEG (electroencefalografía), leerá los datos de las ondas cerebrales y, mediante técnicas artísticas y tecnológicas,

generará en tiempo real un video experimental interactivo y poético. Para ello, se utilizará el lenguaje de programación de código abierto *Processing* para generar el código necesario para los elementos visuales y de audio, incluyendo símbolos de imágenes y abstractos que representen diferentes elementos, así como color, sonido y tono. A través de este análisis e investigación en diferentes fases, se construirá una instalación de video interactiva y experimental en tiempo real, poética e intimista, permitiendo que los espectadores se expresen a través de su propio cerebro y creen obras de arte generativas y únicas en cada momento.

Fig. 1 Diagrama de Gantt



3. MARCO TEÓRICO

En esta sección, profundizaré en las teorías necesarias para la obra, dividiéndolas en dos partes: análisis lingüístico y análisis tecnológico. El análisis de obras de arte y medios tecnológicos se encuentra en el apartado del marco referencial.

El análisis lingüístico abordará la afasia, los trastornos del habla, la psicolingüística, la neurolingüística, y los principios del pensamiento humano, la percepción y la expresión lingüística.

El análisis tecnológico se centrará en el análisis de Brain interfaz EEG, los tipos de ondas cerebrales y sus funciones, así como en productos relacionados con sensores cerebrales.

En este apartado utilicé Google Académico, CNKI, Dialnet, SCI, Nature y otras plataformas para buscar informes de investigación relevantes, empleando un enfoque integral de descripción y análisis para analizar los datos obtenidos.

3.1 ANÁLISIS LINGÜÍSTICO

El famoso lingüista estadounidense Noam Chomsky indicó en su obra “Lenguaje y mente” que “el lenguaje es un reflejo de la mente humana y una forma de expresar la cognición y el pensamiento”.

La lingüística estudia el lenguaje humano y su comportamiento, abarcando áreas como los tipos de lenguaje, el significado y el contexto. Tiene ramas como

la morfología y la sintaxis (estructura), la semántica y la pragmática (significado), y la fonética y la fonología (sonido). Además, se relaciona con la neurología, la psicología, la sociología, la antropología, la informática y otras ciencias, dando lugar a disciplinas como la neurolingüística, la psicolingüística y la sociolingüística.

En este trabajo, analizaré el lenguaje y el cerebro, enfocándome en la neurolingüística y la psicolingüística, e incluiré estudios sobre trastornos del habla y afasia cruciales para la neurolingüística.

3.1.1 Análisis Neurolingüística

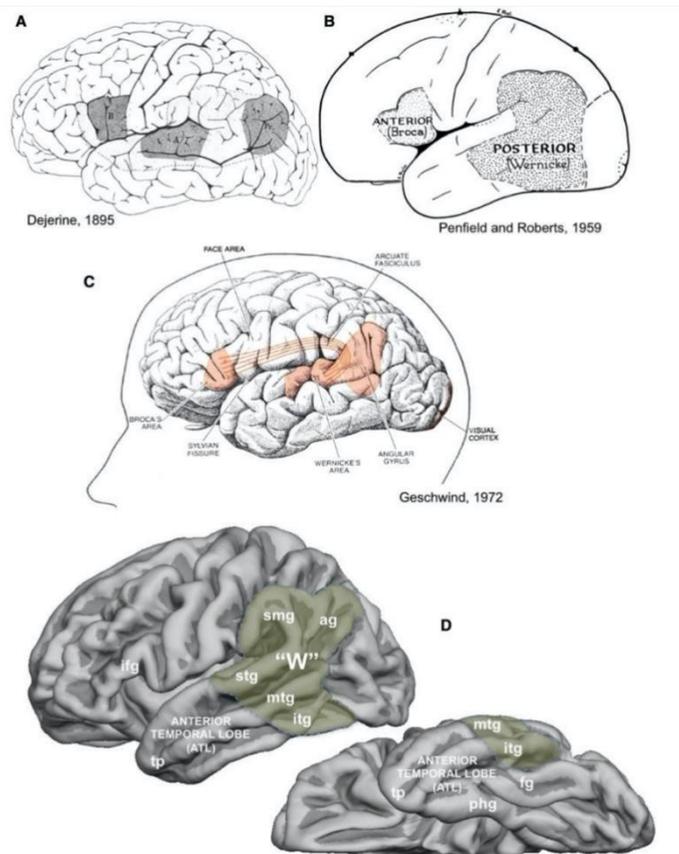
La neurolingüística estudia la relación entre el cerebro y el lenguaje, abarcando áreas como la psicología, la informática, la neurociencia, la lingüística y la filosofía. Se basa en la patología del lenguaje y el estudio de pacientes con afasia. Alfred Blumstein definió la neurolingüística como el estudio de las bases neuronales del lenguaje y el habla. (Blumstein,1988).

A.R. Luria (1976 y 1980)¹ vio la neurolingüística como una disciplina independiente de la neurología. L. Manning la considera una rama de la neuropsicología. D. Caplan afirmó que trata de cómo el cerebro representa y utiliza el lenguaje, y cómo se desarrolla este proceso a lo largo de la vida y se ve afectado por enfermedades.

¹ A.R. Luria: un reconocido psicólogo y neuropsicólogo del desarrollo soviético, fue el primero en considerar la Neurolingüística como una disciplina autónoma, con su origen en la neurofisiología.

Los orígenes de la neurolingüística se remontan al siglo XIX. Carl Wernicke y Paul Broca descubrieron áreas del cerebro cruciales para el lenguaje, conocidas como áreas de Wernicke y Broca. (M.-Marsel Mesulam, 2015)

Fig. 2: Evolución del área de Wernicke. (A) De un libro de texto de Dejerine (Dejerine and Dejerine-Klumpke, 1895). En esta figura, 'A' designa el centro de Wernicke para las imágenes auditivas de las palabras, 'B' designa el centro de Broca para las imágenes motoras de la articulación, y 'Pc' designa el centro para las imágenes visuales de las palabras. (B) De Penfield y Roberts (1959). (C) De Geschwind (1972). (D) Vistas lateral y ventral del hemisferio izquierdo que muestran una representación compuesta del área de Wernicke (W, en verde). ag = surco angular; fg = surco fusiforme; ifg = surco frontal inferior; itg = surco temporal inferior; mtg = surco temporal medio; phg = surco parahipocampal; smg = surco supramarginal; stg = surco temporal superior; tp = polo temporal del ATL. (M.-Marsel Mesulam, 2015)



En 1895, el lingüista polaco Jan Baudouin de Courtenay destacó que estudiar la patología del lenguaje podía mejorar nuestra comprensión de su estructura. (de Courtenay, 1895)

En 1909, el neurocientífico alemán Korbinian Brodmann propuso el sistema de áreas de Brodmann para la corteza cerebral, que aún se utiliza ampliamente.

En la década de 1940, Roman Jakobson vinculó la estructura del lenguaje con sus bases neurológicas. A finales del siglo XX, técnicas como PET (Tomografía de emisión de positrones), fMRI (Imagen por Resonancia Magnética funcional), EEG (Electroencefalograma) y MEG (magnetoencefalografía) permitieron investigaciones más precisas.

La neurolingüística se centra en la relación entre el cerebro y el procesamiento del lenguaje, incluyendo el estudio de casos de lesiones cerebrales, la localización de áreas cerebrales del lenguaje, la observación de la actividad cerebral en tareas lingüísticas, la plasticidad neuronal y la adquisición del lenguaje, y la comparación de mecanismos neuronales entre diferentes culturas e idiomas. (Varo, 2006)

3.1.2 Análisis Psicolingüística

La psicolingüística es una disciplina interdisciplinaria entre la psicología y la lingüística. Utiliza métodos de la psicología experimental para estudiar la relación entre los procesos lingüísticos y mentales, enfocándose en los procesos del habla y la adquisición del lenguaje. Este campo investiga cómo se relacionan la estructura del lenguaje y las funciones cognitivas humanas para entender cómo se vinculan el lenguaje, la percepción y el pensamiento.

Nacida en la década de 1950, la psicolingüística se formalizó con la publicación de "Psicolingüística: una visión teórica y de problemas de investigación" editada por C. Osgood y T. Sebeok en 1954. En sus inicios, predominaba la teoría conductista, que veía el aprendizaje del lenguaje como un proceso de estímulo y respuesta, representada por C. Osgood. A finales de los años 50, Noam Chomsky revolucionó el campo con su teoría de la gramática generativa, argumentando que el lenguaje es una capacidad innata. Esto influyó en psicolingüistas como G. Miller, quien verificó la teoría de Chomsky en psicolingüística, proponiendo que el habla es creativa y no solo una respuesta a estímulos. (王德春(Dechun, W.), 1982)

La psicolingüística se desarrolla a través de la investigación de la evolución biológica y el aprendizaje del lenguaje en niños, y mediante el estudio de los cambios en la actividad cerebral en pacientes con lesiones cerebrales. Destacados investigadores en este campo incluyen a Luria, quien realizó importantes contribuciones en neuropsicología y neurolingüística, publicando "Problemas básicos de la neurolingüística" en 1975.

Los principales temas de investigación en psicolingüística incluyen la percepción y comprensión del habla, la adquisición del lenguaje, el procesamiento y la memoria del lenguaje, la producción del habla y los mecanismos neurofisiológicos del lenguaje. Su objetivo es comprender el papel del lenguaje en la emoción y la cognición para profundizar en la relación entre el lenguaje humano y la mente. (Varo, 2006)

3.1.3 Trastornos del habla y Afasias

Los trastornos del habla y del lenguaje (Speech and language impairment) son un conjunto de problemas de comunicación que incluyen la capacidad auditiva, la capacidad de hablar y las habilidades lingüísticas. Se refiere a la pérdida total o parcial del proceso de formación y comprensión del lenguaje. Estos trastornos se pueden dividir en dos grandes categorías: trastornos del habla y trastornos del lenguaje.

a) Trastornos del habla:

- Apraxia del habla
- Disartria (incluyendo disartria espástica y disartria flácida)

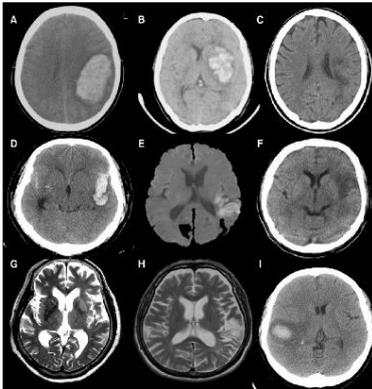


Fig. 3 Las lesiones cerebrales en pacientes con accidente cerebrovascular que presentan afasia de conducción. Los números dentro de la figura representan el número de pacientes: (A) Hemorragia intracraneal (HIC) en el lóbulo parietal inferior izquierdo, (B) HIC en los ganglios basales izquierdos, (C) Infarto cerebral en la corona radiada izquierda, (D) HIC en el lóbulo insular y temporal superior izquierdo, (E, F) Infarto cerebral en el lóbulo insular y temporal superior izquierdo, (G) Infarto cerebral en los ganglios basales y la corona radiada izquierda, (H) Infarto cerebral en el lóbulo parietal inferior y temporal superior izquierdo, (I) HIC en el lóbulo parietal inferior y temporal superior derecho. (Nam Soon Cho, 2009)

- Trastornos miofuncionales orofaciales
 - Trastornos del sonido del habla (*Speech Sound Disorder, SSD*)
 - Tartamudeo
 - Trastornos de la voz
- b) Trastornos del lenguaje:
- Trastornos del aprendizaje basados en el lenguaje
 - Mutismo selectivo
 - Afasia

Estos distintos tipos de trastornos del habla y del lenguaje demuestran la estrecha relación entre la capacidad de expresión oral, el sistema nervioso cerebral y los procesos mentales. Las habilidades lingüísticas son el resultado de la colaboración entre el cerebro y el sistema nervioso, y los trastornos del habla reflejan el daño o mal funcionamiento de estos sistemas, especialmente en el caso de la afasia.

“[...]La afasia es la pérdida total o parcial de los procesos implicados en la formulación y comprensión del lenguaje, que son secundarios al daño cerebral adquirido de una red neuronal distribuida en estructuras corticales y subcorticales del hemisferio cerebral izquierdo dominante, usualmente el hemisferio dominante para el lenguaje^{1,2}.” (Berthier, 2011)

La afasia considera como un trastorno cognitivo multimodal debido a que presenta grandes problemas para la supervivencia de una persona, no solo afecta la capacidad de comprensión y expresión del lenguaje, sino también otras habilidades cognitivas. Los profesionales médicos clasifican clínicamente la afasia a través de tres dominios del lenguaje: fluidez, comprensión auditiva y repetición. Se pueden dividir en dos grandes categorías: una según la fluidez, clasificándola como afasia fluente o no fluente, y otra según la repetición, como repetición normal o anormal. (Berthier, 2011)

A continuación, presento varios tipos de afasia:

- Afasia de Broca
- Afasia de Wernicke
- Afasia de Conducción
- Afasia Global
- Afasia Transcortical
- Afasia Anómica
- Afasia Progresiva Primaria (PPA)

La afasia puede afectar a cualquier persona y la causa más común es el accidente cerebrovascular (ACV), Según la OMS, la recuperación puede llevar más de dos años y solo el 20% se recupera completamente, lo que subraya la importancia del tratamiento de la afasia.

3.1.4 Investigación de Métodos de Tratamiento para la Afasia

La investigación sobre el tratamiento de la afasia ha estado en curso durante casi un siglo, y a partir de la década de 1990, con la profundización de los

estudios y el desarrollo tecnológico, han surgido muchos métodos diferentes para tratar la afasia. Basándome en diferentes datos de literatura, puedo clasificar los métodos de tratamiento en tres categorías principales: estudios de tratamiento no convencionales, estudios de tratamiento convencionales y estudios auxiliares. Los estudios de tratamiento no convencionales implican la mejora y la innovación de métodos de tratamiento más eficaces y específicos, basados en descubrimientos tecnológicos y experimentales. Esto incluye el Entrenamiento del Compañero de Comunicación, la Terapia de Entonación Melódica (TEM), la Terapia de Restricción Inducida para la Afasia (TRIA)², el Tratamiento del Trastorno de Denominación como ACS y ACF³, el Tratamiento de los Déficits Sintácticos y del Agramatismo⁴, el Método para el Tratamiento de las Funciones Cognitivas - Enfoque Cognitivo⁵, estudios sobre tratamiento farmacológico, métodos de tratamiento asistido por computadora, y terapia de estimulación cerebral no invasiva, como rTMS y tDCS⁶. (Mile Vuković, 2022)

A continuación, procederé a describir detallados unos de estos métodos de tratamiento.

a) Entrenamiento del compañero de comunicación

Este tratamiento busca mejorar la capacidad de respuesta de los pacientes con afasia durante las conversaciones. Se les enseña a utilizar diferentes canales de comunicación, como gestos, dibujos, lectura, expresiones faciales y posturas corporales, para identificar temas. (Mile Vuković, 2022)

b) La Terapia de Entonación Melódica (TEM)

Este tratamiento puede mejorar las habilidades lingüísticas y la capacidad de comunicación de los pacientes con afasia progresiva, utilizando ritmos, melodías y acentos exagerados para el entrenamiento en entonación.

Según las palabras de Vuković, la TEM ofrece resultados significativamente mejores en el tratamiento de pacientes con afasia de Broca que la terapia tradicional de habla/lenguaje (Vuković, 2001). (Mile Vuković, 2022)

c) Tratamiento complementario

El uso de la tecnología informática para ayudar en el tratamiento de la afasia permite la creación de planes de tratamiento personalizados según necesidades específicas, lo que brinda flexibilidad y conveniencia.

²TRIA: es la Terapia de Restricción Inducida para la Afasia. Este método promueve la recuperación del lado afectado del cerebro restringiendo el uso del lado no afectado.

³ACS: es el Análisis de Características Semánticas, requiere que el paciente produzca palabras oralmente.

ACF: es el Análisis de los Componentes Fonológicos, usa imágenes de objetos como estímulo para generar palabras objetivo.

⁴ Tratamiento de los Déficits Sintácticos y del Agramatismo: Este método tiene como objetivo mejorar la capacidad sintáctica de los pacientes con afasia, enfocándose en los verbos.

⁵ Tratamiento de las Funciones Cognitivas - Enfoque Cognitivo: se trata de mejorar el lenguaje de los pacientes con afasia a través de la terapia de atención.

⁶ rTMS y tDCS: métodos de estimulación cerebral no invasiva, se utilizan como tratamientos complementarios para ciertas enfermedades del sistema nervioso.

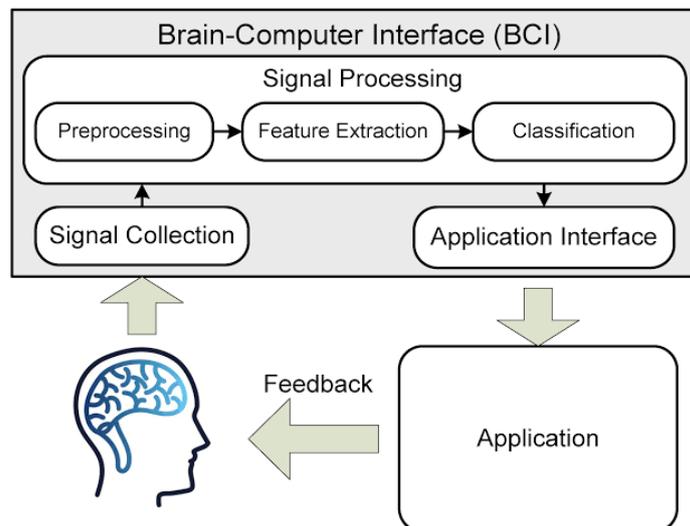
Además, estudios muestran que los pacientes con afasia pueden aprender las habilidades básicas necesarias para usar la tecnología informática. (Sitren&Vallila-Rohter, 2019)

En los últimos años, la investigación sobre la afasia ha avanzado significativamente, sin embargo, el análisis de diversos estudios muestra que cada tipo de tratamiento tiene sus pros y contras y no puede lograr resultados perfectos. Por lo tanto, en la actualidad, el tratamiento clínico de la afasia se basa principalmente en un enfoque de tratamiento integral.

3.2 ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA

3.2.1 Análisis de Brain interfaz EEG

Fig. 4 Janis Peksa y Dmytro Mamchur: State of the Art on Brain-Computer Interface Technology, El principio de funcionamiento de BCI, 2023 MDPI



La Interfaz Cerebro-Computadora (BCI, por sus siglas en inglés) se refiere a la forma en que se recopilan, identifican y procesan las señales eléctricas del sistema nervioso del cerebro humano para transmitir órdenes directamente a terminales de máquinas designadas, controlando así el funcionamiento de dispositivos mecánicos. Dos tipos comunes de sensores en las interfaces cerebro-ordenador son el electroencefalograma (EEG) y la estimulación eléctrica transcraneal (TES), que destacan por su portabilidad, facilidad de uso y coste. El EEG es una técnica de exploración del sistema nervioso central que muestra la actividad eléctrica del cerebro en tiempo real, midiendo la actividad eléctrica cerebral a través de electrodos colocados en el cuero cabelludo para capturar datos de ondas cerebrales, permitiendo a los investigadores interactuar con computadoras u otros dispositivos mediante la lectura y transmisión de las ondas cerebrales.

El neurólogo alemán Hans Berger fue el primero en investigar esta tecnología. En 1929, acuñó el término “electroencefalograma” para describir el registro de las fluctuaciones eléctricas en el cerebro captadas por unos electrodos fijados en el cuero cabelludo. (Neuroelectrics, 2024)

Los sensores de electroencefalografía (EEG) se utilizan principalmente para detectar convulsiones epilépticas y también se emplean para determinar las fases del sueño y en experimentos de psicología cognitiva. Por otro lado, la técnica de estimulación eléctrica transcraneal (TES) se aplica principalmente en la rehabilitación de secuelas de accidente cerebrovascular, trastornos del movimiento y del lenguaje, así como en el tratamiento de la afasia y del dolor neuropático.

El principio de funcionamiento de los sensores de EEG se basa en las señales eléctricas débiles generadas por la actividad de las neuronas cerebrales, que suelen estar en el rango de microvoltios y presentan diferentes componentes de frecuencia, como las ondas α , β , δ , θ y γ . El sistema de registro incluye electrodos con un medio conductor, amplificadores con filtros, convertidores A/D y dispositivos de grabación.

Existen varios tipos de electrodos de registro, incluyendo desechables (sin gel y pre-gelificados), discos reutilizables (de oro, plata, acero inoxidable o estaño), electrodos de salmuera, electrodos aguja, así como bandas y gorros de electrodos. Entre ellos, los gorros y bandas de electrodos son dispositivos que aseguran los electrodos en la cabeza del individuo y se utilizan en aplicaciones de registro de larga duración o para la localización de múltiples electrodos, siendo este tipo el principal que se utilizará en mi tesis.

En general, el principio básico de los sensores de EEG está relacionado con la captura, amplificación, filtrado y digitalización de la actividad eléctrica débil del cerebro, y el análisis y aplicación de los datos recopilados. Esta tecnología es ampliamente utilizada en interfaces cerebro-ordenador, investigación neurocientífica y aplicaciones médicas. (Teplan, 2002)

3.2.2 Tipos y características de las ondas cerebrales

Los datos de las ondas cerebrales se refieren a las señales eléctricas de diferentes frecuencias generadas en el cerebro humano, que se registran y analizan mediante sensores EEG. Las ondas cerebrales se clasifican según su frecuencia y amplitud, e incluyen ondas δ , θ , α , β y γ , que corresponden a diferentes estados de actividad cerebral. A continuación, se presenta un resumen de los tipos de ondas cerebrales y los estados con los que suelen estar asociados:

a) Ondas δ (ondas Delta): Su frecuencia está entre 0.1 y 4 Hz, con una amplitud de 10 a 30 μV , sin exceder los 50 μV . Este tipo aparece principalmente en la región frontal del cerebro y se observa en estados de fatiga extrema o sueño profundo. Aunque tiene poca relación con la función del lenguaje, el sueño afecta significativamente las funciones cognitivas relacionadas con el lenguaje y el aprendizaje. Emocionalmente, se asocian con la relajación o la calma.

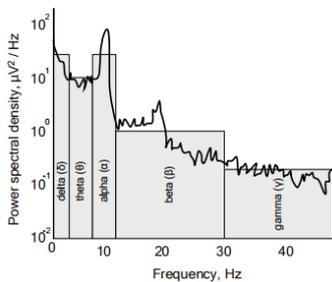


Fig. 5 Janis Peksa y Dmytro Mamchur: State of the Art on Brain-Computer Interface Technology, Un ejemplo del espectro de frecuencias de un electroencefalograma (EEG) del cerebro humano, 2023 MDPI

b) Ondas θ (ondas Theta): Su frecuencia está entre 4 y 7.5 Hz, con una amplitud de 10 a 30 μV , sin exceder los 50 μV . Aparecen principalmente en la región temporal del cerebro. Suelen manifestarse en estados de relajación, sueño ligero, pensamiento creativo y concentración. Emocionalmente, pueden estar asociadas con estados de placer y relajación.

c) Ondas α (ondas Alpha): Su frecuencia está entre 7.5 y 12 Hz, con una amplitud de 30 a 50 μV , sin exceder los 100 μV . Aparecen principalmente en la región occipital, seguidas de las regiones parietal, frontal y temporal, y generalmente se observan en estados de relajación y descanso. Durante la expresión del lenguaje, este tipo de ondas puede indicar procesos de pensamiento y preparación del lenguaje.

d) Ondas β (ondas Beta): Su frecuencia está entre 12 y 30 Hz, con una amplitud de 5 a 30 μV , generalmente alrededor de 20 μV . Aparecen principalmente en las regiones central y frontal del cerebro, aunque pueden observarse en todo el cráneo. Se manifiestan en estados de alerta, tensión mental, excitación emocional y actividad cognitiva, como concentración, aprendizaje, pensamiento y ejecución de tareas. Están relacionadas con la producción y comprensión del lenguaje.

e) Ondas γ (ondas Gamma): Su frecuencia está por encima de los 30 Hz, con una amplitud de 15 a 25 μV . Aparecen principalmente en las regiones frontal y precentral del cerebro. Están asociadas con funciones cognitivas superiores, como el aprendizaje, la memoria, la percepción, la conciencia y la atención. La investigación sobre las ondas gamma es clave para comprender los procesos de procesamiento del lenguaje y la cognición. Emocionalmente, se asocian con estados de alta concentración y claridad mental.

Al analizar las características de estas diferentes ondas cerebrales y cómo se relacionan con la expresión del lenguaje, se puede entender mejor el desempeño del cerebro en diferentes estados de actividad. (Mamchur, 2023)

3.2.3 Análisis de dispositivos de interacción existentes

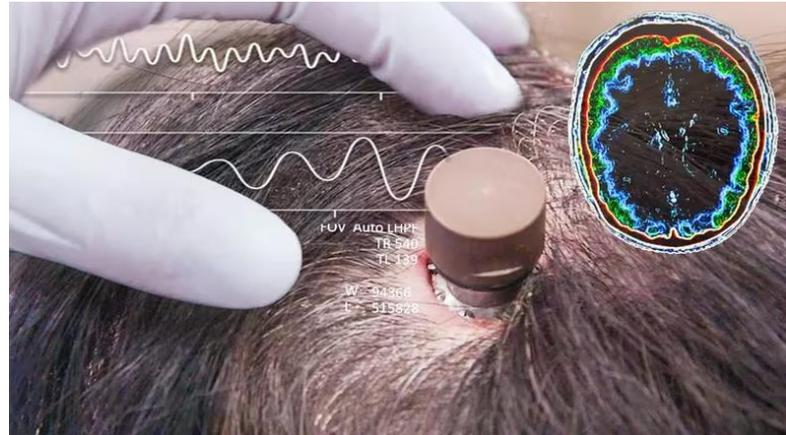
Además de las aplicaciones médicas del BCI que mencionamos anteriormente, la investigación sobre la interfaz cerebro-computadora ha avanzado aún más en los últimos dos años. En agosto de 2022, el *Future laboratory* de la Universidad de Tsinghua lanzó el sistema de visualización de sueños (*Dream Visualization*). Después de que los usuarios se colocan el equipo EEG, el sistema convierte las señales cerebrales recogidas en diferentes elementos de pintura, creando así una pintura abstracta. (李华山(Huashan,L.), 2022)

En el invierno de 2022, en la Ópera de Ondas Cerebrales del Teatro Nacional del Puerto de Amberes, en Bélgica, una cantante soprano usó una diadema BCI y un traje inteligente que mostraba datos de estados emocionales y psicológicos generados a través de sensores EEG y ECG. Los espectadores pudieron experimentar en tiempo real las emociones cambiantes de la cantante, como

alegría, excitación, orgullo, tristeza, estrés y concentración, a través de las luces y sombras del traje inteligente.

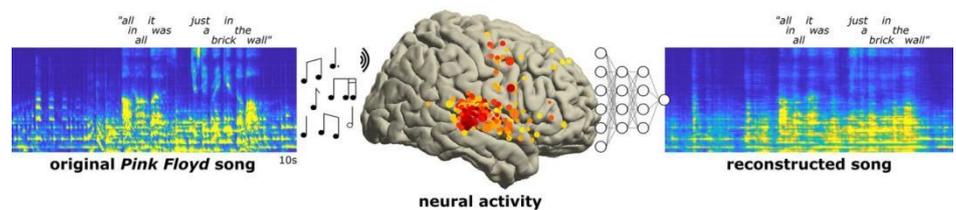


Fig. 6, 7 Neuralink: El chip cerebral de Neuralink está funcionando en un humano, 2024.



En 2024, la compañía Neuralink de Elon Musk desarrolló un dispositivo de interfaz cerebro-computadora denominado "telepatía" (*Telepathy*). El primer paciente con un implante cerebral se ha recuperado bien y puede crear imágenes en Photoshop controlando el ratón solo con su cerebro. Esto demuestra que la tecnología EEG no se limita solo a los campos de la ciencia y la medicina, sino que también tiene un gran potencial en el ámbito del arte, mostrando cómo las nuevas tecnologías están transformando la creación artística. Este artículo se centrará en este aspecto, explorando el uso de la EEG como medio para la creación artística. (Olson, 2024)

Fig. 8 Robert Sanders: Las grabaciones cerebrales capturan la musicalidad del habla — con la ayuda de Pink Floyd, 2023. Berkeley News.



Finalmente, los científicos del Instituto de Neurociencia Helen Wills y la Universidad de California en Berkeley han utilizado la tecnología EEG y la modelación computacional para registrar y decodificar la actividad neuronal directa del cortex auditivo humano, reconstruyendo la obra musical "Another Brick in the Wall, Part 1" de Pink Floyd. Este avance surgió de la investigación sobre las respuestas cerebrales a la música, que reveló que casi todas las áreas importantes del cerebro reaccionan a la música y generan actividad neuronal relacionada. Al leer y registrar esta actividad neuronal mediante EEG, y luego decodificar y reconstruir la música, los científicos pudieron reproducir la música que el cerebro estaba escuchando en un momento dado mediante ingeniería inversa. (Sanders, 2023)

4. MARCO REFERENCIAL

CASOS DE ESTUDIO

4.1 RAFAEL LOZANO-HEMMER

Rafael Lozano-Hemmer, nacido en 1967 en México, es un artista de medios y arquitecto. Desde los años 90 hasta la actualidad, su trabajo se ha centrado en el arte público, utilizando información humana y avances tecnológicos como materia prima para crear espacios artísticos que fomentan la reflexión y la empatía. Sus obras exploran temas como la vigilancia, la identidad y la memoria colectiva, y cuestionan la relación entre el individuo y la ciudad. (Arsenal Contemporary, 2021)

En cuanto a la forma artística, a menudo presenta su obra a través de una combinación de arte performativo y arquitectura interactiva. Su trabajo fusiona el arte, la tecnología y la participación del público, explorando la relación entre las personas y el espacio público. Utiliza medios digitales (como robots, vigilancia por computadora, proyecciones de mapas, proyecciones de luz, sensores de movimiento, cámaras y sistemas de audio) y datos biométricos (como latidos del corazón, voz y rostro) en sus instalaciones artísticas para expresar sus conceptos. (Art 21, s. f.)

Fig. 9 Rafael Lozano-Hemmer:
Encoder / Décoder, 2020.

Instalación interactiva: proyector,
sensor 3D, computadora con
software escrito en Touch Designer.
Dimensiones: dos paredes de 22 x 50
pies.
Dimensiones: variable (pantalla de
75+ pulgadas, 4K)



Su obra "*Encode/Decode*" (2020) es un entorno textual interactivo generativo, compuesto por un ensayo fundamental sobre codificación y decodificación de la comunicación escrito por el académico británico de estudios culturales *Stuart Hall* (1932-2014). En este ensayo, Hall explora cómo se generan, transmiten y reciben los mensajes de los medios en el contexto televisivo, y argumenta que los espectadores interpretan la información a través de sus propios antecedentes y experiencias personales, lo que puede cambiar el significado del mensaje, especialmente en un contexto colectivo. En esta instalación, Rafael Lozano-Hemmer presenta el ensayo de Stuart Hall mediante letras animadas que fluyen lentamente. Los espectadores

interactúan con la obra y alteran la dirección del flujo de texto a través de sus propios movimientos. La instalación utiliza paredes en ángulos de 120° y 90° como superficies de proyección, creando un horizonte único mediante mapeo y deformación, lo que fortalece la interactividad de la instalación y proporciona una experiencia inmersiva para los espectadores. (Antimodular Research, s. f.)

Video consulta: <https://vimeo.com/491273274>

Web: <https://www.lozano-hemmer.com/encodedecode.php>

Fig. 10 Rafael Lozano-Hemmer:

Pulse Topology, 2020.

Instalación interactiva: Sensores de pulso, luces LED, computadora con software personalizado.

Dimensiones: Variable, adaptable al espacio de exhibición.



"*Pulse Topology*" (2021) es una de las obras de la serie *Pulse*. Esta instalación utiliza sensores de frecuencia cardíaca para obtener datos biométricos de los participantes y crear una experiencia audiovisual inmersiva e interactiva. La obra emplea tecnología PPG (fotopleismografía) de medición de pulso sin contacto, utilizando algoritmos de visión por computadora para detectar ópticamente los latidos del corazón de los visitantes. Visualmente, la instalación presenta tres mil bombillas colgantes que forman una topografía invertida de montañas y valles, reflejando el pulso de los participantes. El artista destaca el elemento compartido del latido del corazón entre todas las personas en la instalación mediante la creación de este entorno inmersivo. (Kemper Museum of Contemporary Art, 2021) (Pritchett, 2021)

Video consulta: <https://www.youtube.com/watch?v=gNNTN0vpFAM>

Web: <https://mikcexplore.com/home/2021/11/8/pulse-topology-a-conversation-with-artist-rafael-lozano-hemmer>

Fig. 11 Rafael Lozano-Hemmer:

Zoom Pavilion, 2015.

Instalación interactiva: Proyector, cámaras infrarrojas, computadoras, iluminadores infrarrojos, switch Ethernet, extensores HDMI y USB.

Dimensiones: Pantalla de tamaño variable, al menos 8 m de ancho por 6 m de alto por lado.



"Zoom Pavilion" es una obra de 2015 realizada en colaboración con el artista Krzysztof Wodiczko. Utiliza sensores para capturar imágenes de los visitantes en la entrada de la galería mediante cámaras y las proyecta en tiempo real dentro del espacio de la instalación. Cuando los visitantes ingresan al espacio, ven sus propias imágenes replicadas, enfocadas y ampliadas en tiempo real, sumergiéndose en una experiencia de teatro en miniatura. (Antimodular Research, s. f.)

Video consulta: <https://youtu.be/ENWBRsvn7qA?si=vCbqRvEI9Aq1K6sy>

Web: https://www.lozano-hemmer.com/zoom_pavilion.php

4.2 MAURICE BENAYOUN

Maurice Benayoun es un destacado artista del arte digital y la realidad virtual. También ha considerado como el pionero del este campo. Nació en Francia en 1957, ha creado numerosas obras de las instalaciones interactivas que exploran la relación entre la tecnología y la experiencia humana.

Benayoun utiliza medios como la realidad aumentada, la realidad virtual, la visualización de datos y la inteligencia artificial para desafiar los límites de la interacción y la percepción. Sus obras generan una fuerte sensación de participación entre el público, convirtiéndose en coautores de la experiencia artística.

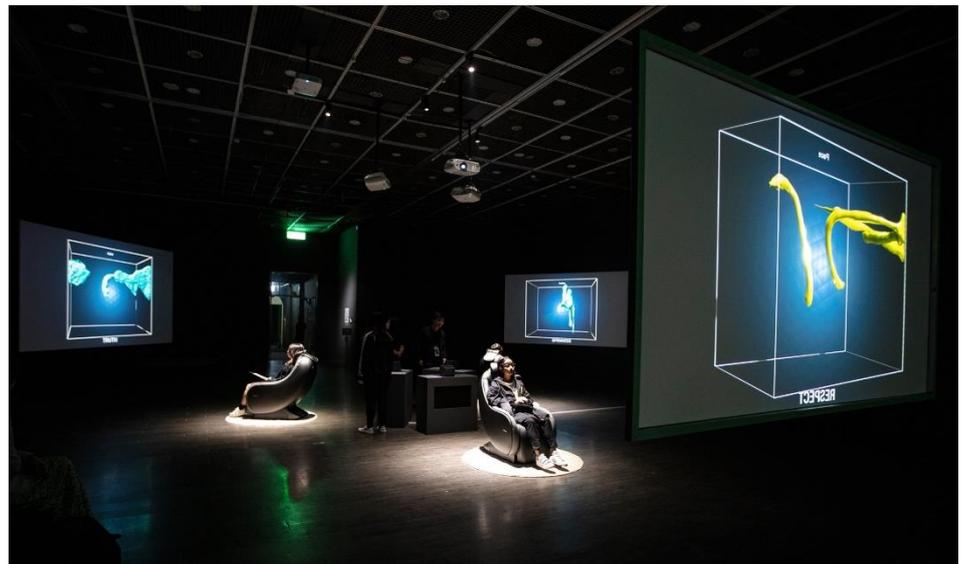
The Brain Cloud es una instalación artística creada en 2018 en colaboración con Tobias Klein, que combina arte, ciencia y tecnología. Esta obra forma parte de la serie "Brain Factory" y tiene como objetivo explorar la naturaleza del cerebro humano y su capacidad de percepción del mundo que lo rodea. Los espectadores pueden interactuar con la nube de datos generada por el cerebro dentro de la instalación, ayudándoles a moldear formas abstractas humanas a través del pensamiento. De esta manera, pueden experimentar la complejidad de la conciencia y comprender mejor cómo el cerebro y la conciencia influyen en nuestros comportamientos y experiencias. La instalación está compuesta por un electroencefalograma (EEG) headband, una silla de masajes, una pantalla LCD y una conexión con una puerta de enlace y un hipercubo en el laboratorio

estelar. A través de esta conexión, el hipercubo muestra dinámicamente los modelos 3D generados por la interacción del público, mientras que la puerta de enlace monitorea simultáneamente los datos de las ondas cerebrales. Esta obra es tanto una herramienta como una pieza de arte, y representa un diálogo entre la inteligencia humana y la inteligencia artificial. Su característica principal radica en su capacidad de convertir las diferentes reacciones del cerebro a las palabras en formas abstractas. (Moben, 2018)



Fig. 12, 13. Maurice Benayoun: *The Brain Cloud*, 2018.

Instalación interactiva: sensores, proyector, computadora con software personalizado, interfaz cerebro-computadora (BCI)
Dimensiones: Variable, adaptada al espacio de exhibición.



Video consulta: <https://youtu.be/GrLA9kaWBpc?si=bD6z-j-4DhT92OdJ>
Web: <https://benayoun.com/moben/zh-hans/2018/01/12/brain-cloud-by-brain-factory/>

Dialog, The first Aliens' encounter (2021) es una instalación de arte mediático interactivo en la ciudad que explora temas como la extrañeza, la diferencia y la migración a través de la performance. Extiende el concepto de lenguaje para incluir diversas formas de comunicación humana como el habla, la actuación, la pronunciación y los gestos.

Las dimensiones de la instalación son variables, pero generalmente consisten en dos pantallas de 2 a 4 metros, que pueden ser de proyección o pantallas LED. Además, está equipada con tecnologías como inteligencia artificial, sensores, diseño de comportamiento, gráficos generados en tiempo real, reconocimiento de voz, generación de texto y sonido.

El artista muestra el proceso de entendimiento mutuo entre dos entidades visuales dinámicas virtuales en un espacio público. Esto sugiere los desafíos que las personas enfrentan en ambientes desconocidos o heterogéneos, así como

las dificultades derivadas de las diferencias sociales y culturales, destacando el impacto potencial de la obra en la interacción social y cultural. (Moben, 2021)



Fig. 14,15 Refik Anadol and Maurice Benayoun: *Dialog, The first Aliens'encounter*, 2021.

Instalación interactiva de arte público: 2 pantallas de video, sensores, inteligencia artificial, gráficos generativos en tiempo real, diseño de comportamiento, reconocimiento de voz, generación de texto, sonido. Dimensiones: Adaptadas al lugar (2-4 m por pantalla).

Producción: MoBen, Analog Native, Neuro-Design Lab, ACIM, SCM, Programa Europeo de S+T+Artes MindSpaces, y MindSpaces HK, RGC HK.



Video consulta: <https://youtu.be/OfgtN8zXGwk?feature=shared>

Web: <https://benayoun.com/moben/zh-hans/2021/10/13/dialog-the-first-aliens-encounter/>

4.3 REFIK ANADOL: MELTING MEMORIES

La obra *"Melting Memories"* surge de la investigación experimental llevada a cabo por Anadol utilizando las herramientas tecnológicas proporcionadas por el laboratorio NeuroScape de la Universidad de California, San Francisco. Anadol recogió datos sobre los mecanismos neuronales del control cognitivo mediante la medición de las ondas cerebrales a través de EEG con una interfaz cerebro-computadora. Observando los cambios de movimiento en la actividad cerebral, proporcionó evidencia del funcionamiento del cerebro a lo largo del tiempo, y luego transformó estos datos en modelos visuales multidimensionales, que se convirtieron en la base crucial para la creación de esta obra.

La inspiración para la obra provino de la investigación neurobiológica sobre la enfermedad de Alzheimer que el artista había leído, así como de su experiencia en obras filosóficas innovadoras y su investigación y trabajos artísticos sobre el tema de la memoria.

Esta instalación interdisciplinaria fue creada en 2018 y consiste en una pared de medios LED de 16 por 20 pies y espuma dura personalizada fresada por control numérico. La obra es de color blanco y en ella se pueden observar vórtices burbujeantes que fluyen sobre su superficie, como granos de arena moviéndose, las puntas de olas revolviéndose, o flores blancas en plena floración. Lo importante es que la obra incluye pintura de datos, escultura de datos ampliada y proyección de luz, presentando por primera vez a los visitantes los mecanismos del cerebro en una forma artística y tecnológica, sugiriendo

desde entonces nuevas posibilidades para la combinación del arte contemporáneo y la tecnología avanzada. (Refik Anadol Studio, 2020)

Fig. 16 Refik Anadol: *Melting Memories*, 2018.

Instalación interactiva de arte público: sensores, proyectores o pantallas LED, computadora con software personalizado.

Dimensiones: Adaptadas al lugar (generalmente 2-4 m por pantalla)

Ubicación: Galería Pilevneli.



Video consulta: https://youtu.be/4_mfH6VgEg0?feature=shared

Web: <https://refikanadolstudio.com/projects/melting-memories/>



Fig. 17 Angie Coombes con TONTO en el National Music Centre, Calgary, Canadá.

Crédito de la imagen: Facebook/
National Music Centre.

4.4 ANGIE COOMBES

Angie Coombes es una música, artista y científica canadiense. En 2020, realizó una grabación y un experimento de creación musical científica en el National Music Centre en Calgary, Canadá. Utilizó un dispositivo de brainwaves para controlar el sintetizador TONTO con su mente.⁷ (National Music Centre Amplify, 2021) En el experimento inicial, llevó un casco sensor de ondas cerebrales de calidad comercial y se enfocó en diferentes pensamientos, preguntas e imágenes. Descubrió que ciertos pensamientos podían estimular más actividad de ondas cerebrales, generando efectos más dramáticos, y que pensar en "por qué" también afectaba el volumen y el tono. Luego, los datos registrados por el casco se procesaron a través de un software y una placa de circuito especial creada por ingenieros, convirtiendo sus pensamientos en voltaje y asignándolos a parámetros en el sintetizador. Este proceso resultó en la creación de música basada en sus ondas cerebrales..Angie Coombes espera que esto sea el primer paso para hacer la música más accesible. (Horsley, 2020)

Video consulta: https://youtu.be/fy7K3QMqE54?si=J_t1uzusPLPN2iRV

Web: <https://www.musicradar.com/news/canadian-musician-angie-c-just-used-a-brainwave-reader-to-play-the-monster-analogue-synth-tonto-with-her-mind.>

⁷ TONTO: su nombre completo es *The Original New Timbral Orchestra*. Fue creado por *Malcolm Cecil* y *Robert Margouleff* en 1968. Es uno de los sintetizadores más grandes del mundo y el primer sintetizador analógico polifónico multitimbral, capaz de producir simultáneamente múltiples sonidos diferentes. Este sintetizador es conocido por su sonido cálido y rico.

4.5 OUCHHH: SAY_SUPERSTRINGS

Fig. 18 Ouchhh New Media Agency:
Say_superstrings, 2018.
Performance de Instalación de Actividad Eléctrica: NeuroSky MindWave
Rol del Proyecto: Supervisión técnica e implementación de la visualización de datos de audio y EEG.
Dimensiones variables.



La obra fue creada en colaboración entre Ouchhh y the South Korean/German trio, y se presentó en el Deep Space 8k durante el Ars Electronica Festival de 2018. Es una instalación artística generativa en tiempo real y una actuación musical de trío, centrada en notas musicales y ondas cerebrales. Utilizando una interfaz cerebro-computadora, se obtienen datos de ondas cerebrales que se convierten en información sobre emociones, atención y concentración, así como algunos datos auditivos y neurológicos. Esto genera un electroencefalograma que permite observar los cambios en la actividad cerebral, visualizando la actividad del cerebro. Los espectadores pueden escuchar la música mientras observan los cambios en sus propias ondas cerebrales, creando una experiencia inmersiva. La inspiración de Ouchhh proviene de la teoría de supercuerdas, que define que en el universo existen notas musicales. (Ouchhh, 2018)

Los datos sobre la actividad cerebral fueron recolectados por el laboratorio Neuroscape, utilizando electroencefalogramas para obtener datos sobre los mecanismos neuronales bajo control cognitivo y combinar estos datos con los cambios en la actividad de las ondas cerebrales. Estos datos sirven como base para generar modelos visuales multidimensionales.

En términos de efectos visuales, las imágenes de video se componen de una gran cantidad de partículas y líneas que forman formas cambiantes. La actividad de las ondas cerebrales a veces aparece en forma de vórtices, a veces como olas rodando, como arena fluyendo, redes neuronales entrelazadas con puntos de luz, y cambios en el cielo estrellado. Además, las imágenes muestran en tiempo real las variaciones en los valores de los datos de las ondas cerebrales. La combinación de datos en tiempo real y generación de imágenes en tiempo real refleja el encanto de la integración del arte y la tecnología, construyendo un canal que conecta el mundo del cerebro a través del arte digital. (Dorn, 2019)

Video consulta: <https://vimeo.com/298695684>

Web: <https://laughingsquid.com/visualization-of-changes-in-musician-brain-activity/>

4.6 HA YOON

Ha Yoon (1968) es un neurocirujano y artista coreano que combina las características de ambas identidades para crear su distintivo "arte del cerebro", mostrando imágenes de las profundidades de la conciencia humana. Desde 2020, utiliza una tableta para dibujar el cerebro humano, y la aparición de la tecnología NFT (*Non-Fungible Token*) ha ayudado a que sus obras ganen reconocimiento en el mundo del arte digital.

Además, en sus obras en acuarela, cada color representa un momento específico de la memoria, y cuando todos los colores se combinan, representan una memoria completa. Las composiciones anidadas simbolizan las redes neuronales, manifestando la experiencia humana de la memoria y el juego de colores. En sus primeras acuarelas, utilizaba líneas curvas para representar montañas, simbolizando las ondas cerebrales. Sus obras se caracterizan por el uso de numerosos símbolos, formas, ramas, espirales y también proporcionan coordenadas para localizar las obras en el mundo real, transmitiendo percepciones a través de un lenguaje personal.

Fig. 19 Ha Yoon : *Nucleus and Universe*, 2022.
Comisionado por: Porsche AG.
Coordenadas: 46° 13' 59.0" N, 6° 03' 20.5" E (CERN, Suiza).
Dimensiones: variables.



Por ejemplo, "*Nucleus and Universe*" es una obra de la serie "*Map on the Brain*". En ella, HaYoon representa mapas y lugares del mundo real, cree que los mapas están compuestos por símbolos como ríos o puentes, convirtiendo así estos lugares en arte abstracto. (Porsche Christophorus, 2022)

Web: <https://newsroom.porsche.com/christophorus/en/2022/403/ha-yoon-mindmaps.html>.

5. PRODUCCIÓN ARTÍSTICA

La producción final del trabajo se puede consultar en este enlace de video:
<https://youtu.be/ctz6SieOOC4?si=jhaG6qLivl2cQ2hs>

5.1 PREPRODUCCIÓN

5.1.1 *Plan de trabajo*

Primero, resumiré la parte de investigación teórica inicial del texto y extraeré la inspiración que los artistas han absorbido en su expresión, para luego determinar los elementos de expresión a utilizar, como símbolos, colores, patrones, movimiento y sonido, a través de la reflexión y la experimentación.

En cuanto al plan de creación, lo explicaré de manera gradual en fases: preproducción, producción y postproducción. Los pasos se resumen en los siguientes puntos:

- a) Preproducción: Concepción de la idea
 - Concepción de la forma de exhibición de la instalación.
 - Investigación y prueba de técnicas y materiales.
 - Diseño de los elementos visuales y auditivos.
 - Plan de creación final.

- b) Producción: Producción de la idea
 - Creación de componentes de la instalación.
 - Creación de gráficos de elementos.
 - Escritura del código de funcionamiento: análisis de datos de ondas cerebrales y movimiento de elementos.
 - Ajustes: ajuste del sensor EEG y del código, monitoreo del movimiento de elementos.

- c) Postproducción: Presentación y registro de la idea
 - Presentación del efecto de interacción entre el público y la instalación.
 - Registro en video del proceso de interacción con la instalación.

las emociones representadas por diferentes colores, mostrando así los cambios en las emociones y la actividad cerebral de los espectadores.

Para la creación de los elementos visuales, se realizarán pruebas con diferentes materiales para obtener el efecto deseado. Los materiales probados incluyen placas de acrílico, papel de arroz, tela de seda, resina, vidrio, pintura sobre vidrio, y pinturas chinas, etc.

La idea es escanear los elementos creados y luego importarlos al programa de código abierto *Processing*, donde el diseño del código controlará la aparición y el cambio de los elementos según los valores de las ondas cerebrales. Por lo tanto, los gráficos de los elementos serán la base del video interactivo, convirtiéndose en una forma de diálogo entre el mundo real y el ámbito de la conciencia virtual. Desde este punto de vista, también podemos considerar esta creación como una obra interdisciplinaria de imagen que entrelaza arte y tecnología, realidad y virtualidad, y técnicas de producción tradicionales y digitales.

También se tomarán en cuenta las técnicas utilizadas en la terapia del habla, como los métodos de entrenamiento de imágenes y palabras en la afasia nominal ACF, la terapia de atención funcional específica y los métodos de entrenamiento de acento y tono en la terapia de melodía musical. Estas técnicas se caracterizan por su singularidad, repetitividad y enfoque.

En resumen, el diseño dinámico de los elementos visuales puede abordarse desde la expresión del significado cognitivo de los símbolos, los colores emocionales y las características de la terapia del habla. En cuanto a los elementos base del video, se pueden considerar formas como gráficos de redes neuronales, diagramas de meridianos, puntos de neuronas, rompecabezas y collage



Fig. 21 el kit de diadema de ondas cerebrales 2.0 de *Sichiray*.

Web: <https://www.sichiray.com/eeg>

5.1.3 Análisis de los materiales y técnicas

5.1.3.1 Análisis de la diadema EEG

Para la creación de esta obra, utilizaré el kit de diadema de ondas cerebrales 2.0 de *Sichiray*. (Sichiray, s. f.) Este dispositivo de hardware consta de una diadema EEG y un adaptador Bluetooth. Es un tipo de interfaz cerebro-computadora de un solo canal que puede recopilar ondas cerebrales crudas, ondas alfa, ondas beta, ondas delta, ondas gamma y señales de parpadeo, entre otras. Según el informe del producto, el sensor obtiene los datos de las ondas cerebrales de la siguiente manera:



Fig. 22 el kit de diadema de ondas cerebrales 2.0 de Sichiray.

[...] Los datos se recopilan a través de un electrodo en la frente y un electrodo de clip para la oreja. La actividad neuronal del cerebro se transmite mediante la conducción iónica hasta la corteza cerebral. Los electrodos conductores fijados en la cabeza detectan estos cambios de voltaje sutiles, que luego se amplifican diferencialmente, se filtran y se convierten de analógicos a digitales, entre otros procesos, para finalmente transformar las señales eléctricas en datos de ondas cerebrales crudas. Los datos procesados se envían por Bluetooth a un terminal receptor. (疏明, 顾勇 (Ming, S., & Yong, Gu), (s.f.))

A continuación, se presentan los parámetros del módulo de ondas cerebrales Taurus:

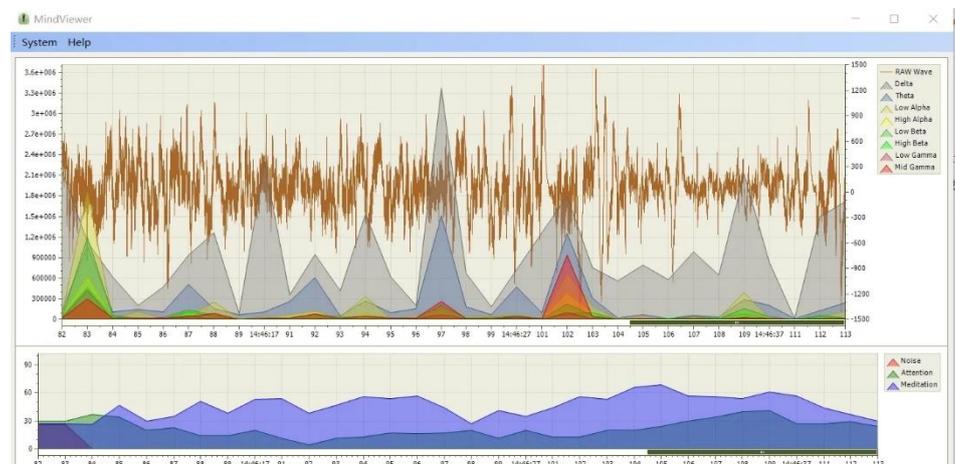
- Tamaño: 5.8 x 3.5 cm
- Frecuencia de muestreo: 215 Hz
- Puerto de carga: Micro USB
- Rango de frecuencia: 3-125 Hz
- Voltaje de funcionamiento: 3.3V
- Corriente de funcionamiento: 5 mA
- Método de comunicación: Bluetooth
- Precisión ADC: 12 bits
- Filtro Notch: 50 Hz
- Tasa de baudios: 57600

Salida de ondas cerebrales ESense: señal EEG cruda, concentración, relajación, parpadeo, ondas cerebrales (delta, theta, alfa baja, alfa, beta baja, gamma).

(疏明, 顾勇 (Ming, S., & Yong, Gu), (s.f.))

El dispositivo proporciona dos formas de leer los datos. La primera es a través del software de depuración proporcionado para leer las formas de onda de la actividad cerebral.

Fig. 23 Software de depuración para leer formas de onda de la actividad cerebral.



La segunda es mediante el uso de herramientas de comunicación en serie como *sscom* o *realTerm* para leer los datos brutos de las ondas cerebrales.

Fig. 24 Software de depuración para leer formas de onda de la actividad cerebral.

```
80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF E7 97 AA AA 04 80 02 FF E5 99 AA AA 04 80
[04:20:42.095]收←◆02 FF E7 97 AA AA 04 80 02 FF E9 95 AA AA 04 80 02 FF E9 95 AA AA 04 80 02 FF E7 97 AA AA 04 80 02 FF ED
91 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F8 86 AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 00 00 7D AA AA 04 80 02 00 10 6D AA
AA 04 80 02 00 21 5C AA AA 04 80 02 00 2C 51 AA AA 04 80 02 00 2E 4F AA AA 04 80 02 00 24 59 AA AA 04 80 02 00 20 5D AA AA 04
80
[04:20:42.138]收←◆02 00 21 5C AA AA 04 80 02 00 1F 5E AA AA 04 80 02 00 19 64 AA AA 04 80 02 00 14 69 AA AA 04 80 02 00 14
69 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA AA 04 80 02 00 09 74 AA AA 04 80 02 00 01 7C AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 00 02 7B AA
AA 04 80 02 00 0A 73 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA AA 04 80 02 00 13 6A AA AA 04 80 02 00 0C 71 AA AA 04 80 02 00 09 74 AA AA 04
80
[04:20:42.200]收←◆02 00 05 78 AA AA 04 80 02 FF 7F 7F AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 00 07
76 AA AA 04 80 02 00 15 68 AA AA 04 80 02 00 19 64 AA AA 04 80 02 00 16 67
[04:20:42.246]收←◆AA AA 04 80 02 00 0D 70 AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 FF F6 88 AA AA 04
80 02 FF F3 85 AA AA 04 80 02 FF EF 8F AA AA 04 80 02 FF F5 89 AA AA 04 80 02 FF FE 80 AA AA 04 80 02 00 05 78 AA AA 04 80 02
00 09 74 AA AA 04 80 02 00 05 78 AA AA 04 80 02 00 07 76 AA AA 04 80 02 00 05 78 AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 FF F2
8C
[04:20:42.287]收←◆AA AA 04 80 02 FF E9 95 AA AA 04 80 02 FF ED 91 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F8 86 AA AA 04
80 02 FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 FF F7 87 AA AA 04 80 02 FF F7
87
[04:20:42.351]收←◆AA AA 04 80 02 FF F7 87 AA AA 04 80 02 FF FD 81 AA AA 04 80 02 FF FE 80 AA AA 04 80
80 02 00 03 7A AA AA 04 80 02 FF FD 81 AA AA 04 80 02 FF FE 80 AA AA 04 80
[04:20:42.381]收←◆02 FF 7F 7F AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF EA 94 AA AA 04 80 02 FF E8
96 AA AA 04 80 02 FF EA 94 AA AA 04 80 02 FF ED 91 AA AA 04 80 02 FF F2 8C AA AA 04 80 02 FF F6 88 AA AA 04 80 02 FF FD 81 AA
AA 04 80 02 00 00 7D AA AA 04 80 02 00 03 7A AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04 80 02 FF FD 81 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04
80
[04:20:42.443]收←◆02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 FF F8 86 AA AA 04 80 02 FF F3 8B AA AA 04 80 02 FF F1 8D AA AA 04 80 02 FF F6
88 AA AA 04 80 02 00 02 7B AA AA 04 80 02 00 0D 70 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA AA 04 80 02 00 0C 71 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA
AA 04 80 02 00 11 6C AA AA 04 80 02 00 0B 72 AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04 80 02 00 00 7D AA AA 04 80 02 00 00 7D AA AA 04
80
[04:20:42.504]收←◆02 00 00 7D AA AA 04 80 02 FF 7F 7F AA AA 04 80 02 FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F6
88 AA AA 04 80 02 FF F7 87 AA AA 04 80 02 FF F5 89 AA AA 04 80 02 FF F2 8C
```

Los datos de las ondas cerebrales se interpretan a través del módulo TGAM, que envía aproximadamente 512 datos brutos por segundo. Luego, se importan los paquetes de datos a *Processing* para su análisis y, de esta manera, se puede programar en base a los datos obtenidos. Es necesario mencionar que este proceso debe combinarse con la investigación previa sobre las características de los diferentes tipos de ondas cerebrales y el conocimiento de los datos de pruebas de ondas cerebrales publicados en la plataforma *Open Neuro*. Esto me ayudará escribir el código para diseñar los cambios en la forma y el movimiento de los elementos visuales simbólicos.

Fig. 25 Código para conectar al puerto serial.

```
Puentes de comunicaci no verbal final
31 void setup() {
32   fullScreen();
33   println("Initializing...");
34
35   // Configurar el nombre correcto del puerto serial
36   String portName = "COM3";
37   try {
38     myPort = new Serial(this, portName, 57600);
39     println("Connected to port: " + portName);
40   } catch (Exception e) {
41     println("Error initializing the serial port: " + e.getMessage());
42   }
43
44   // Cargar imagen
45   img1 = loadImage("data/img1.png");
46   img2 = loadImage("data/img2.png");
```

5.1.3.2 Processing

Processing será la plataforma para escribir el código de esta obra. Es un lenguaje de programación de código abierto basado en el marco de JAVA, simplificando la sintaxis de Java y presentando características multiplataforma. Con un enfoque en el arte digital, permite la programación visual. Esto nos permite ver el lenguaje de programación como una herramienta de creación

artística, utilizando este lenguaje para expresar nuestra creatividad e ideas, esta es también la razón por la cual he elegido Processing para la creación de este trabajo. En esta obra, *Processing* actuará como un soporte, mientras que los datos de las ondas cerebrales serán el "pincel" para la creación en tiempo real.



5.1.3.3 Prueba de técnicas y materiales

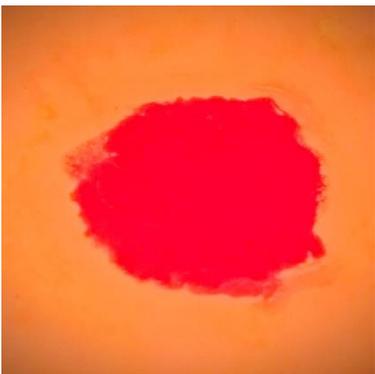
Este proceso de prueba se divide en dos partes: prueba de técnicas y prueba de materiales. A continuación, se presenta una descripción detallada.

a) Prueba de técnicas

Durante la prueba de técnicas, llevaré a cabo pruebas de hardware y software, que incluyen la conexión de los sensores EEG, la detección de la generación de imágenes de ondas cerebrales, la precisión de la lectura de datos del asistente de puerto serie, la prueba de la interpretación de datos TGAM, y el estudio de las variaciones de ondas y valores cerebrales en la aplicación.

b) Prueba de materiales

En la prueba de materiales, se divide en dos partes. La primera parte es el experimento de materiales con elementos dibujados a mano, probando diferentes materiales para evaluar el efecto general de los patrones de elementos dibujados. Dado que los elementos dibujados deben convertirse en formato electrónico mediante un escáner, he elegido materiales con transparencia para resaltar mejor los elementos pintados. Los materiales probados incluyen placas de acrílico, papel de arroz, tela de seda, resina, vidrio, pintura sobre vidrio, y pinturas chinas, etc. Además de otros materiales utilizados para fabricar el resto parte de la instalación.



Resultados de las pruebas:

Utilicé los materiales y medios mencionados anteriormente para realizar pruebas, y finalmente descubrí que la combinación de papel de arroz, pinturas chinas y resina presenta un efecto translúcido y transparente. Además, debido a las propiedades del material de la resina, el papel de arroz adquiere dureza, pero no pierde la flexibilidad. Considero que este es un punto innovador en el uso de materiales y medios. Su grado de transparencia, dureza y claridad de color lo hacen muy adecuado para mi método de dibujo de elementos visuales. Por lo tanto, utilizaré este nuevo descubrimiento para la creación de los elementos.

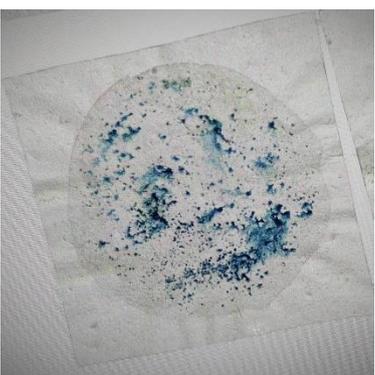


Fig. 26, 27, 28 Pruebas de materiales.

Por otro lado, al realizar experimentos con materiales de vidrio, también descubrí que la transparencia, la interacción con la luz, y las propiedades interactivas y transparentes del vidrio lo convierten en una buena opción para esta creación. Mi experimentación con materiales de vidrio se basa en el tema del "espacio cerebral", y he titulado mi obra "Espacio de fantasía Cerebral Cósmica". Además de utilizar técnicas de vidrio soplado, también incorporé tipos móviles de acero de letras y números en la superficie del vidrio durante el

proceso de soplado, lo que dejó elementos textuales en el vidrio. También empleé técnicas de pegado con adhesivo UV en la etapa de procesamiento en frío.



Fig. 29, 30 Xin Lin: *Espacio de fantasía Cerebral Cósmica*, 2024

Instalación: vidrio, tipos móviles de cera, espejos.

Dimensiones: 20 × 42 × 42cm, (Figura central: 20 × 42 × 32cm; Espejos: diámetros de 2 a 5 cm).

Shandong, China.

A través de la creación de esta instalación, descubrí que la fusión e interacción entre las esferas de vidrio, el entorno y las personas puede representarse perfectamente.

5.1.4 Plan de creación final

Después de realizar investigaciones documentales, estudios técnicos y experimentos con materiales, he ido perfeccionando la concepción y los métodos de producción para la creación artística relacionada con este tema. A continuación, describiré en detalle el diseño del proyecto, incluyendo materiales, técnicas y métodos de fabricación de equipos.

Este proyecto se presentará mediante una instalación y la grabación de un video. Además del interfaz cerebro-computadora EEG como la herramienta principal para la lectura de datos cerebrales, el vidrio será el material predominante en la obra. El concepto de la obra se basa en la comunicación y expresión del ser humano, tomando el cerebro como el núcleo de operación, lo que llevó a la idea de crear una instalación de simulación del espacio cerebral. Las imágenes generadas por el EEG se proyectarán en este espacio, mostrando directamente las actividades cerebrales y los cambios emocionales de las personas.

La instalación consta de tres partes. La primera es un espacio de simulación cerebral dominado por una red neuronal inspirada en imágenes de tractografía

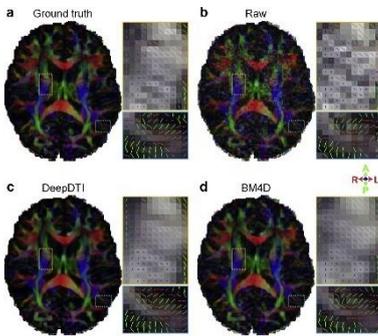
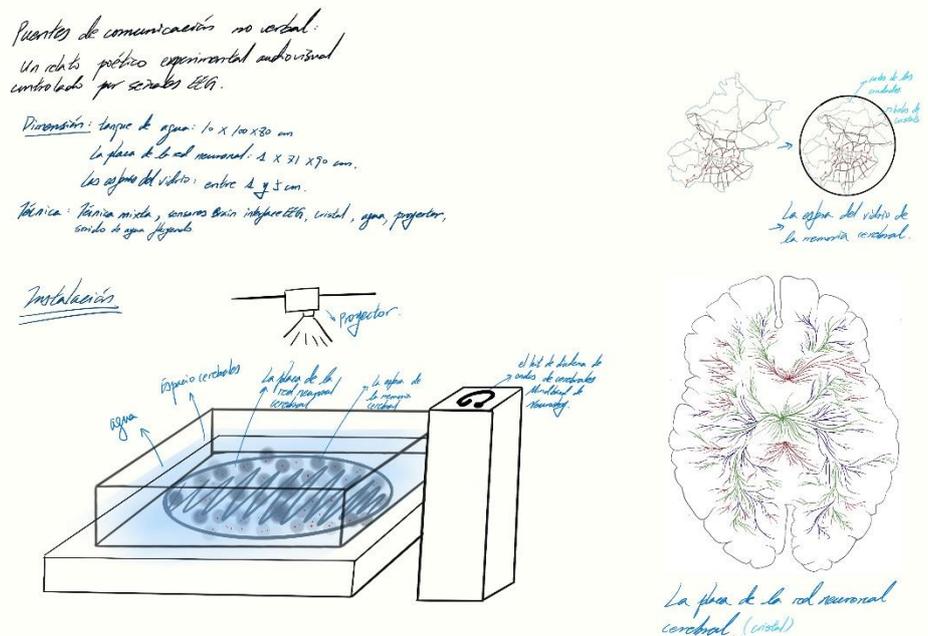


Fig. 31 DeepDTI: High-fidelity six-direction diffusion tensor imaging using deep learning. (Qiyuan Tian, 2020)

por tensor de difusión (DTI)⁸ obtenidas de resonancias magnéticas (MRI)⁹. Basándome en la investigación relacionada con las imágenes DTI, diseñaré la forma de la red neuronal. Utilizaré impresión UV para imprimir el dibujo diseñado de la red neuronal y corte láser según los diagramas CAD para crear esta sección transversal. Esta placa de la red neuronal se colocará en un tanque de vidrio lleno de agua, simulando el espacio cerebral. La idea de llenar el tanque con agua se basa en el hecho de que el cerebro es el órgano con mayor contenido de agua, alcanzando un 86%.

La segunda parte se refiere a la memoria. Se representará mediante esferas de cristal de diferentes tamaños, en las cuales se pintarán metafóricamente (no con precisión milimétrica y topográfica) las rutas de las ciudades donde viven las personas, es decir, sus trayectorias de vida diaria. Diferentes esferas de memoria representarán distintos entornos y espacios de vida. Estas esferas se reunirán juntas, formando parte del espacio de simulación cerebral. Los espectadores podrán interactuar con las ciudades en las que viven o con los entornos de otras personas. Además, las propiedades del vidrio permitirán que las características físicas de los espectadores y su entorno se reflejen y refracten en estas esferas de memoria, logrando una interacción entre las personas y su entorno.

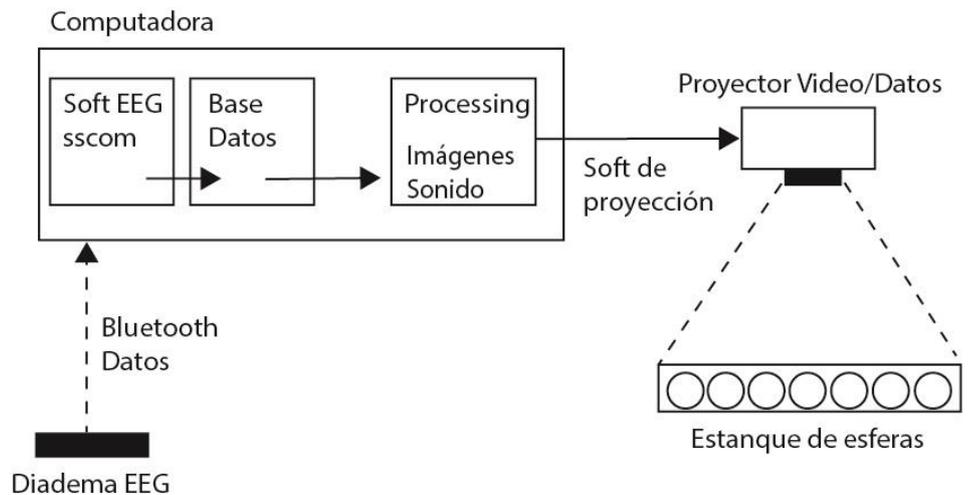
Fig. 32 Boceto de la instalación



⁸ DTI (*Diffusion Tensor Imaging*): Difusión Tensor Imagino es una tecnología en resonancia magnética que se utiliza para medir las propiedades de difusión de las moléculas de agua en los tejidos. Se utiliza principalmente para estudiar las conexiones y la estructura de la materia blanca del cerebro.

⁹ MRI (*Magnetic Resonance Imaging*): Resonancia Magnética Imagino es una tecnología de imágenes médicas utilizada principalmente para generar imágenes estructurales de la anatomía humana.

Fig. 33 Diagrama técnico y montaje



Listado técnico de materiales:

- Proyector: 仁影 (Ren ying) E28, 1920 x 1080dpi, sistema operativo Android, LCD, Zoom 1.5x, Relación de aspecto 16:9.
- Computadora MSI Katana GF66 11UG, Procesador: 11th Gen Intel(R) Core (TM) i7-11800H @ 2.30GHz 2.30 GHz, Equipo con RAM: 16.0 GB, Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64.
- Software Processing versión 4.0. Control de sonido Librería Minim.
- Diadema EEG 2.0 de Sichiray.

La tercera parte es el núcleo conceptual más importante de esta obra. A través de sensores EEG, se leerán los datos de las ondas cerebrales de las personas y luego se procesarán mediante código para controlar elementos visuales que representen diferentes estados, generando así una imagen en tiempo real. Esta imagen se proyectará en el espacio de simulación cerebral, fusionándose con el espacio cerebral y las esferas de memoria. De este modo, la actividad cerebral y el estado emocional de las personas se presentarán directamente en el espacio cerebral simulado. Además, gracias a las propiedades del vidrio, los diversos elementos de la instalación, los espectadores y el entorno interactuarán entre sí.

La configuración de los elementos visuales en la imagen generada constituye una etapa crucial de esta tercera parte. A continuación, se detalla la creación de estos elementos:

La forma de los elementos la estableceré como figuras geométricas - círculos, ya que son formas sin principio ni fin, armoniosas y equilibradas desde cualquier ángulo. Además, el movimiento circular en el universo, la forma esférica de la Tierra, y en la filosofía taoísta china¹⁰, la práctica de la medicina tradicional y la curación, todas enfatizan el concepto de "círculo". Se considera que los órganos internos del cuerpo humano están en un flujo continuo, interactuando

¹⁰ El taoísmo: es una religión tradicional china que enfatiza la armonía entre el hombre y la naturaleza y busca la elevación del alma.

mutuamente, lo que refleja la visión del cuerpo como un todo completo, un círculo perfecto. Esta es la razón por la que finalmente elegí la forma circular como el diseño de los elementos.

La configuración de los colores de los elementos se basa en la psicología del color y las emociones que los colores evocan. En cuanto a la clasificación emocional, realicé una investigación al respecto.

"[...]El padre de la psicología moderna, *Wilhelm Max Wundt*, en 1897, propuso la idea de describir las emociones en tres dimensiones: "agradable o desagradable", "activante o deprimente" y "tensión o relajación". Posteriormente, en 1954, *Harold Schlosberg* clasificó las emociones en tres dimensiones: "agradable o desagradable", "atención o rechazo" y "nivel de activación". (Sincero, 2012)

Ellos conceptualizaron las emociones en un ángulo tridimensional, sugiriendo que todos los estados emocionales están gestionados por un sistema neurofisiológico interrelacionado. Basándome en estas ideas, clasifiqué los elementos emocionales en mi creación en tres categorías. La primera es "agradable o desagradable", la segunda es "tensión o relajación" y la tercera es "nivel de activación", que incluye relajación y atención.

A continuación, basándome en el análisis y la investigación anterior, resumiré los ajustes y la producción de los diferentes elementos visuales.

a) Primera categoría: "Agradable o desagradable"

Agradable: Amarillo, naranja. Aparece esta emoción cuando los valores de Theta y Gamma son altos.

Desagradable: Azul, gris. Aparece esta emoción cuando el valor de Theta es bajo.

b) Segunda categoría: "Tensión o relajación"

Tensión: Rojo, naranja. Aparece esta emoción cuando los valores de Beta son altos.

Relajación: Amarillo, verde. Aparece esta emoción cuando los valores de Alpha y Delta son altos.

c) Tercera categoría: "Nivel de activación", que incluye atención y relajación.

Atención: Rojo, naranja, amarillo.

Relajación: Amarillo, verde.

En esta categoría, dado que el dispositivo EEG ya tiene algoritmos de datos para la atención y la relajación, no se señalarán por separado. Además, el grado de relajación en esta categoría coincide con el de la segunda categoría, por lo que se utilizarán directamente los datos de relajación de la segunda categoría. (Andrew J. Elliot, 2014)

Estos son los resúmenes del plan de creación de este documento. En la siguiente sección, se explicará el proceso de producción del plan.

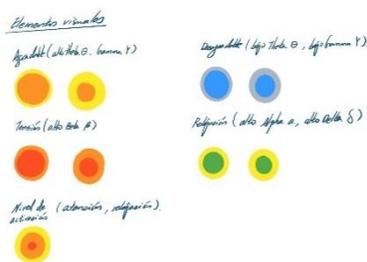


Fig. 34 Boceto de los elementos visuales.

5.2 PRODUCCIÓN

5.2.1 La fabricación de la instalación

Se divide en tres partes, la primera es el diseño y la producción del espacio de simulación cerebral, la segunda es la producción de la esfera de la memoria cerebral, la tercera es la producción de los elementos visuales y la cuarta es escritura del código de procesamiento.

a) Diseño y la producción del espacio de simulación cerebral

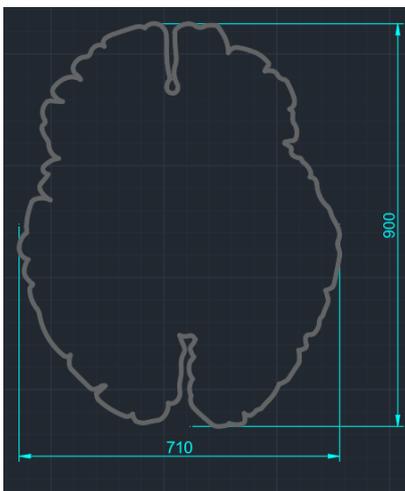


Fig. 35 Dibujo CAD del contorno del cerebro.

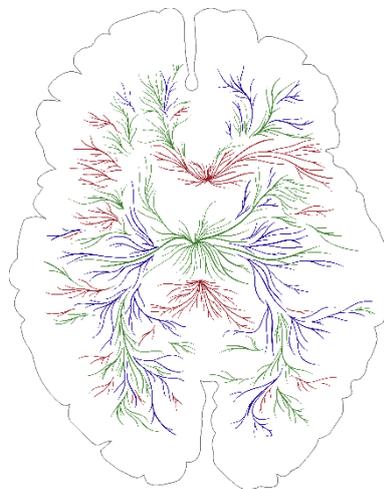


Fig. 36 Dibujo de la red neuronal cerebral.



Fig. 37 La placa de la red neuronal cerebral hecha.

Aquí se incluyen la sección de la placa de la red neuronal cerebral y la fabricación del tanque de agua. El tanque de agua tiene dimensiones de 10 cm × 100 cm × 80 cm y está hecho de vidrio con un grosor de 1 cm. La placa de la red neuronal cerebral tiene unas dimensiones de 1 cm × 90 cm × 71 cm. Su diseño se realiza en *Procreate*, dibujando la imagen interna de la red neuronal, y luego se imprime con tecnología UV sobre una placa de vidrio. Posteriormente, se utiliza software CAD para dibujar el contorno externo del mapa cerebral, lo cual se usa para cortar la placa de acrílico.

b) Producción de la esfera de la memoria cerebral

Fig. 38 Las esferas de la memoria cerebral, hechas de cristal, cantidad: 1800 piezas de unos tamaños entre 1.4 y 6 cm.



Se utilizan esferas de cristal de diferentes tamaños para representar diferentes unidades de memoria, y se pinta la trayectoria de la vida en diferentes ciudades sobre la superficie de las esferas de vidrio utilizando pintura para vidrio.

c) Producción de los elementos visuales

Se utiliza pintura china sobre papel de arroz para pintar los elementos, luego se combinan con resina para obtener un efecto transparente. Posteriormente, se escanean para obtener versiones digitales que se importan al programa Processing.



Fig. 39, 40 , 41 Elementos visuales escaneados.

d) Escritura del código de procesamiento: análisis de datos de ondas cerebrales y movimiento de elementos

En esta sección, he dividido el código principal en las siguientes partes: lectura y análisis de datos de ondas cerebrales, definición de elementos y configuración de variables, movimiento de elementos, y activación del sonido de ondas de agua. La conexión se realizará mediante Bluetooth para obtener los datos de ondas cerebrales del sensor de EEG.

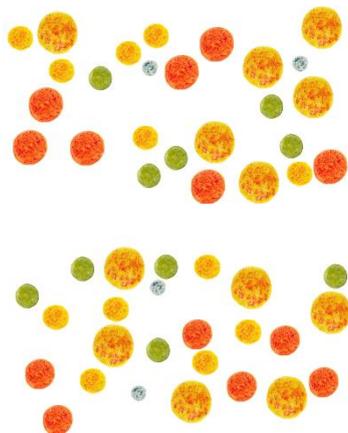


Fig. 42, 43 Capturas de pantalla en tiempo real generada a partir de datos de ondas cerebrales.

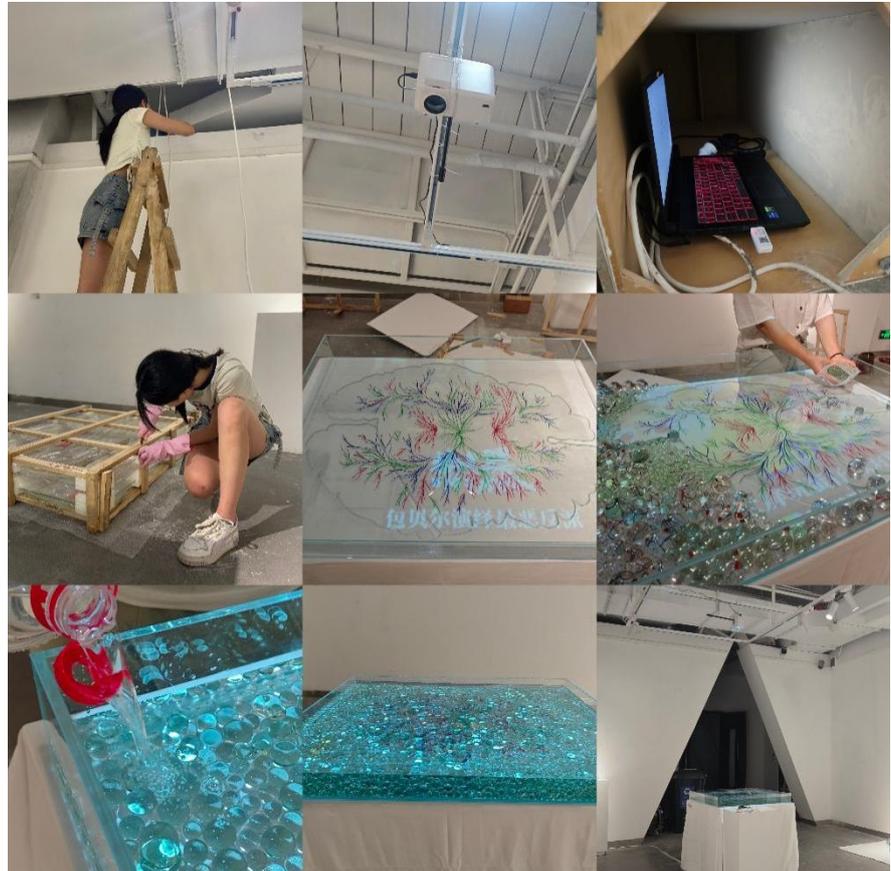
Fig. 44 Escritura del código del programa en Processing.

```
Puentes de comunicaci n no verbal

28 Minim minim;
29 AudioPlayer audioPlayer;
30
31 void setup() {
32   fullscreen();
33   println("Initializing...");
34
35   // Configurar el nombre correcto del puerto serial
36   String portName = "COM3";
37   try {
38     myPort = new Serial(this, portName, 57600);
39     println("Connected to port: " + portName);
40   } catch (Exception e) {
41     println("Error initializing the serial port: " + e.getMessage());
42   }
43
44   // Cargar imagen
45   img1 = loadImage("data/img1.png");
46   img2 = loadImage("data/img2.png");
47   img3 = loadImage("data/img3.png");
48   img4 = loadImage("data/img4.png");
49   img5 = loadImage("data/img5.png");
```

5.2.2 Montaje

Fig. 45 Proceso de montaje



5.2.3 Búsqueda de posibles colaboraciones

Por el momento, no he encontrado un socio adecuado. Me baso principalmente en mi propia investigación y experimentación, con la ayuda de tutores profesionales y asistentes de IA, para completar la creación inicial. Espero colaborar con profesionales del campo en futuras investigaciones para desarrollar aún más este proyecto.

5.2.4 Resultado final

La producción final del trabajo se puede consultar en este enlace de video:
<https://youtu.be/ctz6SieOOC4?si=jhaG6qLivl2cQ2hs>

La imagen muestra el efecto de cada componente instalado: el espacio de simulación cerebral, las esferas de la memoria cerebral, el video experimental generado por EEG y el proyector.

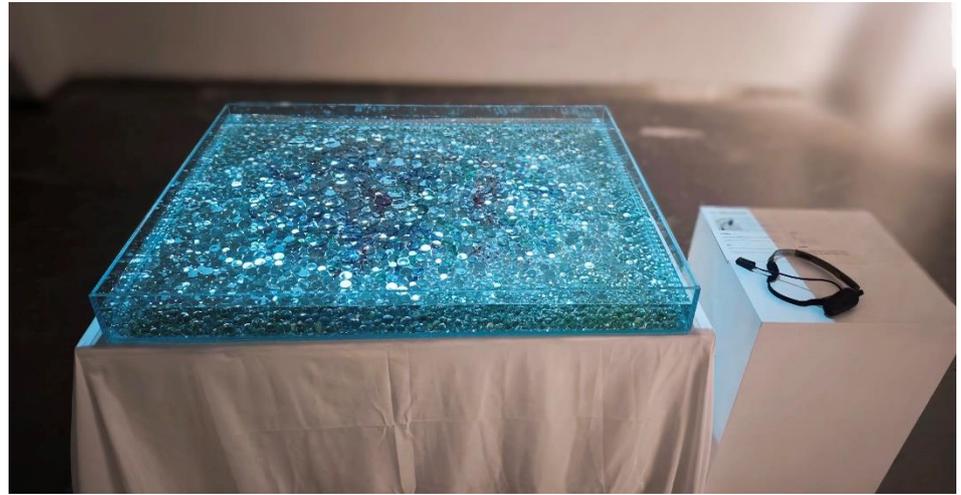
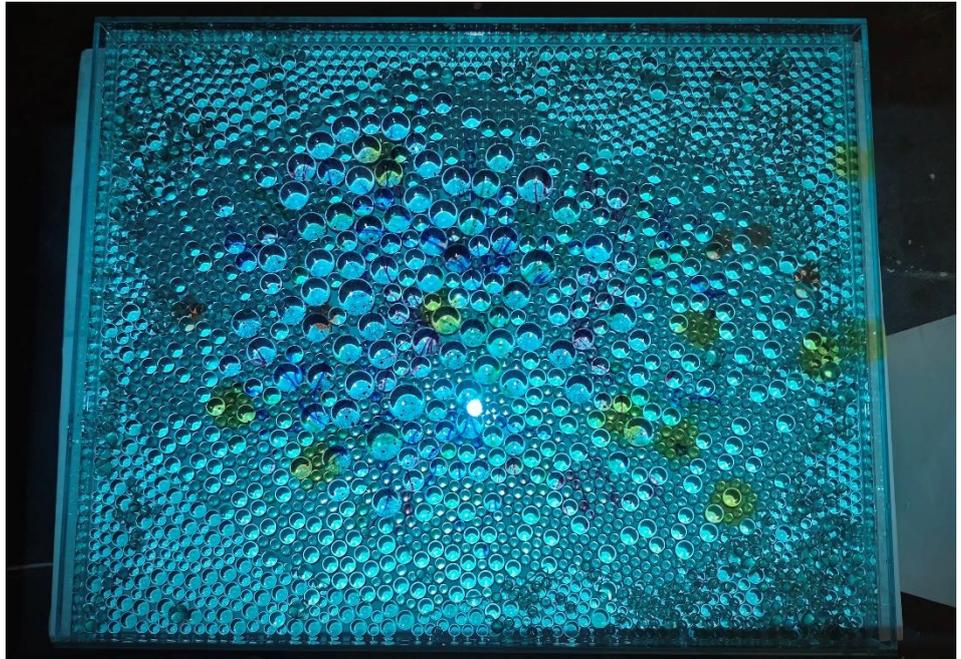


Fig. 46, 47, 48 Propuesta expositiva de la instalación.



5.3. POSTPRODUCCIÓN

5.3.1 Prueba de rendimiento y usuarios

La imagen presenta el efecto de la interacción entre los espectadores, el entorno y la obra.



Fig. 49, 50 Fotos de la instalación interactuando con el público.

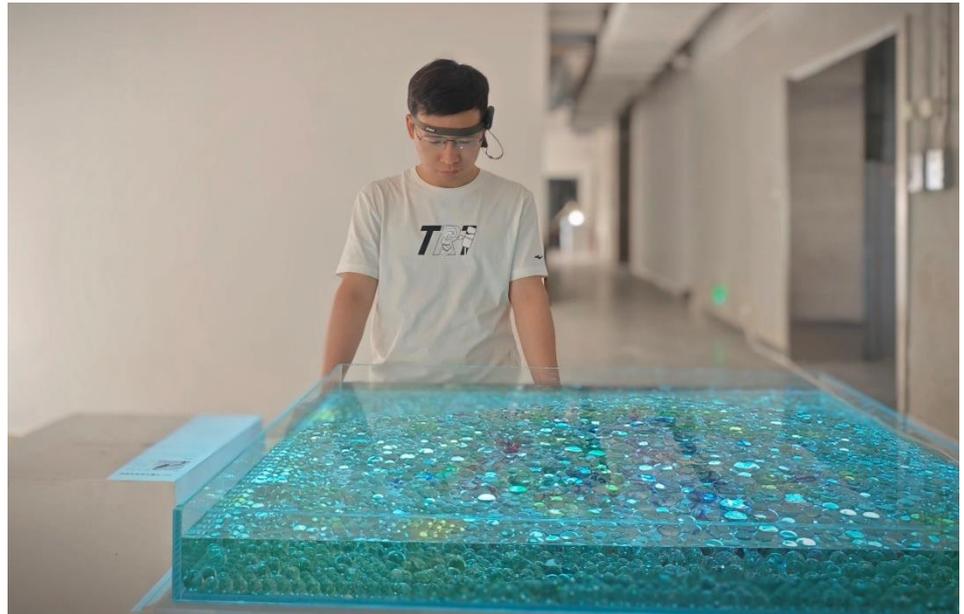


Fig. 51 Guía de uso del dispositivo EEG.

Guía de uso del dispositivo EEG



Paso 1. Limpiar la piel
Usa una toallita húmeda para limpiar la frente y el lóbulo de la oreja izquierda.

Paso 2. Encender el dispositivo
Encendiendo el interruptor del sensor, escucharás un "bip" y la luz azul indicará que el dispositivo está encendido.
Coloca con cuidado el dispositivo sobre la cabeza, asegurando que los electrodos estén en contacto con la frente y sujeta bien la parte del lóbulo de la oreja para asegurar la correcta recepción de los datos de las ondas cerebrales.

Paso 3. Finalizar el uso
Al terminar la sesión, retira con cuidado el dispositivo de la cabeza y apaga el interruptor de encendido. Limpia los electrodos con una toallita húmeda y guarda el dispositivo.

¡Atención!

- Cuando el dispositivo no está encendido, la imagen mostrada será de datos iniciales generados. Una vez que el dispositivo esté correctamente encendido y colocado, la imagen se generará en función de los datos de las ondas cerebrales en tiempo real.
- Si el dispositivo emite un "bip" continuo después de encenderlo, indica que la batería está baja. Apaga el dispositivo y, si es necesario, contacta con el autor para participar en la experiencia.

XIN LIN
Imágenes de Resonancia, 2024
Instalación interactiva
Técnicas mixtas
Materiales: agua, vidrios, dispositivo de EEG
Dimensiones: Tanque de vidrio de 10-100-80 cm.
placa de vidrio de 1-90-71 cm.
esferas de vidrio con un diámetro de entre 1.4 y 5 cm.

Este trabajo explora la comunicación y la interacción internas del ser humano, tomando como punto de partida el cerebro como núcleo. A través de un dispositivo de EEG, se generan imágenes a partir de los datos en tiempo real leídos por el dispositivo, que luego se proyectan en una instalación que simula el espacio cerebral. De esta manera, se muestran las actividades cerebrales y los cambios emocionales, así como las interacciones entre personas, entre personas y dispositivos, entre dispositivos y el entorno, y entre el entorno y las personas.

Al final

Se invita a dejar sus comentarios y sugerencias, esto ayudará en la mejora continua de esta obra. Esperamos con ansias sus fotos y videos de la experiencia. Puede enviarnos al autor para que formen parte de la documentación posterior.

Email: xin3jya@gmail.com

A partir de los comentarios del público, más de cuatro personas probaron esta instalación. He resumido los siguientes puntos:

En primer lugar, desde el punto de vista visual, el efecto de presentación es muy bonito y sorprendente. Algunos espectadores han comentado que estas esferas de vidrio pueden entenderse como una materialización infinita de las emociones humanas. Cada esfera es como un universo individual, y el universo

dentro de la esfera se asemeja a neuronas, constituyendo un paisaje de imaginación humana con posibilidades infinitas.

En cuanto a las sugerencias visuales, algunos espectadores propusieron que el movimiento de los elementos visuales generadas podría simular efectos de partículas, similar a la forma del ferrofluido, para mostrar la actividad cerebral de manera más impactante. Además, se podría mejorar el efecto de iluminación, como el efecto ondulante de la aurora boreal. También, algunos sugirieron que si la instalación fuera más grande, sería aún más impresionante. Al mismo tiempo, algunos espectadores señalaron que, sin la explicación verbal del autor, es difícil entender el concepto que transmite la obra. Por lo tanto, además de la guía de uso del dispositivo EEG y la descripción de la obra, se podrían añadir ejemplos en vídeo o contar con personal de presentación para ayudar a los espectadores a interactuar con la obra.

Desde el punto de vista de un estudiante investigador de modelos lingüísticos, la clasificación emocional podría investigarse más a fondo, dado que la precisión de la presentación visual actual no es suficiente. Además, se podría ampliar más la variabilidad en la presentación de la conversión de la actividad cerebral y las emociones a visualización. También se podría considerar la generación de visualización de una sola etapa de “extremo a extremo”, en vez de realizar una clasificación emocional antes de generar la imagen. Por último, se podrían incorporar elementos de otros módulos, como el texto, entre otros.

6. CONCLUSIONES

Esta tesis aborda, desde la perspectiva de la comunicación e interacción humanas, un estudio teórico sobre el cerebro, la expresión lingüística, la tecnología de sensores EEG y las teorías relacionadas con el arte y la tecnología.

A partir del análisis en la investigación, se ha encontrado que la psicolingüística y la neurolingüística, como ramas interdisciplinarias de la lingüística, están estrechamente relacionadas con el cerebro. La primera se centra en el estado interno del cerebro, profundizando en la comprensión de las funciones de diferentes áreas cerebrales con diferentes lenguas, mientras que la segunda se enfoca en los mecanismos neurofisiológicos del lenguaje, la percepción y comprensión, el procesamiento del lenguaje, etc., para entender el papel del lenguaje en las emociones y la cognición.

La afasia es un ejemplo clásico de problemas en las áreas funcionales del lenguaje en el cerebro, y su recuperación requiere un largo tiempo. Esto ha llevado a muchos investigadores a diseñar y mejorar continuamente métodos de tratamiento desde diferentes visiones para distintos tipos de trastornos del lenguaje, como la Terapia de Entonación Melódica, el Entrenamiento del Compañero de Comunicación, entre ellos, incluyendo el uso de tecnologías informáticas como asistencia en el tratamiento.

La interfaz cerebro-computadora EEG es una tecnología de escaneo del sistema nervioso central, y debido a su facilidad de uso y portabilidad ha sido de gran ayuda en los tratamientos. Además, con el rápido desarrollo de la tecnología en los últimos años, han surgido inventos impresionantes, como la telepatía del Neuralink. Se puede ver que el desarrollo futuro de EEG es muy prometedor. Por otra parte, las ondas cerebrales se clasifican por la amplitud y frecuencia de los sensores EEG, incluyendo las ondas δ , θ , α , β y γ . Cada tipo de onda corresponde a diferentes estados del cerebro. Por ejemplo, la onda Delta corresponde al estado de fatiga cerebral, la onda Theta al estado de relajación y concentración, la onda Alpha a la relajación y pensamiento profundo, la onda Beta a la tensión, y la onda Gamma a la alta concentración.

En la parte del estudio sobre el análisis del arte, se puede observar que los artistas que crean obras combinando tecnología son muy expresivos y tienen una fuerte interactividad para transmitir los conceptos de sus obras. Tienen un gran interés en los datos fisiológicos humanos y crean utilizando diferentes tipos de sensores y medios científicos, permitiendo a la audiencia interactuar con sus propios datos a través de la conversión tecnológica. La presentación de estas obras tiene una estructura común que puede componerse de tres partes principales: la primera es una gran pantalla, monitor o proyección para la presentación visual, la segunda es el sensor para recoger datos, como un sensor de ondas cerebrales, y la tercera es el soporte técnico, como inteligencia artificial, generación de gráficos en tiempo real, reconocimiento de voz, generación de texto y sonido, entre otros. A través del uso de estos sensores y

datos fisiológicos humanos, se abordan diferentes temas conceptuales. Algunos artistas, como Hayoon, debido a su profesión como neurocirujano, combinan líneas, puntos, símbolos y otros elementos con mapas para crear arte cerebral.

Basado en estos entendimientos, esta obra explora, a través de la creación artística, el concepto de un puente de comunicación no verbal. La obra utiliza la generación de video en tiempo real y la presentación de arte instalativo para establecer una interacción entre el público y la obra, la obra y el entorno, y el entorno y el público.

Además, la obra experimenta con técnicas y materiales de múltiples disciplinas, como pintura, escultura, audiovisual y tecnología, incluyendo sensores EEG, vidrio, cerámica, motores, medios de pintura china, resina y acrílico etcétera, con el fin de explorar más posibilidades en la creación material y la expresión artística. Esta obra representa un primer intento de transmitir el concepto de un puente de comunicación no verbal a través del arte. Sin embargo, la profundidad de esta investigación requiere más tiempo, esfuerzo y la experiencia de profesionales de múltiples disciplinas para avanzar en una creación e implementación más profunda.

En un futuro me gustaría seguir trabajando en este ámbito de la interacción Arte, Ciencia, Tecnología y Sociedad, y seguir mi formación con estudios de máster especializados como por ejemplo del Máster de Artes Visuales y Multimedia de la UPV.

La relación del trabajo con los objetivos de desarrollo sostenible se encuentra en el anexo en formato ficha.

7. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍAS

- Andrew J. Elliot, a. M. (2014). Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans. *Annual Review of Psychology*, 65, pp. 95-120. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115035>
- 王德春(De C. ,Wang.) (1982). 心理语言学的产生和发展(El surgimiento y desarrollo de la psicolingüística). *应用心理学(Psicología Aplicada)*, pp. 39-50.
- M.-Marsel Mesulam, C. K. (2015, August). The Wernicke conundrum and the anatomy of language comprehension in primary progressive aphasia. *Brain*, 138(8), 2423–2437. <https://doi.org/10.1093/brain/awv154>
- Mamchur, J. P. (2023). State of the Art on Brain-Computer Interface Technology. (Y. Tran, Ed.) *Sensors 2023*, 23, 6001, 23(13 (6001)), pp. 02-28. <https://doi.org/10.3390/s23136001>
- Mile Vuković, T. M. (2022, February 21). Current methods in treatment of aphasia (Métodos actuales en el tratamiento de la afasia). *Studies in Psychology (Estudios de Psicología)*, pp. 1-29. doi:10.1080/02109395.2021.2015225
- Nam Soon Cho, M. S.-H. (2009, March 20). Brain Lesions in Conduction Aphasia. *Brain & NeuroRehabilitation*, 2(1), pp. 85-90.
- Qiyuan Tian, B. B. (2020). DeepDTI: High-fidelity six-direction diffusion tensor imaging using deep learning. *NeuroImage*, 219, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117017>
- Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement Science Review*, 2(2), pp. 1-11.
- Varo, M. J. (2006). Lenguaje y cerebro: conexiones entre neurolingüística y psicolingüística. V. M. coord. por Beatriz Gallardo Paúl (Ed.) *Investigación e intervención en patologías del lenguaje*, 1, pp. 107-119.

WEBGRAFÍA

ARTÍCULOS ONLINE

- Arsenal Contemporary. (2021, 8 de diciembre). Rafael Lozano-Hemmer. *Cercanía — Arsenal Contemporary Art*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde <https://www.arsenalcontemporary.com/mtl/residency/detail/rafael-lozano-hemmer>
- Art 21. (s. f.). Rafael Lozano-Hemmer. *Art 21*. Recuperado el 20 de febrero de 2024 de <https://art21.org/artist/rafael-lozano-hemmer/>
- Dorn, L. (2019, September 16). Changes in Musician’s Generated Brain Activity Visualized in Real Time While He’s Performing Onstage. *Laughing Squid* Recuperado el 21 de febrero de 2024, desde

<https://laughingsquid.com/visualization-of-changes-in-musician-brain-activity/>.

Horsley, J. (2020, October 23). Canadian musician Angie C just used a brainwave-reader to play the monster analogue synth TONTO with her mind. *MusicRadar*. *MusicRadar*. Recuperado el 21 de febrero de 2024, desde <https://www.musicradar.com/news/canadian-musician-angie-c-just-used-a-brainwave-reader-to-play-the-monster-analogue-synth-tonto-with-her-mind>.

李华山(Hua S., L.) (2022, 16 de agosto). 让我们的梦境作一幅画 (Pintemos nuestros sueños). *Tsinghua University News*. Recuperado el 16 de febrero de 2024, desde <https://www.tsinghua.edu.cn/info/1182/97262.htm>.

Kemper Museum of Contemporary Art. (2021). Rafael Lozano-Hemmer: Pulse Topology. *Kemperart*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde <https://www.kemperart.org/exhibition/rafael-lozano-hemmer-pulse-topology>.

疏明, 顾勇 (Ming, S., & Yong, Gu). (s.f.). 蓝牙套件 (Kit de EEG de ondas cerebrales con Bluetooth). 思知瑞产品资料库 (*Base de datos de productos de Sichiray*). Wuxi (无锡), China. Recuperado el 21 de febrero de 2024, desde <https://sichiray-tech.yuque.com/dm0eyv/chanpin/tltchx0g0kp2tysq>

National Music Centre Amplify. (2021, February 22). The original New Timbral Orchestra. *Amplify*. Recuperado el 21 de febrero de 2024, desde <https://amplify.nmc.ca/explore/the-original-new-timbral-orchestra/>.

Neuroelectrics. (2024, February 5). Hans Berger: From Exploring Telepathy to Pioneering Electroencephalography. *Neuroelectrics Blog - Latest News About EEG & Brain Stimulation*. Recuperado el 21 de Febrero de 2024, desde <https://www.neuroelectrics.com/blog/2024/01/02/hansberger-from-exploring-telepathy-to-pioneering-electroencephalography/>.

Olson, P. (2024, January 30). Elon, Please Keep the Internet Out of Our Brains. *Bloomberg*. Recuperado el 16 de febrero de 2024 Recuperado el 21 de febrero de 2024, desde <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2024-01-30/elon-musk-s-neuralink-telepathy-implant-will-connect-brains-to-the-internet>

Porsche Christophorus. (2022, February). The Art in His Head. *Newsroom.porsche*. Recuperado el 21 de febrero de 2024, desde <https://newsroom.porsche.com/christophorus/en/2022/403/ha-yoon-mindmaps.html>

Pritchett, G. (2021, November 22). Pulse Topology: A Conversation with Artist Rafael Lozano-Hemmer. *MIKcExplore*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde <https://mikcexplore.com/home/2021/11/8/pulse-topology-a-conversation-with-artist-rafael-lozano-hemmer>.

- Sanders, R. (2023, August 15). Brain recordings capture musicality of speech — with help from Pink Floyd. *Berkeley News*. Recuperado el 16 de febrero de 2024, desde <https://news.berkeley.edu/2023/08/15/releases-20230811/>.
- Sincero, S. M. (2012, October 10). Categorization of Emotions. *Explorable.com* Recuperado el 1 de marzo de 2024, desde <https://explorable.com/categorization-of-emotions>.
- Sichiray(s.f.) 脑电波传感器(sensor de ondas cerebrales EEG). *Sichiray*. Recuperado el 2 de marzo de 2024, desde <https://www.sichiray.com/eeg>

WEB REFERENCIALES

- Antimodular Research. (s. f.). *Rafael Lozano-Hemmer - Encode/Decode*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde Rafael Lozano-Hemmer: <https://www.lozano-hemmer.com/encodedecode.php>
- Antimodular Research. (s. f.). *Rafael Lozano-Hemmer - Zoom Pavilion*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde Rafael Lozano-Hemmer: https://www.lozano-hemmer.com/zoom_pavilion.php
- Moben. (October 12, 2018). *Brain Cloud (by Brain Factory)*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde Benayoun: <https://benayoun.com/moben/zh-hans/2018/01/12/brain-cloud-by-brain-factory/>
- Moben. (October 13, 2021). *Dialog, the First Aliens' Encounter*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde Benayoun: <https://benayoun.com/moben/zh-hans/2021/10/13/dialog-the-first-aliens-encounter/>
- Ouchhh. (2018). *Say superstrings_ A Real-Time generative installation performance of electrical activity in the musician's brain*. Recuperado el 21 de febrero de 2024, desde Ouchhh: https://ouchhh.tv/SAY-SUPERSTRINGS_A-Real-Time-Generative-Installation-Performance-Of-1
- Refik Anadol Studio. (May 22, 2020). *Melting Memories - Refik Anadol Studio*. Recuperado el 20 de febrero de 2024, desde Refik Anadol Studio: <https://refikanadolstudio.com/projects/melting-memories/>

VIDEOGRAFÍAS

- Angie C. (2020, 16 de diciembre). *Angie C - Brainwave-Controlled TONTO* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=fY7K3QMqS4>
- Artdone. (2016, 16 de junio). *Rafael Lozano-Hemmer & Krzysztof Wodiczko "Zoom Pavilion" 2015* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ENWBRsvn7qA>
- Estrella, M. (2024, 21 de junio). *Rafael Lozano-Hemmer - 'Encode Decode' at Arsenal Contemporary Montreal* [Video]. Vimeo.

- <https://vimeo.com/491273274>
- hkgarden. (2022, 22 de mayo). *Introduction to DialoG, interactive installation by Refik Anadol and Maurice Benayoun (360 video)* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Ofgtn8zXGwk>
- Kemper Museum. (2021, 21 de diciembre). *Rafael Lozano-Hemmer on Pulse Topology* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qNNTN0vpFAM>
- Maurice Benayoun. (2018, 14 de marzo). *The Brain Factory (updated video)*. [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=GrLA9kaWBpc>
- Ouchhh. (2024, 21 de junio). „SAY_SUPERSTRINGS “/ A Real-Time Generative Installation Performance of Electrical Activity in The Musician’s Brain! [Video]. Vimeo. <https://vimeo.com/298695684>
- Sørlandets Kunstmuseum. (2020, 8 de junio). *Melting Memories by Refik Anadol (2018)* [Video]. YouTube. https://youtu.be/4_mfH6VgEg0?feature=shared

8. ÍNDICE DE IMÁGENES

Fig. 1 Diagrama de Gantt	8
Fig. 2: Evolución del área de Wernicke. (A) De un libro de texto de Dejerine (Dejerine and Dejerine-Klumpke, 1895). En esta figura, 'A' designa el centro de Wernicke para las imágenes auditivas de las palabras, 'B' designa el centro de Broca para las imágenes motoras de la articulación, y 'Pc' designa el centro para las imágenes visuales de las palabras. (B) De Penfield y Roberts (1959). (C) De Geschwind (1972). (D) Vistas lateral y ventral del hemisferio izquierdo que muestran una representación compuesta del área de Wernicke (W, en verde). ag = surco angular; fg = surco fusiforme; ifg = surco frontal inferior; itg = surco temporal inferior; mtg = surco temporal medio; phg = surco parahipocampal; smg = surco supramarginal; stg = surco temporal superior; tp = polo temporal del ATL. (M.-Marsel Mesulam, 2015)..	10
Fig. 3 Las lesiones cerebrales en pacientes con accidente cerebrovascular que presentan afasia de conducción. Los números dentro de la figura representan el número de pacientes: (A) Hemorragia intracraneal (HIC) en el lóbulo parietal inferior izquierdo, (B) HIC en los ganglios basales izquierdos, (C) Infarto cerebral en la corona radiada izquierda, (D) HIC en el lóbulo insular y temporal superior izquierdo, (E, F) Infarto cerebral en el lóbulo insular y temporal superior izquierdo, (G) Infarto cerebral en los ganglios basales y la corona radiada izquierda, (H) Infarto cerebral en el lóbulo parietal inferior y temporal superior izquierdo, (I) HIC en el lóbulo parietal inferior y temporal superior derecho. (Nam Soon Cho, 2009).....	12
Fig. 4 Janis Peksa y Dmytro Mamchur: State of the Art on Brain-Computer Interface Technology, El principio de funcionamiento de BCI, 2023	14
Fig. 5 Janis Peksa y Dmytro Mamchur: State of the Art on Brain-Computer Interface Technology,	16
Fig. 6, 7 Neuralink: El chip cerebral de Neuralink está funcionando en un humano, 2024.....	17
Fig. 8 Robert Sanders: Las grabaciones cerebrales capturan la musicalidad del habla — con la ayuda de Pink Floyd, 2023. Berkeley News.	17
Fig. 9 Rafael Lozano-Hemmer : <i>Encoder / Décoder</i> , 2020. Instalación interactiva: proyector, sensor 3D, computadora con software escrito en Touch Designer. Dimensiones: dos paredes de 22 x 50 pies. Dimensiones: variable (pantalla de 75+ pulgadas, 4K).....	18
Fig. 10 Rafael Lozano-Hemmer : <i>Pulse Topology</i> , 2020. Instalación interactiva: Sensores de pulso, luces LED, computadora con software personalizado. Dimensiones: Variable, adaptable al espacio de exhibición.....	19

Fig. 11 Rafael Lozano-Hemmer : <i>Zoom Pavilion</i> , 2015. Instalación interactiva: Proyector, cámaras infrarrojas, computadoras, iluminadores infrarrojos, switch Ethernet, extensores HDMI y USB. Dimensiones: Pantalla de tamaño variable, al menos 8 m de ancho por 6 m de alto por lado.....	20
Fig. 12, 13. Maurice Benayoun : <i>The Brain Cloud</i> , 2018. Instalación interactiva: sensores, proyector, computadora con software personalizado, interfaz cerebro-computadora (BCI) Dimensiones: Variable, adaptada al espacio de exhibición.	21
Fig. 14,15 Refik Anadol and Maurice Benayoun : <i>Dialog , The first Aliens'encounter</i> , 2021.	22
Fig. 16 Refik Anadol: <i>Melting Memories</i> , 2018. Instalación interactiva de arte público: sensores, proyectores o pantallas LED, computadora con software personalizado. Dimensiones: Adaptadas al lugar (generalmente 2-4 m por pantalla) Ubicación: Galería Pilevneli.....	23
Fig. 17 Angie Coombes con TONTO en el National Music Centre, Calgary, Canadá. Crédito de la imagen: Facebook/ National Music Centre....	23
Fig. 18 Ouchhh New Media Agency:	24
Fig. 19 Ha Yoon : <i>Nucleus and Universe</i> , 2022.....	25
Fig. 20 Mapa conceptual de la idea	27
Fig. 21 el kit de diadema de ondas cerebrales 2.0 de <i>Sichiray</i>	28
Fig. 22 el kit de diadema de ondas cerebrales 2.0 de <i>Sichiray</i>	29
Fig. 23 Software de depuración para leer formas de onda de la actividad cerebral.....	29
Fig. 24 Software de depuración para leer formas de onda de la actividad cerebral.....	30
Fig. 25 Código para conectar al puerto serial.	30
Fig. 26, 27, 28 Pruebas de materiales.....	31
Fig. 29, 30 Xin Lin: <i>Espacio de fantasía Cerebral Cósmica</i> , 2024	32
Fig. 31 DeepDTI: High-fidelity six-direction diffusion tensor imaging using deep learning. (Qiyuan Tian, 2020)	33
Fig. 32 Boceto de la instalación	33
Fig. 33 Diagrama técnico y montaje	34
Fig. 34 Boceto de los elementos visuales.	35
Fig. 35 Dibujo CAD del contorno del cerebro.	36
Fig. 36 Dibujo de la red neuronal cerebral.	36
Fig. 37 La placa de la red neuronal cerebral hecha.	36
Fig. 38 Las esferas de la memoria cerebral, hechas de cristal, cantidad: 1800 piezas de unos tamaños entre 1.4 y 6 cm.	36
Fig. 39, 40 , 41 Elementos visuales escaneados.	37
Fig. 42, 43 Capturas de pantalla en tiempo real generada a partir de datos de ondas cerebrales.....	37
Fig. 44 Escritura del código del programa en Processing.	37

Fig. 45 Proceso de montaje	38
Fig. 46, 47, 48 Propuesta expositiva de la instalación.	39
Fig. 49, 50 Fotos de la instalación interactuando con el público.....	40
Fig. 51 Guía de uso del dispositivo EEG.	40

9. ANEXOS

9.1. ODS



**ANEXO I.
RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE
DE LA AGENDA 2030**

Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 2. Hambre cero.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 3. Salud y bienestar.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 4. Educación de calidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 5. Igualdad de género.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 10. Reducción de las desigualdades.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 12. Producción y consumo responsables.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 13. Acción por el clima.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 14. Vida submarina.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

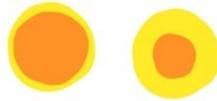


**Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster:
Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.**

Mi trabajo de TFG encuentra relaciones con la salud y el bienestar, así como con la industria, la innovación y las infraestructuras. Mi enfoque principal es fomentar la expresión y la interacción de personas con trastornos de la comunicación, por lo que aborda la investigación de trastornos del habla, afasia, neurolingüística y psicolingüística para comprender los principios básicos de la expresión lingüística. Además, investigo el EEG y el análisis de las ondas cerebrales para comprender su teoría básica, su potencial de innovación en el futuro y su aplicación en el ámbito de la creación artística.

Elementos visuales

Agradable (alto theta θ , Gamma γ)



Tensión (alto Beta β)



Nivel de activación (atención, relajación)



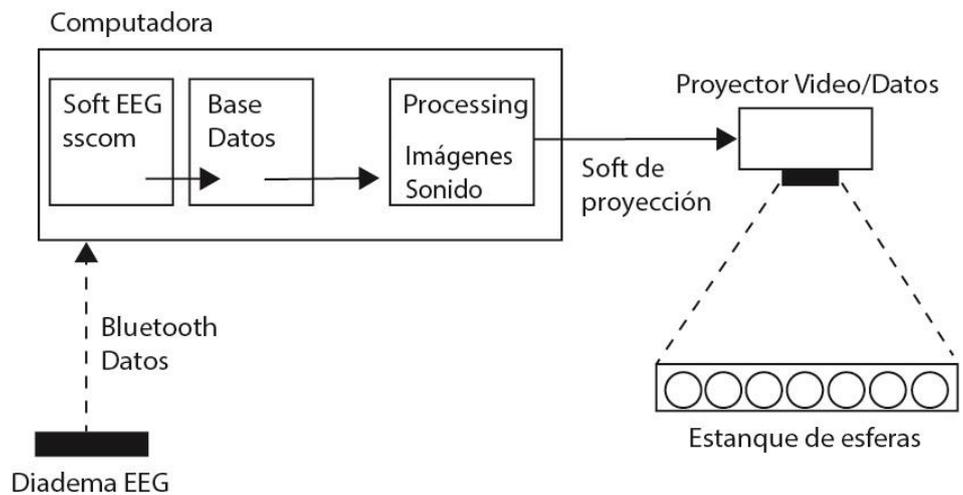
Desagradable (bajo theta θ , bajo gamma γ)



Relajación (alto Alpha α , alto Delta δ)



9.2.3. Diagrama técnico



Listado técnico de materiales:

- Proyector: 仁影 (Ren ying) E28, 1920 x 1080dpi, sistema operativo Android, LCD, Zoom 1.5x, Relación de aspecto 16:9.
- Computadora MSI Katana GF66 11UG, Procesador: 11th Gen Intel(R) Core (TM) i7-11800H @ 2.30GHz 2.30 GHz, Equipo con RAM: 16.0 GB, Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64.
- Software Processing versión 4.0. Control de sonido Librería Minim.
- Diadema EEG 2.0 de Sichiray.

9.2.4. Pruebas de materiales

9.2.4.1. Pruebas de materiales con transparencias



9.2.4.2. Experimentación con materiales del dispositivo mecánico



9.2.4.3. Experimentación con materiales de vidrio

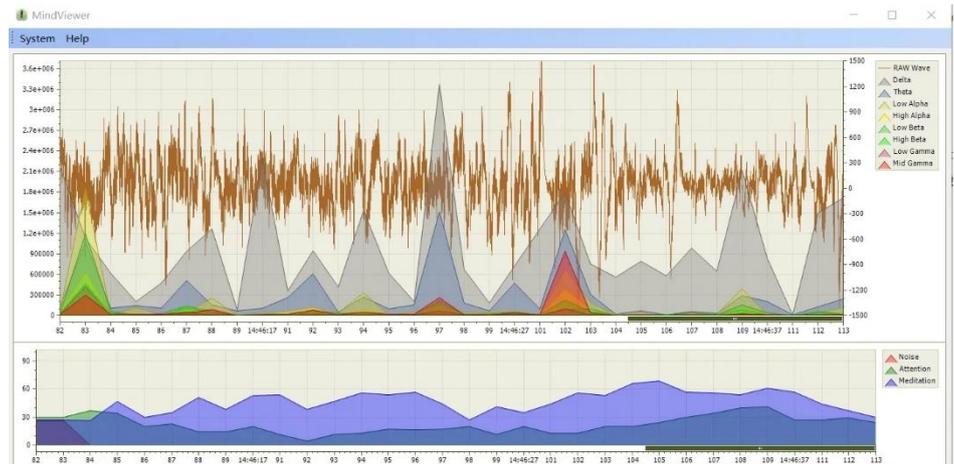


9.2.5. Pruebas de técnicas

9.2.5.1. Pruebas del kit de diadema de ondas cerebrales Mindband de Sichiray.



9.2.5.2. Prueba del software de depuración para leer formas de onda de la actividad cerebral.



9.2.5.3. Prueba del software de depuración para leer formas de onda de la actividad cerebral.

```
80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF E7 97 AA AA 04 80 02 FF E5 99 AA AA 04 80
[04:20:42.095]收←◆02 FF E7 97 AA AA 04 80 02 FF E9 95 AA AA 04 80 02 FF E9 95 AA AA 04 80 02 FF E7 97 AA AA 04 80 02 FF ED
91 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F6 86 AA AA 04 80 02 FF FC 62 AA AA 04 80 02 00 00 7D AA AA 04 80 02 00 10 6D AA
AA 04 80 02 00 21 5C AA AA 04 80 02 00 2C 51 AA AA 04 80 02 00 2E 4F AA AA 04 80 02 00 24 59 AA AA 04 80 02 00 20 5D AA AA 04
80
[04:20:42.136]收←◆02 00 21 5C AA AA 04 80 02 00 1F 5E AA AA 04 80 02 00 19 64 AA AA 04 80 02 00 14 69 AA AA 04 80 02 00 14
69 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA AA 04 80 02 00 09 74 AA AA 04 80 02 00 01 7C AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 00 02 7B AA
AA 04 80 02 00 0A 73 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA AA 04 80 02 00 13 6A AA AA 04 80 02 00 0C 71 AA AA 04 80 02 00 09 74 AA AA 04
80
[04:20:42.200]收←◆02 00 05 78 AA AA 04 80 02 FF FF 7F AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 00 07
76 AA AA 04 80 02 00 15 68 AA AA 04 80 02 00 19 64 AA AA 04 80 02 00 16 67
[04:20:42.246]收←◆AA AA 04 80 02 00 0D 70 AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 FF F6 88 AA AA 04
80 02 FF F3 8B AA AA 04 80 02 FF EF 8F AA AA 04 80 02 FF F5 89 AA AA 04 80 02 FF FE 80 AA AA 04 80 02 00 05 78 AA AA 04 80 02
00 09 74 AA AA 04 80 02 00 05 78 AA AA 04 80 02 00 07 76 AA AA 04 80 02 00 05 76 AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 FF F2
8C
[04:20:42.287]收←◆AA AA 04 80 02 FF E9 95 AA AA 04 80 02 FF ED 91 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F8 86 AA AA 04
80 02 FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02
FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF F5 89 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04 80 02 FF F7 87 AA AA 04 80 02 FF F7 87
[04:20:42.351]收←◆AA AA 04 80 02 FF F7 87 AA AA 04 80 02 FF FD 81 AA AA 04 80 02 00 01 7C AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04
80 02 00 03 7A AA AA 04 80 02 FF FD 81 AA AA 04 80 02 FF FE 80 AA AA 04 80
[04:20:42.381]收←◆02 FF FF 7F AA AA 04 80 02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF EA 94 AA AA 04 80 02 FF E8
96 AA AA 04 80 02 FF EA 94 AA AA 04 80 02 FF ED 91 AA AA 04 80 02 FF F2 8C AA AA 04 80 02 FF F6 88 AA AA 04 80 02 FF FD 81 AA
AA 04 80 02 00 0D 7D AA AA 04 80 02 00 03 7A AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04 80 02 FF FB 83 AA AA 04
80
[04:20:42.443]收←◆02 FF FC 82 AA AA 04 80 02 FF F8 86 AA AA 04 80 02 FF F3 8B AA AA 04 80 02 FF F1 8D AA AA 04 80 02 FF F6
88 AA AA 04 80 02 00 02 7B AA AA 04 80 02 00 0D 70 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA AA 04 80 02 00 0C 71 AA AA 04 80 02 00 10 6D AA
AA 04 80 02 00 11 6C AA AA 04 80 02 00 0B 72 AA AA 04 80 02 00 04 79 AA AA 04 80 02 00 0D 7D AA AA 04 80 02 00 0D 7D AA AA 04
80
[04:20:42.504]收←◆02 00 00 7D AA AA 04 80 02 FF FF 7F AA AA 04 80 02 FF F9 85 AA AA 04 80 02 FF F4 8A AA AA 04 80 02 FF F6
88 AA AA 04 80 02 FF F7 87 AA AA 04 80 02 FF F5 89 AA AA 04 80 02 FF F2 8C
```

9.2.5.4. Pruebas del código para conectar al puerto serial.

```
void setup() {
  fullscreen();
  println("Initializing...");

  // Configurar el nombre correcto del puerto serial
  String portName = "COM3";
  try {
    myPort = new Serial(this, portName, 57600);
    println("Connected to port: " + portName);
  } catch (Exception e) {
    println("Error initializing the serial port: " + e.getMessage());
  }

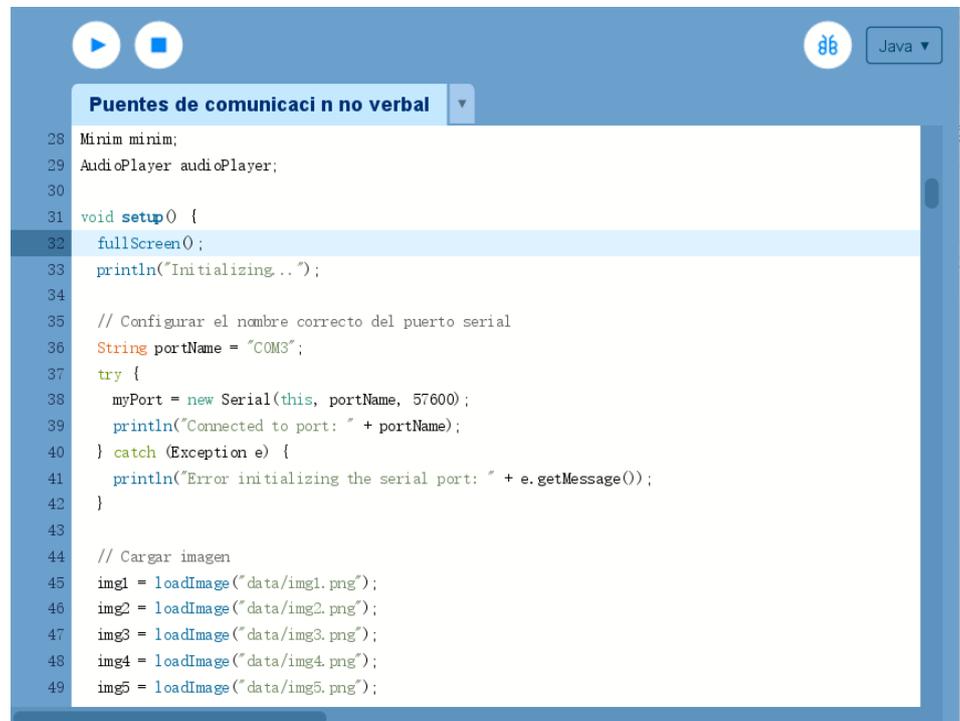
  // Cargar imagen
  img1 = loadImage("data/img1.png");
  img2 = loadImage("data/img2.png");
}
```

9.3. PRODUCCIÓN

9.3.1. Producción de los elementos visuales



9.3.2. Unas capturas de las escrituras del código de procesamiento



```
28 Minim minim;
29 AudioPlayer audioPlayer;
30
31 void setup() {
32   fullscreen();
33   println("Initializing..");
34
35   // Configurar el nombre correcto del puerto serial
36   String portName = "COM3";
37   try {
38     myPort = new Serial(this, portName, 57600);
39     println("Connected to port: " + portName);
40   } catch (Exception e) {
41     println("Error initializing the serial port: " + e.getMessage());
42   }
43
44   // Cargar imagen
45   img1 = loadImage("data/img1.png");
46   img2 = loadImage("data/img2.png");
47   img3 = loadImage("data/img3.png");
48   img4 = loadImage("data/img4.png");
49   img5 = loadImage("data/img5.png");
```

```
50
51   this.parserStatus = PARSER_STATE_SYNC;
52
53   // sonido
54   minim = new Minim(this);
55   audioPlayer = minim.loadFile("data/water.mp3");
56   if (audioPlayer == null) {
57     println("Error loading audio file");
58   } else {
59     println("Audio file loaded successfully");
60     audioPlayer.loop();
61   }
```



```
75   displayImagesBasedOnBrainWaves();
76 }
77
78 int parseByte(byte buffer) {
79   int returnValue = 0;
80   switch (this.parserStatus) {
81     case PARSER_STATE_SYNC:
82       if ((buffer & 0xFF) == PARSER_SYNC_BYTE) {
83         this.parserStatus = PARSER_STATE_SYNC_CHECK;
84       }
85       break;
86     case PARSER_STATE_SYNC_CHECK:
87       if ((buffer & 0xFF) == PARSER_SYNC_BYTE) {
88         this.parserStatus = PARSER_STATE_PAYLOAD_LENGTH;
89       } else {
90         this.parserStatus = PARSER_STATE_SYNC;
```

```
121
122 void parsePacketPayload() {
123     int i = 0;
124     int code = 0;
125     int valueBytesLength = 0;
126     while (i < payloadLength) {
127         code = payload[i++] & 0xFF;
128         if (code > MULTI_BYTE_CODE_THRESHOLD) {
129             valueBytesLength = payload[i++] & 0xFF;
130         } else {
131             valueBytesLength = 1;
132         }
133         switch (code) {
134             case PARSER_CODE_POOR_SIGNAL:
135                 signal = payload[i] & 0xFF;
136                 i += valueBytesLength;
```

```
201 // Agradable: Theta
202 int happyImgCount = (int) map((theta + midGamma) / 2, 0, 100, 5, 20);
203 for (int i = 0; i < happyImgCount; i++) {
204     float imgWidth = map((theta + midGamma) / 2, 0, 100, 15, 180);
205     float imgHeight = imgl.height * (imgWidth / imgl.width);
206     float x, y;
207     int attempts = 0;
208     do {
209         x = random(centerX, centerX + displayWidth);
210         y = random(centerY, centerY + displayHeight);
211         attempts++;
212     } while (isPositionUsed(x, y, imgWidth, imgHeight) && attempts < 100);
213     if (attempts < 100) {
214         usedPositions.add(new PVector(x, y));
215         usedWidths.add(imgWidth);
216         usedHeights.add(imgHeight);
```

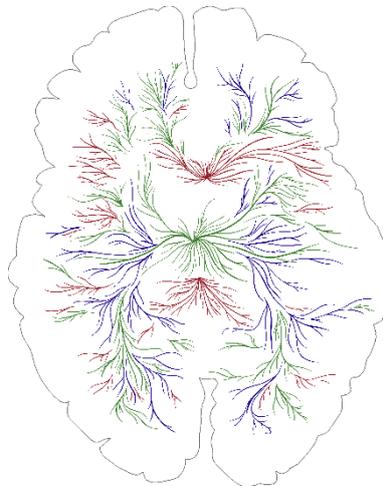
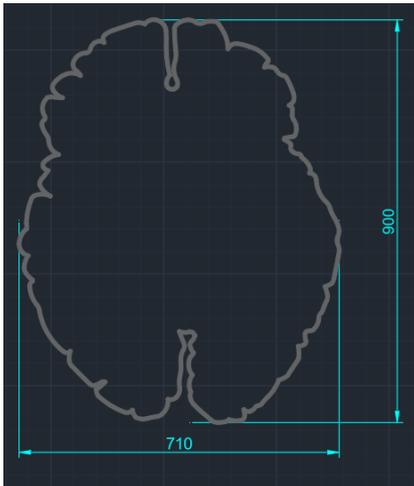
9.3.3. Capturas de pantalla en tiempo real generada a partir de datos de ondas cerebrales



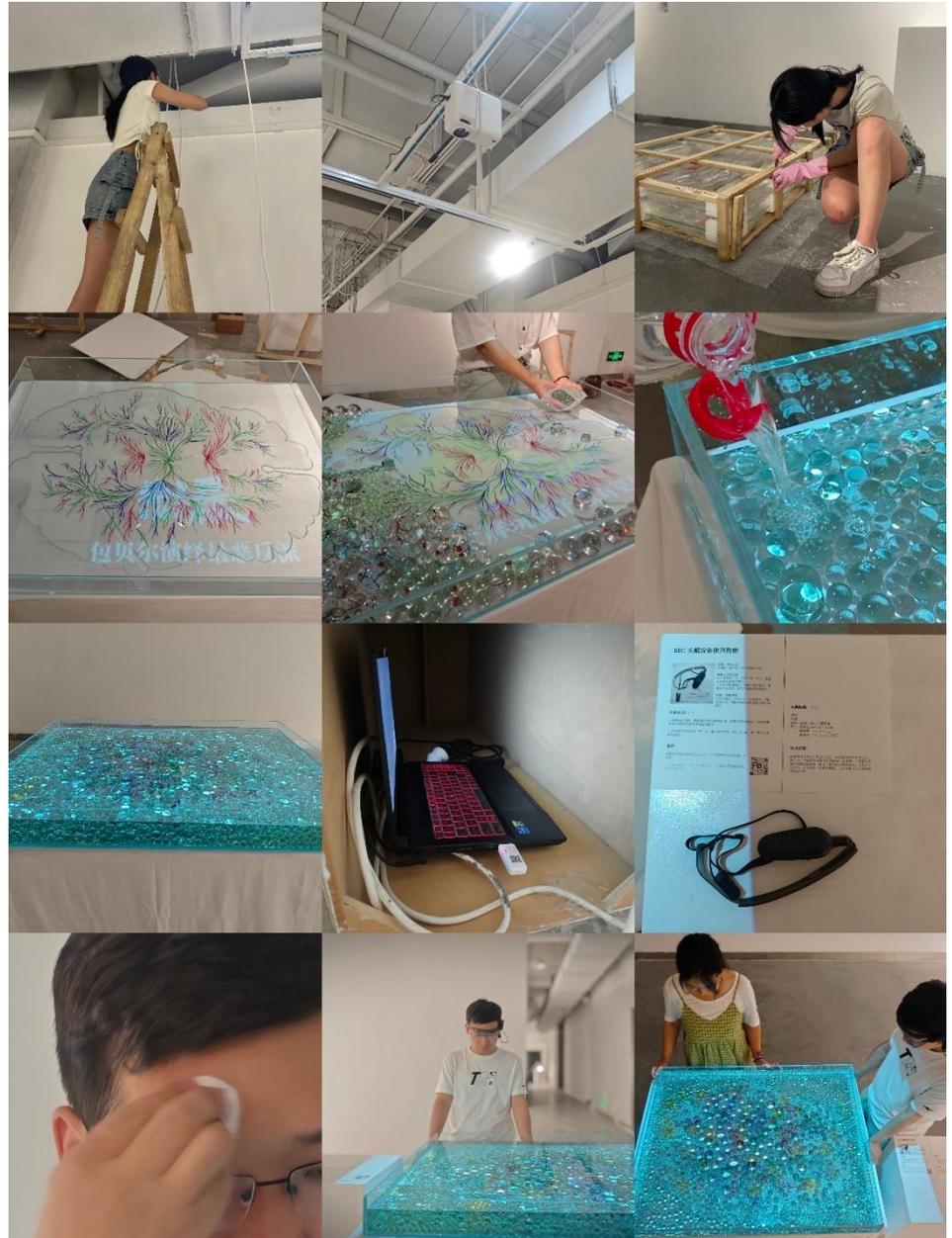
9.3.4. Producción del espacio de simulación cerebral



9.3.5. Producción de las esferas de la memoria cerebral



9.3.6. Proceso de montaje de la instalación artística



9.3.7. Guía de uso del dispositivo EEG

Guía de uso del dispositivo EEG



Paso 1. Limpiar la piel
Usa una toallita húmeda para limpiar la frente y el lóbulo de la oreja izquierda.

Paso 2. Encender el dispositivo
Enciende el interruptor del sensor, escucharás un "bip" y la luz azul indicará que el dispositivo está encendido. Coloca con cuidado el dispositivo sobre la cabeza, asegurando que los electrodos estén en contacto con la frente y sujeta bien la parte del lóbulo de la oreja para asegurar la correcta recepción de los datos de las ondas cerebrales.

Paso 3. Finalizar el uso
Al terminar la sesión, retira con cuidado el dispositivo de la cabeza y apaga el interruptor de encendido. Limpia los electrodos con una toallita húmeda y guarda el dispositivo.

¡Atención!

- Cuando el dispositivo no está encendido, la imagen mostrada será de datos iniciales generados. Una vez que el dispositivo esté correctamente encendido y colocado, la imagen se generará en función de los datos de las ondas cerebrales en tiempo real.
- Si el dispositivo emite un "bip" continuo después de encenderlo, indica que la batería está baja. Apaga el dispositivo y, si es necesario, contacta con el autor para participar en la experiencia.

XIN LIN

Imágenes de Resonancia, 2024

Instalación interactiva

Técnicas mixtas

Materiales: vidrios, dispositivo de EEG,

Dimensiones: Tanque de vidrio de 10×100×80 cm,

placa de vidrio de 1×90×71 cm,

esferas de vidrio con un diámetro de entre 1.4 y 5 cm.

Este trabajo explora la comunicación y la interacción internas del ser humano, tomando como punto de partida el cerebro como núcleo. A través de un dispositivo de EEG, se generan imágenes a partir de los datos en tiempo real leídos por el dispositivo, que luego se proyectan en una instalación que simula el espacio cerebral. De esta manera, se muestran las actividades cerebrales y los cambios emocionales, así como las interacciones entre personas, entre personas y dispositivos, entre dispositivos y el entorno, y entre el entorno y las personas.

Al final

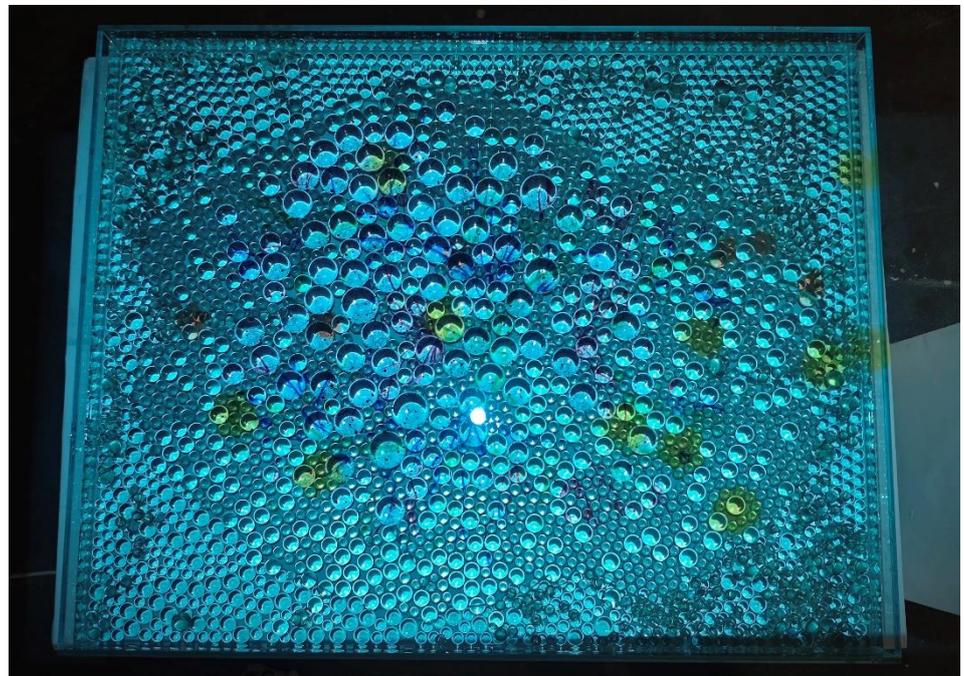
Se invita a dejar sus comentarios y sugerencias, esto ayudará en la mejora continua de esta obra. Esperamos con ansias sus fotos y videos de la experiencia. Puede enviarlos al autor para que formen parte de la documentación posterior.

Email: xin3jya@gmail.com

9.4. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

9.4.1. *Propuesta expositiva de la instalación.*

La producción final del trabajo se puede consultar en este enlace de video:
<https://youtu.be/ctz6SieOOC4?feature=shared>



9.4.2. *Detalles*



9.4.3. Prueba de rendimiento y usuarios



9.4.4. Autor revisando la instalación



9.4.5. Montaje y edición del video

