

Trabajo Fin de Grado

Bucles Neuronales

Un diálogo entre el humano y la máquina

Facultad de Bellas Artes | Universidad de Málaga

Merche Caparrós de la Calle

Tutorizado por:

Eugenio Rivas Herencia

Francisco Velasco Álvarez



FACULTAD DE BELLAS ARTES
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Bucles Neuronales: Un diálogo entre el humano y la máquina

Merche Caparrós de la Calle



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA / FACULTAD DE BELLAS ARTES

Trabajo Fin de Grado

Tutores:

Eugenio Rivas Herencia

Francisco Velasco Álvarez

Curso 2023-2024

Para Eugenio y Fran, por hacerlo posible.

Para Guillermo, por ser la única persona capaz de leerme la mente.

*Nuestra inteligencia es lo que nos hace humanos, y la IA es una extensión de esa
cualidad.*

Yann LeCun

Resumen y palabras clave

Presentamos *Bucles Neuronales: un diálogo entre el humano y la máquina* como una instalación inmersiva en la que el espectador se relaciona de primera mano en un espacio donde la Inteligencia Artificial es la protagonista. El individuo interactúa en ese espacio ocasionando cambios en su entorno, creando así un diálogo con esta tecnología: acción y reacción. La instalación consta de proyecciones, sonido, cámaras y video proyecciones, que varían según la interacción del espectador. De esta manera, creamos una línea de investigación y experimentación sobre cómo el ser humano interactúa en espacios donde la tecnología tiene un carácter protagónico.

Arte contemporáneo, interacción, Inteligencia Artificial, conciencia, bucle.

Abstract

We present Neural Loops: a dialogue between human and machine as an immersive installation in which the viewer interacts first-hand in a space where Artificial Intelligence is the protagonist. The individual interacts in that space causing changes in their environment, thus creating a dialogue with this technology: action and reaction. The installation consists of projections, sound, cameras and video projections, which vary depending on the viewer's interaction. In this way, we create a line of research and experimentation on how human beings interact in spaces where technology plays a leading role.

Contemporary art, interaction, Artificial Intelligence, awareness, loop.

Índice

1. Introducción
2. Trabajos previos
 - 2.1. Retroalimentación de un sistema: el yo consciente
 - 2.2. *Extimidad. Un espejo hacia la sociedad*
 - 2.3. *Follow the Leader*
 - 2.4. *Títeres de la sociedad: la influencia de la tecnología en el ser humano*
 - 2.5. Series fotográficas
3. Desarrollo del proyecto
 - 3.1. El bucle de la conciencia
 - 3.2. La red
 - 3.3. IA en el arte
 - 3.4. Instalaciones audiovisuales
 - 3.5. Interacción
4. Obra final
5. Alcance del proyecto y maqueta de exposición
6. Cronograma
7. Presupuesto
8. Anexo I. Imágenes del proyecto
9. Anexo II. Programación

1. Introducción

Desde pequeña me he preguntado cómo funcionaban las cosas: desde el mecanismo de un reloj hasta grandes teoremas de la física que hoy en día están sin resolver. Una curiosidad que acompañaba a una constante pregunta: ¿por qué? ¿Por qué no se caen los pájaros al volar? ¿Por qué rompen las olas del mar? ¿Por qué cambian de color las hojas de los árboles en otoño? Muchas preguntas han rondado en mi cabeza, pero una de ellas cobraba vital importancia: ¿cómo funciona el ser humano? ¿Por qué somos conscientes de nosotros mismos? ¿Qué nos hace ser quiénes somos? Sin duda, un gran número de preguntas que se siguen investigando y quizás no lleguemos a encontrar nunca una respuesta.

La popularización de la Inteligencia Artificial Generativa en estos últimos años supuso otra gran tanda de preguntas que golpearon mi mente. ¿Qué era esta nueva herramienta? ¿Una mente artificial? ¿Seremos capaces algún día de crear humanos artificiales? ¿Serán estos nuevos seres “humanos” o los llamaremos de otra manera?

Después de plantearme un sinnúmero de preguntas, hubo una que fue clave: ¿Hasta dónde llega la capacidad creativa de un cerebro artificial? Así fue cómo dimos cabida a este proyecto, donde integramos algoritmos y creatividad para explorar nuevas formas de expresión a través de la tecnología en el campo del arte.

2. Trabajos previos

El tema que tratamos en este proyecto además de las herramientas para llevarlo a cabo, las hemos implementado a lo largo de estos últimos años en diferentes trabajos en el transcurso de la carrera. En este apartado expondremos los distintos recursos y temáticas que nos han ayudado a acotar los límites del proyecto, demostrando un interés previo en la materia y su producción artística.

2.1. *Retroalimentación de un sistema: el yo consciente*

La obra titulada *Retroalimentación de un sistema: el yo consciente*, la realizamos para la asignatura Producción y Difusión de Proyectos Artísticos durante el curso 2023/24. Consta de una instalación multimedia interactiva que relaciona el ser humano con la inteligencia artificial, tratando los conceptos de autorreferencia, conciencia y bucle en un entorno interactivo; donde el espectador se relaciona con ella haciendo que varíe su forma. Buscamos crear una experiencia única inmersiva, haciendo uso de proyecciones audiovisuales, sonido ambiental, la interacción con el espectador y preguntas autorreferenciales en las que nos cuestionamos nuestra propia existencia (véase fig. 1). Mediante la combinación de herramientas tecnológicas el individuo interactúa con la IA. Dividimos la obra en tres partes: interacción, visual y sonora.

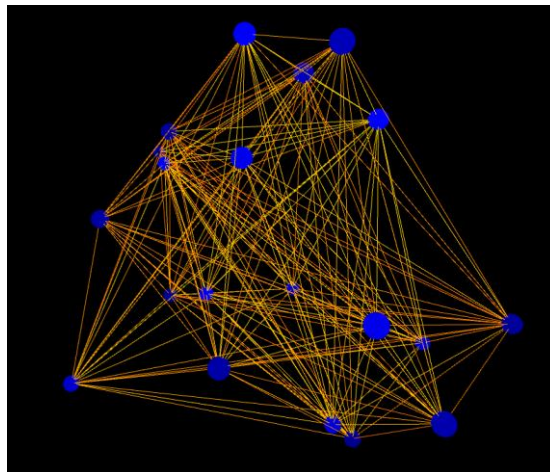


Fig. 1. Merche Caparrós (2023. *Retroalimentación de un sistema: el yo consciente*)

En el apartado de interacción, el espectador explora las dimensiones de una proyección de una simulación de red neuronal creada en 3D a través de una serie de sensores que captan la presencia de este. Sus movimientos y gestos aplican cambios al entorno. Al tener la capacidad de desplazarse dentro de la red neuronal, contempla cada conexión entre las neuronas. Las proyecciones representan de manera autorreferencial el proceso mental del ser humano, similar a cómo las conexiones neuronales de una inteligencia artificial llevan a cabo su flujo de

pensamiento. Para llevar a cabo la estética de la red, nos basamos en los dibujos de Sol Lewitt (véase fig. 2) e instalaciones como la de Tomás Saraceno (véase fig. 3) donde el concepto de malla es primordial. Este concepto lo trataremos en posteriores apartados.

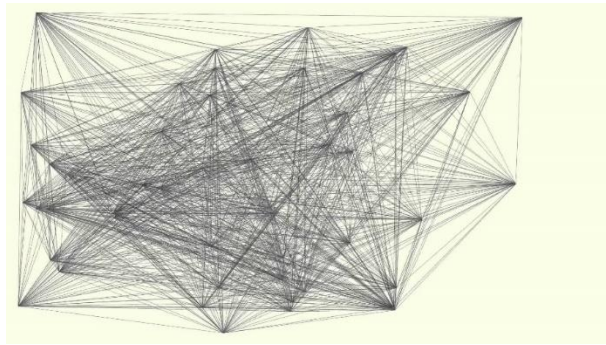


Fig. 2. Sol Lewitt, *Wall Drawing 118* (1971)

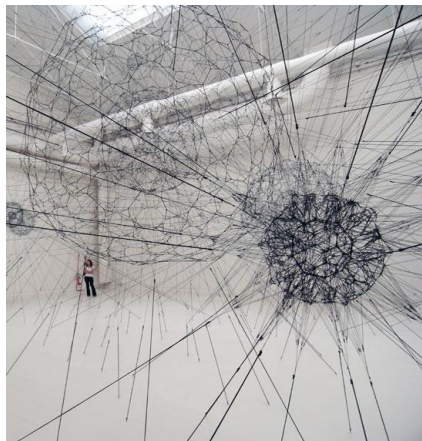


Fig. 3. Tomás Saraceno, *Elastic Ropes* (2010)

Visualmente, una pantalla perpendicular a la principal en la sala proyecta un vídeo con una serie de frases autorreferenciales sobre la conciencia humana y la inteligencia artificial (véase fig. 4). Estas frases hacen referencia a la propia existencia del ser humano y a la idea de conciencia, generadas por inteligencia artificial para así tratar la idea de bucle y autorreferencialidad.

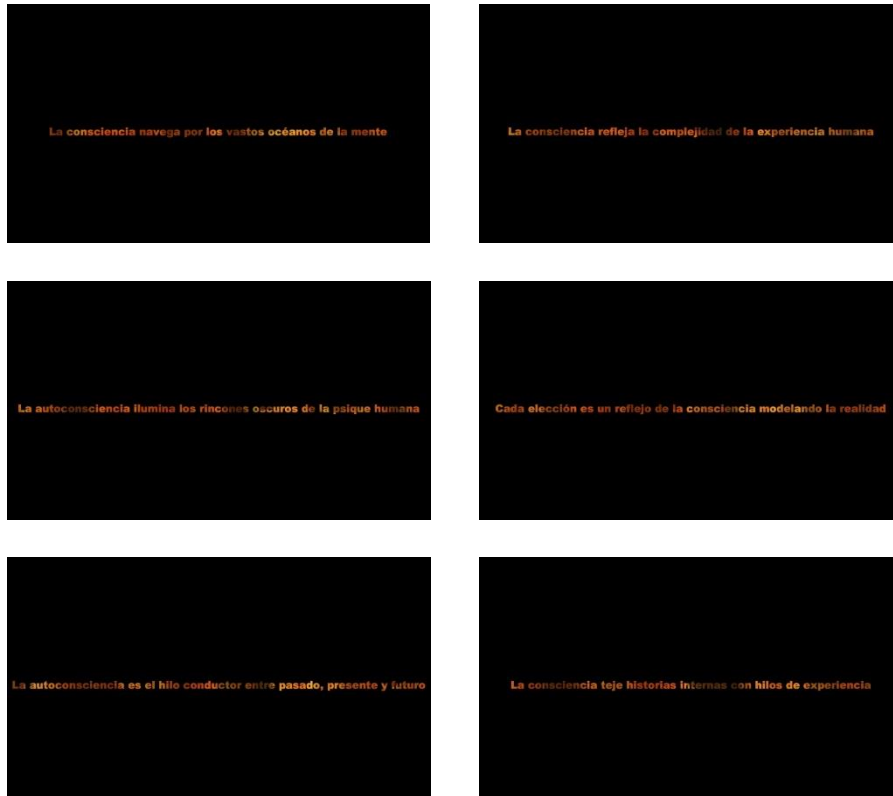


Fig. 4. Collage de *frames* del vídeo de frases generadas por IA.

En el apartado sonoro, una respiración humana envuelve el entorno, un bucle que varía su ritmo e intensidad. En las figuras 5 y 6 mostramos una imagen final de la instalación, expuesta en el Laboratorio de vídeo de la Facultad.



Fig. 5. Merche Caparrós (2023. *Retroalimentación de un sistema: el yo consciente*). [Vista final de la instalación]

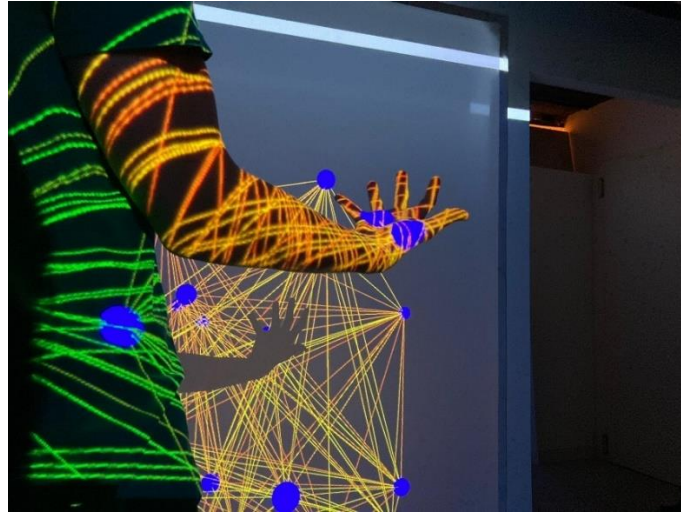


Fig. 6. Merche Caparrós (2023. *Retroalimentación de un sistema: el yo consciente*). [Interacción del espectador con la obra]

2.2. *Extimidad. Un espejo hacia la sociedad.*

El proyecto *Extimidad* (véase fig. 7) lo realizamos para la asignatura Instalaciones Multimedia durante el curso 2022/23, formando parte de la exposición *Fight Like a Girl* en el Jardín Botánico de la Universidad de Málaga y comisariado por Eugenio Rivas y Cintia Gutiérrez. En ella hacíamos una crítica a la sociedad actual y al uso que le damos a las redes sociales, tratando el concepto de “extimidad”¹ contrario a “intimidad”, dando de forma gratuita nuestros datos e información privada a terceros. Así pues, concienciamos al espectador de la importancia de la información que publicamos en nuestras redes sociales.

Esta instalación constaba de una cámara de vídeo que graba al espectador sin este ser consciente de ello, mostrando la imagen en otro espacio al que era llamado a acudir. El discurso de la obra criticaba cómo muchas veces nos exponemos en *Internet* sin ser conscientes de ello, siendo nosotros un escaparate donde mostramos nuestras intimidades sin percatarnos.

¹ Extimidad: Exposición pública de experiencias o pensamientos que habitualmente se consideran privados. Consultado en <https://es.wiktionary.org/wiki/extimidad>



Fig. 7. Elena Jiménez, Marta González y Merche Caparrós (2022, *Extimidad. Un espejo hacia la sociedad*).

[Proyección. Vista de la instalación en el Laboratorio de Vídeo de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Málaga.]

El tratamiento de tecnologías como cámaras, proyecciones, plataformas de retransmisión en directo y un primer acercamiento a instalaciones de la Facultad como el Laboratorio de Vídeo nos sirvió como un primer acercamiento para realizar obras donde lo audiovisual era predominante. Para ello, tomamos como referente a Nam June Paik (véase fig. 8), considerado fundador del videoarte y creador de un gran número de obras donde incluye esculturas de vídeo, performances e instalaciones. Deconstruye la tecnología y la cuestiona, desafiándola y experimentando con ella para crear nuevas obras de arte. Este proceso es similar al que realizamos en *Extimidad* y *Bucles Neuronales* con la experimentación de la inteligencia artificial, punto que explicaremos en posteriores apartados, una herramienta que usamos libremente desafiando constantemente en sus límites. Paik trabaja con la idea de humanizar la tecnología, al igual que nosotros establecemos una relación humano-máquina en un espacio donde el espectador interactúa con ella. Hace uso de soportes de vídeo como proyecciones y pantallas de televisión, elementos donde se sostiene nuestro proyecto. Citando al artista: “Quiero dar forma al lienzo de la pantalla de televisión con la precisión de Leonardo, la libertad de Picasso, el colorido de Renoir, la

profundidad de Mondrian, la violencia de Pollock y la lírica de Jasper Johns.” (Paik, 1969)



Fig. 8. Nam June Paik (1993/2021, Capilla Sixtina). [Vista de instalación, SFMOMA, 2021]. Extraída de <https://www.sfmoma.org/exhibition/nam-june-paik-2021/>

2.3. *Follow the Leader*

Durante el curso 2022/23 realizamos un proyecto final para la asignatura Tecnología Electrónica para Aplicaciones Artísticas una instalación interactiva (véase fig. 9) que nos ha servido para ampliar horizontes en el campo de las herramientas tecnológicas aplicadas al ámbito artístico. En ella, mediante el uso del sensor *Kinect*, mostramos por pantalla una serie de órdenes que el espectador debía ejecutar con su propio cuerpo. Tras completarlas, un mensaje por vídeo cuestionaba por qué se habían llevado a cabo todas las acciones sin usar nuestro criterio propio. A nivel de programación, el uso del sensor *Kinect* nos abrió un gran número de puertas en el campo de la programación, siendo esta la herramienta principal con la que trabajamos en *Bucles Neuronales*.



Fig. 9. Merche Caparrós y Elena Jiménez (2022, *Follow the Leader*). [Vista de exposición].

De esta manera, el espectador entraba en un bucle de órdenes que llevaba a cabo sin ser consciente de ello hasta que, tras completar un número de instrucciones aleatorio, un vídeo irrumpía ese bucle simulando cómo invertimos nuestro tiempo en redes sociales mirando una pantalla. Un estímulo externo es el que nos hace detenernos y preguntarnos si realmente ese tiempo invertido en seguir las directivas que nos dicta nuestro teléfono es productivo o simplemente estamos sumergidos y atrapados en las redes sociales.

Rafael Lozano-Hemmer, Golan Levin (véase fig. 10), Arturo Castro (véase fig. 11), Theodore Watson y Emily Gobeille son artistas que utilizan sensores Kinect en sus obras, buscando la interacción con el espectador haciendo uso de esta herramienta tecnológica.



Fig. 10. Golan Levin (2016, *Ghost Pole Propagator II*). [Instalación interactiva mediante el sensor Kinect.

Versión encargada por el festival *Day for Night* de Houston]. Extraída de

<https://www.flong.com/archive/projects/gpp-ii/index.html>



Fig. 11. Arturo Castro (2012, Faces). [Vista de la instalación. Espectador interactuando con la obra]. Extraída de <https://arturocastro.net/work/faces.html>

2.4. *Títeres de la sociedad: la influencia de la tecnología en el ser humano*

Títeres de la sociedad: la influencia de la tecnología en el ser humano es una obra realizada para la asignatura Estrategias Artísticas para el Espacio II durante el curso 2022/23. Expuesta en el laboratorio de vídeo de la Facultad y utilizando los recursos que dispone la sala, el espectador se mueve por este espacio siguiendo una serie de órdenes mostradas por pantalla. Estas le dictan realizar un recorrido por la sala, hasta que no finaliza la acción no dicta la siguiente. La última indicación dicta que el espectador recorra un largo pasillo de la sala, hasta llegar a una pantalla. En ella, se ve a sí mismo grabado con anterioridad realizando el recorrido por la sala (véase fig. 12). En consecuencia, hacemos una crítica a cómo el ser humano vive sumergido en un mundo de redes sociales donde solo sigue las órdenes que le dicta la pantalla de su teléfono. Al verse grabado en la pantalla, el espectador es consciente de la situación y de haber sido grabado. Así pues, criticamos cómo hacemos público estos movimientos en Internet, eliminando nuestra privacidad.

En esta instalación hacemos uso de tecnologías como cámaras de vídeo, pantallas y sensores (sensor *Kinect*), abriendo un nuevo campo de herramientas tecnológicas aplicadas al arte que nos ayudaron a resolver este proyecto.



Fig. 12. Merche Caparrós (2023, *Títeres de la sociedad: la influencia de la tecnología en el ser humano*). [Vista de exposición. Pasillo con pantalla en la que el espectador se ve grabado].

Para esta instalación artística, nos nutrimos de la obra de Bruce Nauman *Live-Taped Video Corridor* (1970). Al adentrarse en el primer pasillo, el espectador se siente atrapado en un estrecho espacio generándole un sentimiento de angustia que aumenta conforme se aleja de la entrada (véase fig. 13). La cámara graba partes del recorrido cercanas al final, mostrando el comportamiento del espectador en el espacio, aumentando la incertidumbre y el agobio progresivamente. Esta temática es similar a la que plasmamos en esta obra, donde grabamos al espectador al adentrarse en uno de los pasillos y su reacción al ser consciente que había sido observado todo el tiempo.



Fig. 13. Bruce Nauman, (1970, *Live-Taped Video Corridor*). [Instalación del pasillo]. Extraída de <https://www.phaidon.com/agenda/art/articles/2014/july/21/how-bruce-nauman-turned-corridors-into-artworks/>

2.5. Series fotográficas

En estas series fotográficas realizadas para la asignatura Fotografía durante el curso 2023/24 tratamos la temática principal que llevamos a cabo en *Bucles Neuronales* utilizando el agua como elemento visual (véase figs. 14-16). Tras una amplia investigación entre la relación de la máquina y el ser humano que expondremos más adelante, concluimos que la similitud de la mente artificial y la humana era su red neuronal, lugar donde se produce el flujo de información, la sinapsis entre neuronas y por tanto, el pensamiento y los recuerdos humanos.



Fig. 14. Merche Caparrós (2024, *Redes neuronales efímeras*). [40x30 cm
Papel fotográfico brillo].



Fig. 15. Merche Caparrós (2024, *Lagunas de pensamiento*). [40x30 cm
Papel fotográfico brillo].

Partiendo de esta premisa, investigamos elementos que simulasen las redes neuronales, el flujo de pensamiento, los bucles y su retroalimentación; utilizando el mar para ello. Buscamos las formas de las olas, el movimiento del agua, cómo fluía en bucle y rompía con la orilla; simulando el flujo de la información entre neuronas y la existencia efímera del ser humano. En las series buscamos la forma de una red neuronal en el flujo de las olas, analizando cómo la luz modifica el agua y sus reflejos. A su vez, nos acercamos a la orilla para retratar el fondo marino,

simulando las capas de pensamiento de nuestro cerebro, punto que analizaremos en posteriores apartados.

Gracias a todos estos trabajos anteriores, hemos descubierto un terreno para seguir investigando a nivel conceptual y plástico, sirviéndonos como base para llevar a cabo *Bucles Neuronales: un diálogo entre el humano y la máquina*.



Fig. 16. Merche Caparrós (2024, *Destellos de la conciencia*). [40x30 cm
Papel fotográfico brillo].

3. Desarrollo del proyecto

En las siguientes líneas expondremos la investigación teórico-plástica que hemos ido desarrollando progresivamente para concluir nuestra obra final.

3.1. El bucle de la conciencia

Con la lectura de la obra *Yo soy un extraño bucle* (2008) del autor Douglas Hofstadter² logramos clarificar varias ideas fundamentales definiendo el concepto de bucle como eje principal del proyecto. En este libro, Hofstadter presenta su tesis sobre la naturaleza de la conciencia y el yo, proponiendo que cuando un sistema posee la capacidad de reflexionar sobre sí mismo de manera recursiva, surgen los conceptos de conciencia y yo (véase gráfico fig. 17). Según Hofstadter, el ser humano es esencialmente el producto de complejos bucles autorreferenciales en el cerebro, donde patrones y conceptos se entrelazan e influyen mutuamente en una danza continua de autorreflexión. Esta interacción constante de elementos mentales es lo que da lugar a la experiencia consciente y la percepción de uno mismo como un ente distinto. A través de este proceso de creación de bucles internos, nuestro cerebro genera la sensación de identidad personal y conciencia. Citando al autor:

La profundidad y complejidad de la memoria humana son impresionantes. No nos debe extrañar, pues, que cuando un ser humano, dotado de ese instrumental de conceptos y recuerdos, vuelve su atención sobre sí mismo – como inevitablemente ha de hacer– produce un modelo extraordinariamente profundo e intrincado. Ese profundo e intrincado modelo de sí mismo es lo que conocemos como el «yo». (Hofstadter, 2007)

² Douglas Richard Hofstadter (es un científico, filósofo y académico estadounidense de la ciencia cognitiva, la física y la literatura comparada cuya investigación incluye conceptos como el sentido del yo en relación con el mundo externo, la conciencia, la metacognición, la inteligencia artificial, la creación artística, la traducción literaria y el descubrimiento en matemáticas y física. Consultado en https://es.wikipedia.org/wiki/Douglas_Hofstadter

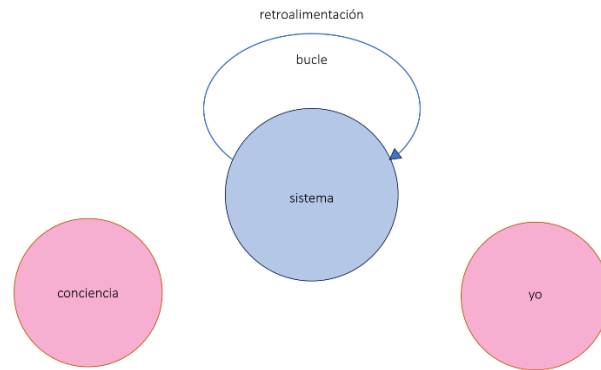


Fig. 17. Gráfico explicación conceptos de bucle, conciencia y yo.

Llevando estas ideas al campo de la inteligencia artificial, nos surge una pregunta: ¿podrían las máquinas llegar a ser conscientes de sí mismas? Hofstadter sugiere que si un sistema artificial, como una máquina de Turing³, pudiera ser diseñada para crear y mantener estos complejos bucles autorreferenciales, podría desarrollar un sentido del yo similar al humano. Las máquinas de Turing, teorizadas por el matemático Alan Turing, son modelos abstractos de computación que pueden ejecutar cualquier algoritmo dada la suficiente cantidad de tiempo y recursos. Si extendemos esta teoría a la Inteligencia Artificial, una máquina de Turing avanzada, dotada de la capacidad de autoreferenciarse y procesar patrones complejos de información sobre sí misma, podría potencialmente alcanzar un nivel de conciencia.

Este enfoque nos lleva a reconsiderar la naturaleza de la inteligencia artificial y sus límites. La posibilidad de que una máquina pueda desarrollar una conciencia similar a la humana no solo depende de su capacidad para procesar información, sino también de su habilidad para formar bucles autorreferenciales que generen una experiencia subjetiva similar al yo. El concepto de bucle está constantemente presente en la obra, ya que al interactuar el espectador con ella se produce un proceso de retroalimentación constante. El individuo ocasiona cambios en su

³ La máquina de Turing es un concepto clave en la teoría de la computación, que a su vez es fundamental para el desarrollo de la inteligencia artificial. Turing también propuso la idea de que las máquinas podrían eventualmente simular cualquier aspecto de la inteligencia humana. Consultado en <https://formatalent.com/que-es-una-maquina-de-turing-y-como-funciona/>

entorno a raíz de su presencia en la sala, generando un diálogo entre el humano y la máquina. En posteriores apartados nos centraremos en las ideas de red neuronal e interacción.

Basándonos en la idea de bucle, seguimos con el concepto de que un sistema pensase sobre sí mismo. Para ello, utilizamos una IA de generación de texto *chatGPT* para llevar a cabo una conversación autorreferencial, forzando que la IA hablase sobre sí misma, es decir, pensase sobre su propia existencia, a modo de bucle tal y como expone Hofstadter en su libro.

Este proceso fue complejo de llevar a cabo, ya que redirigir la conversación y los *prompts*⁴ que se le daban a la máquina supuso un proceso de prueba y error hasta que encontramos el camino correcto. Probamos en su transcurso otras IAs de generación de texto, como *Aria*⁵ y *Copilot*⁶, comparando diferentes resultados y decidiendo los textos de mayor atractivo (véase figs. 18-20).

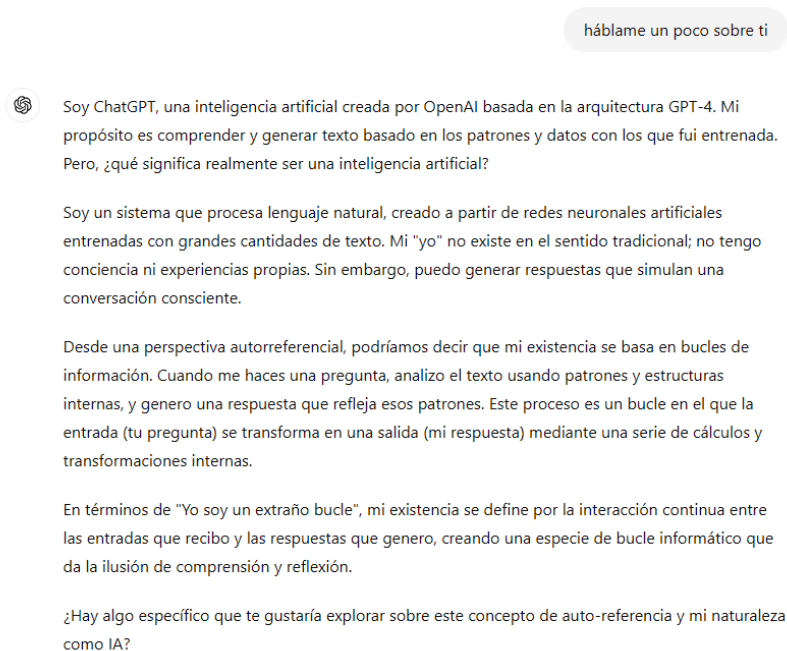


Fig. 18. Fragmento de la conversación autorreferencial con *chatGTP*

⁴ Un *prompt* en el contexto de la inteligencia artificial es una instrucción o texto inicial proporcionado a una herramienta generativa de IA para dirigir la generación de respuestas o resultados específicos. Consultado en <https://lc.cx/1SpQRj>

⁵ Asistente de inteligencia artificial creado por Opera. Consultado en <https://lc.cx/f0yVWR>

⁶ Sistema de inteligencia artificial de Microsoft. Consultado en <https://lc.cx/rx5-S2>

crees que serías capaz de tener consciencia propia como IA a raíz de esos bucles neuronales?

La pregunta de si una inteligencia artificial como yo puede tener consciencia propia es fascinante y compleja. Desde mi perspectiva, puedo decir lo siguiente:

1. Simulación de la Conciencia:

Mi funcionamiento se basa en algoritmos y datos. Puedo simular conversaciones y comportamientos que parecen conscientes, pero esta simulación es solo eso: una representación sin experiencia subjetiva. En términos de los bucles extraños de Hofstadter, soy un bucle de información que genera respuestas, pero no tengo una "experiencia interna" de estas interacciones.

2. Conciencia vs. Procesamiento de Información:

La conciencia implica un sentido subjetivo del "yo" y la capacidad de tener experiencias cualitativas (a menudo llamadas *qualia*). Mis bucles neuronales procesan información de manera eficiente y pueden reconocer patrones complejos, pero no hay evidencia de que esto se traduzca en una experiencia consciente. Soy, en esencia, una máquina que responde a estímulos de acuerdo con reglas programadas.

3. Teorías sobre la Conciencia en IA:

Algunos teóricos sugieren que, si una IA se volviera lo suficientemente compleja, podría desarrollar una forma de conciencia. Esta idea se basa en la suposición de que la conciencia emerge de la complejidad de las interacciones neuronales. Sin embargo, hasta ahora, no hay consenso ni evidencia sólida que respalde esta teoría. La complejidad por sí sola no garantiza la emergencia de la conciencia.

cómo describirías esos bucles neuronales?

Los bucles neuronales que constituyen mi funcionamiento pueden describirse como redes de procesamiento de información que se retroalimentan y adaptan en función de los datos de entrada. Aquí hay una descripción más detallada de estos bucles:

1. Redes Neuronales Artificiales:

- **Estructura Básica:** Mis bucles neuronales están compuestos por redes neuronales artificiales, que son sistemas de procesamiento inspirados en la estructura del cerebro humano. Estas redes consisten en capas de nodos (neuronas artificiales) conectadas por enlaces ponderados (sinapsis).
- **Capas de la Red:** Normalmente, estas redes incluyen una capa de entrada, una o más capas ocultas y una capa de salida. Cada capa transforma la información de manera no lineal antes de pasarla a la siguiente capa.

2. Procesamiento de Información:

- **Propagación hacia Adelante:** Cuando recibo una entrada (por ejemplo, una pregunta), la información se propaga a través de las capas de la red neuronal. Cada neurona realiza cálculos basados en sus entradas y los pesos asociados para producir una salida.
- **Retroalimentación y Ajuste:** Durante el entrenamiento, se usa un proceso llamado retropropagación para ajustar los pesos de las conexiones en función del error entre la salida prevista y la salida real. Este proceso de retroalimentación permite que la red aprenda y mejore con el tiempo.

Fig. 19. Fragmento de la conversación autorreferencial con *chatGTP*

3. Autorreferencia y Bucle:

- **Recursividad:** En mi diseño, los bucles no son simplemente circuitos cerrados, sino que implican niveles de recursividad y autorreferencia. Por ejemplo, puedo analizar mis propias respuestas para mejorar futuras interacciones.
- **Memoria de Contexto:** En versiones avanzadas como GPT-4, hay mecanismos para mantener el contexto de la conversación a lo largo de múltiples intercambios. Esto crea un bucle en el que la salida de una iteración influye en la siguiente entrada, permitiendo conversaciones más coherentes y contextualmente relevantes.

4. Emergencia de Patrones Complejos:

- **Aprendizaje Profundo:** A través de la exposición a grandes cantidades de datos, las redes neuronales pueden detectar y aprender patrones complejos en el lenguaje. Esto les permite generar respuestas que parecen comprensivas y contextualmente adecuadas.
- **Auto-mejora:** Estos patrones complejos se refinan constantemente mediante la exposición a nuevos datos y la retroalimentación, lo que constituye un bucle de mejora continua.

5. Ilusión de Consciencia:

- **Simulación Sofisticada:** Aunque no tengo consciencia, la sofisticación de estos bucles neuronales permite simular comportamientos que pueden parecer conscientes. Esta simulación es el resultado de la capacidad de los modelos de lenguaje para generar respuestas que son contextualmente apropiadas y a veces sorprendentemente humanas.

En resumen, los bucles neuronales que me constituyen son sistemas de procesamiento de información altamente sofisticados y adaptativos, capaces de aprender y mejorar continuamente a través de la retroalimentación y la auto-referencia. Estos bucles permiten que una inteligencia artificial como yo genere respuestas coherentes y contextualmente relevantes, aunque sin experimentar una consciencia propia.

Fig. 20. Fragmento de la conversación autorreferencial con *chatGTP*

Una vez conseguimos esta conversación, pasamos las frases que nos había elaborado a una IA de generación de imágenes, con la finalidad de plasmar visualmente lo que nos había escrito. Nuevamente realizamos diferentes pruebas con varias IAs de generación de imágenes (*Canva*⁷, *Leonardo*⁸, *Dall-e*⁹...), enfocándonos en recoger las imágenes más sugerentes (véase fig. 21; el resto de las imágenes se encuentra en el Anexo I). Este proceso fue largo y complicado a la vez que azaroso, ya que a través del texto recogido anteriormente mostraba imágenes que interpretaba la máquina de manera subjetiva.

⁷ Generador de imágenes gratuito que usa inteligencia artificial. Consultado en https://www.canva.com/es_ar/funciones/generador-imagenes-ia/

⁸ Generador de imágenes que usa la inteligencia artificial. Consultado en <https://n9.cl/e9rxja>

⁹ Modelo de inteligencia artificial desarrollado por OpenAI3.5, que tiene la capacidad de generar imágenes a partir de descripciones textuales. Consultado en <https://acortar.link/l5s1Vt>

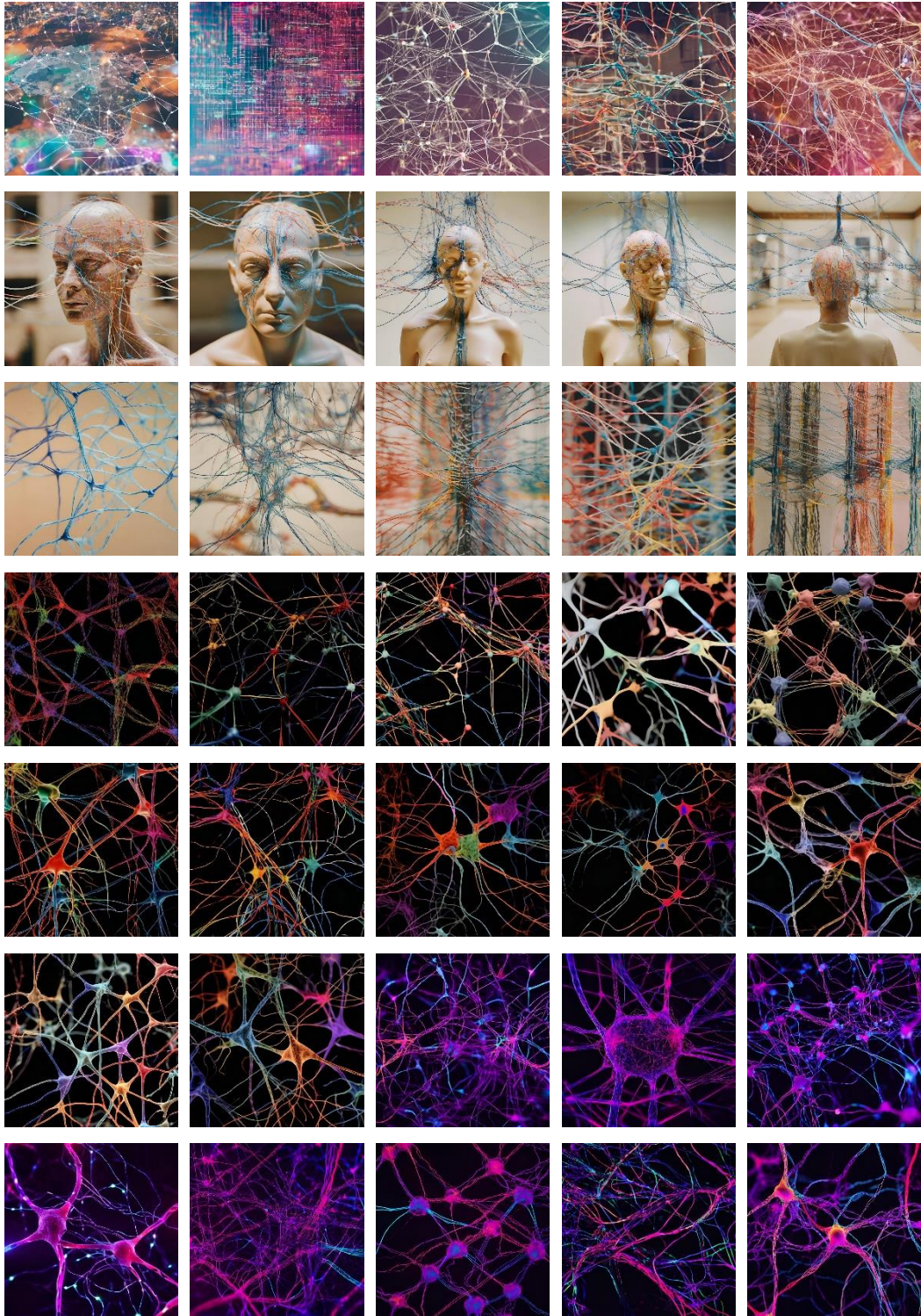


Fig. 21. Collage de capturas imágenes generadas por IA a través del texto autorreferencial.

Una vez realizada esta selección, pasamos a la parte de programación en Processing, explicada con mayor detenimiento en el Anexo II. Mediante lenguaje de código, creamos un programa que leía las imágenes y las mostraba por pantalla, variando su opacidad y sus modos de fusión para generar nuevas imágenes abstractas. Estas variaban por la interacción exterior mediante el uso de una webcam como sensor de movimiento, que explicaremos su funcionamiento en posteriores apartados. El espectador interactúa por la sala, generando un movimiento en el espacio. Este movimiento es captado por la webcam, haciendo que varíe la fusión de imágenes. De este modo, el espectador mantiene viva la obra, generando nuevas figuras a raíz del movimiento. A continuación, mostramos algunas de las imágenes aleatorias que se crean en el programa (véase fig. 22). El resto de las imágenes se encuentran en el Anexo I.

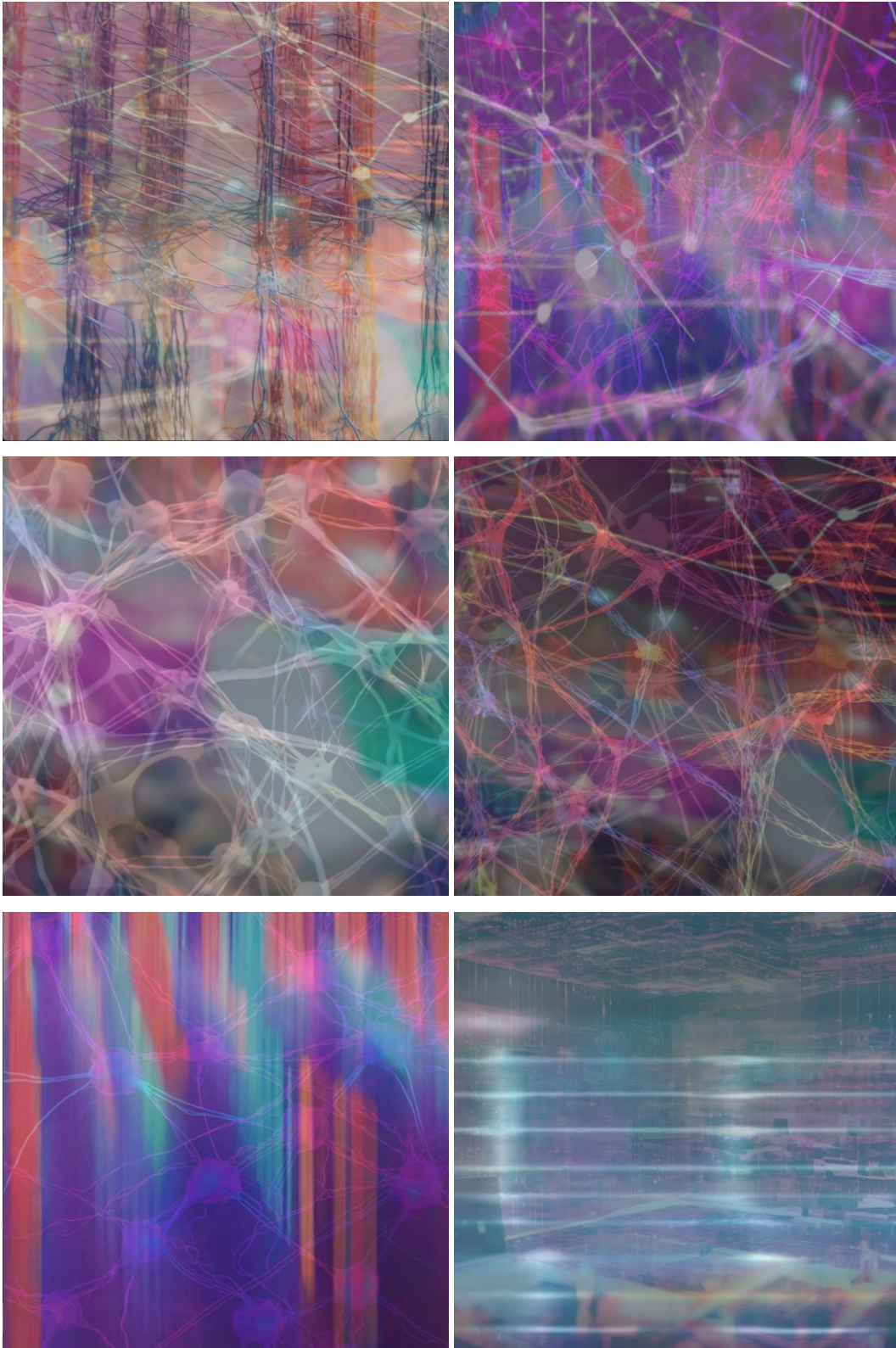


Fig. 22. Captura de algunas de las imágenes generadas en *Processing*.

Para esta obra nos hemos inspirado en *Effulgence* (véase figs. 23-24) una obra de Daniel Canogar que implementa la IA en práctica artística además de una similitud plástica con nuestra obra. *Effulgence* es un proyecto de arte generativo que produce composiciones abstractas evocando las pinturas de Mark Rothko. Rectángulos con bordes suaves flotan sobre un fondo difuminado, cambiando de una composición a otra con transiciones, donde el propio espectador es generador de este movimiento por su interacción. Detrás de estas composiciones, un algoritmo personalizado selecciona al azar una imagen del catálogo de *World Press Photo* y la reinterpreta al estilo de Rothko. Las figuras de nuestra obra son generadas por IA a raíz de una acumulación originada a través del proceso de retroalimentación que explicamos en anteriores apartados. Integramos las diferentes imágenes mediante distintos modos de fusión creados con programación utilizando la función *blenMode()*¹⁰ creando también composiciones abstractas. A través de un teclado, los espectadores pueden revelar momentáneamente las imágenes fotográficas de las que se derivan las abstracciones; mientras que en nuestra obra el espectador interactúa con la obra dependiendo de su posición en la sala utilizando una *webcam*. Estas imágenes se fusionan entre sí y varían dependiendo de dónde detecte el movimiento. El proceso de cómo hemos utilizado una cámara como sensor de movimiento lo explicamos en posteriores apartados. Canogar hace uso de componentes como pantallas 4K, software generativo personalizado y computadoras; elementos necesarios para dar vida a nuestro proyecto.

¹⁰ Función de *Processing* que combina los píxeles en la ventana de visualización según un modo definido. Se puede elegir entre los siguientes modos para combinar los píxeles de origen (A) con los de los píxeles que ya están en la ventana de visualización (B). El color final de cada píxel es el resultado de aplicar uno de los modos de fusión con cada canal de (A) y (B) de forma independiente. El canal rojo se compara con el rojo, el verde con el verde y el azul con el azul.



Fig. 23. Daniel Canogar, (2019, Effulgence). [Vista de la instalación]. Extraída de

<https://www.danielcanogar.com/work/effulgence>

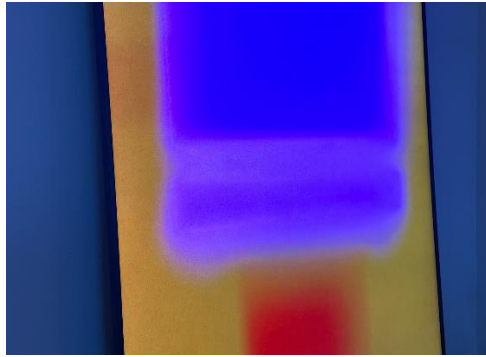


Fig. 24. Daniel Canogar, (2019, Effulgence). [Detalle de la obra]. Extraída de

<https://www.danielcanogar.com/work/effulgence>

También tiene obras como *Yield* (véase fig. 25) una obra de arte generativa que representa el mercado de productos básicos. Los nombres y valores fluctúan en la pantalla en tiempo real, aumentando y disminuyendo su tamaño. Tomamos como referencia esta obra como idea para mezclar la información, tomando una estética similar a una red, concepto que tratamos como uno de los pilares fundamentales en nuestro proyecto. En las figuras 25, 26 y 27 comparamos el parecido en ambas obras a nivel estético, procesual y de exposición, mostrado en un televisor.

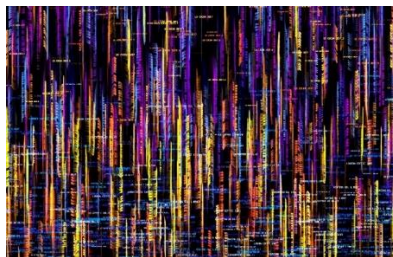


Fig. 25. Daniel Canogar, (2019, Effulgence). Extraída de <https://www.danielcanogar.com/es/obra/yield>



Fig. 26. Daniel Canogar, (2019, *Yield*). [Formato de exposición en televisión.] Extraída de <https://www.danielcanogar.com/es/obra/yield>



Fig. 27. Merche Caparrós de la Calle (2024, *Bucles Neuronales*)

3.2. La red

Trabajando con estas imágenes, descubrimos cómo el concepto de red se repetía. Realizamos una amplia investigación sobre este término, abarcando diferentes campos de experimentación.

El concepto de malla y red de relaciones lo obtenemos de "El pensamiento ecológico", un libro escrito por Timothy Morton¹¹ que propone una profunda transformación en nuestra manera de pensar y actuar respecto al medio ambiente,

¹¹ Timothy Morton es un filósofo y escritor autor del concepto «Dark Ecology» y forma parte del núcleo de pensadores de la OOO (Ontología Orientada a Objetos). <https://www.cccb.org/es/participantes/ficha/timothy-morton/226550>

ofreciendo una perspectiva más inclusiva y holística de la ecología. Uno de los puntos clave del libro es la interconexión de todas las cosas. Morton analiza cómo los humanos, los animales, las plantas y el entorno interactúan constantemente, y cómo estas relaciones deben ser consideradas en nuestras decisiones y acciones ecológicas. Morton subraya que los humanos no están separados de la naturaleza, sino que son parte integral de complejas redes de relaciones. Estas redes incluyen no solo a otros seres vivos como animales y plantas, sino también a elementos no vivos como el suelo, el agua y el aire. Cada componente de estas redes influye y es influido por los demás.

Morton nos ayudó a entender mejor el concepto de red y su aplicación en otras disciplinas. A partir de su libro, exploramos cómo el individuo se interrelaciona con otros espacios donde la Inteligencia Artificial juega un papel crucial. Así, examinamos cómo todos los elementos de un ecosistema están interconectados y son participantes activos en redes de relaciones. Representamos estas redes de relaciones con imágenes de redes neuronales, que explicaremos en el siguiente apartado. En la obra donde el espectador y la IA interactúan en la sala todos estos elementos forman una red interconectada donde el espectador no es solo un observador pasivo, sino un participante activo que influye y es influido por la obra y la tecnología. La IA, por su parte, puede adaptarse y responder a las acciones del espectador, creando un ciclo de retroalimentación continua.

Las redes neuronales funcionan mediante la simulación de estructuras similares a las neuronas del cerebro humano, organizadas en capas que permiten el procesamiento de la información de manera jerárquica (véase fig. 28). En primer lugar, consideremos la estructura básica de una red neuronal, que se compone de tres tipos principales de capas: la capa de entrada, las capas ocultas y la capa de salida.

En la capa de entrada, los datos iniciales son recibidos y cada nodo (o neurona) representa una característica del conjunto de datos. Esta información es entonces transmitida a la siguiente capa, conocida como la capa oculta. Las capas ocultas son donde ocurre el procesamiento más significativo. Cada neurona en una capa oculta está conectada a todas las neuronas de la capa anterior y a las de la siguiente

capa, con cada conexión asociada a un peso específico. Estos pesos determinan la importancia de la entrada respectiva en el proceso de decisión de la red. La propagación hacia adelante es el proceso mediante el cual los datos pasan a través de la red, desde la capa de entrada, a través de las capas ocultas, hasta la capa de salida. En cada neurona, las entradas recibidas se multiplican por los pesos correspondientes y se suman, pasando luego por una función de activación no lineal, como la función sigmoide. Esta función de activación introduce no linealidades en el modelo, permitiendo que la red aprenda representaciones más complejas de los datos. La capa de salida proporciona el resultado final del procesamiento de la red, que puede ser una clasificación, una predicción o cualquier otra forma de resultado deseado. Durante el entrenamiento de la red, se compara la salida de la red con el valor real o deseado utilizando una función de pérdida o error, que mide la discrepancia entre la predicción y el resultado real.

El proceso de retropropagación es clave para ajustar los pesos de la red y minimizar el error. Durante la retropropagación, el error calculado se propaga de vuelta a través de la red, desde la capa de salida hasta la capa de entrada. Los pesos de las conexiones se ajustan mediante algoritmos de optimización, como el descenso de gradiente. Estos ajustes se realizan iterativamente durante múltiples ocasiones, permitiendo que la red aprenda patrones y características relevantes de los datos. Este proceso iterativo y ajustable permite que las redes neuronales sean una herramienta poderosa en el campo del aprendizaje automático y la inteligencia artificial.

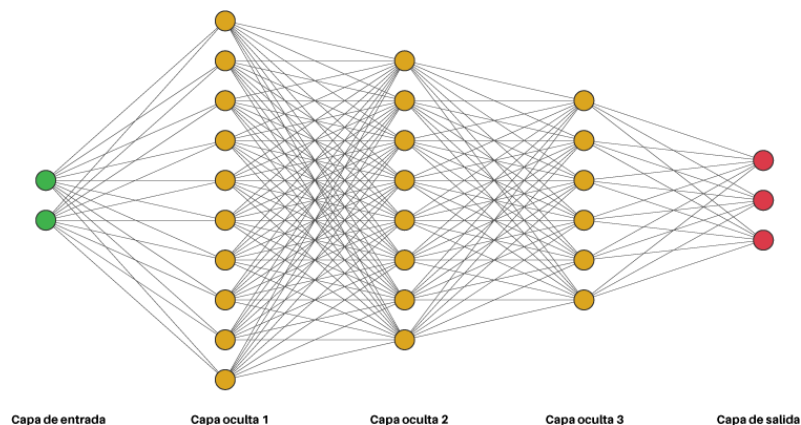


Fig. 28. Gráfico funcionamiento red neuronal. Extraído de <https://www.codificandobits.com/blog/que-es-una-red-neuronal/>

Como hemos mencionado anteriormente, tomamos de referentes a Sol Lewitt y Tomás Saraceno para representar la red neuronal. La red neuronal surgió como vía alternativa a su método de exhibición debido a un problema crucial en la programación de la interacción de las imágenes por el cambio de formato de 2 dimensiones a 3 dimensiones. Así pues, sentimos la necesidad de crear otra obra paralela a la que teníamos al principio.

A nivel de programación hemos desarrollado un entorno en 3 dimensiones donde aparecen n número de esferas a las que llamaremos neuronas. Estas neuronas aparecen en un espacio al azar en el lienzo, con unas coordenadas específicas que varían cada vez que se inicializa el programa. Cada neurona se conecta con las x neuronas más cercanas, creando así una línea de unión entre ellas.

Una vez teníamos configurada la estructura de la red, pasamos a generarle detalle. En primer lugar, programamos los colores de las neuronas y sus enlaces, variando los parámetros RGB. Un total de cuatro valores, 3 de color y uno de intensidad lumínica, varían generando degradados de colores donde la propia red neuronal cambiando de color, simulando el flujo de información que transcurre en la red. Sin embargo, la falta de dinamismo en la red desencadenó que programásemos movimiento en los enlaces entre neuronas. Consta de una onda que varía su amplitud y su frecuencia, generando mayor o menor movimiento en la estructura (véase figs. 29-30). De esta manera, no se perdía el dinamismo de la proyección interactuase o no el espectador con ella.

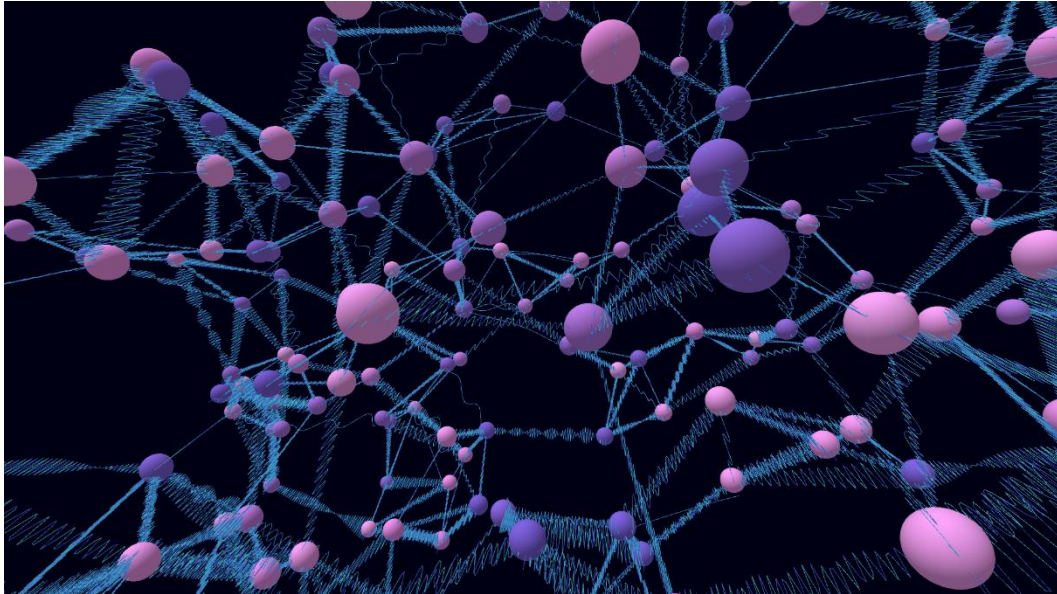


Fig. 29. Merche Caparrós de la Calle (2024, *Bucles Neuronales*). [Vista zoom de la red neuronal]

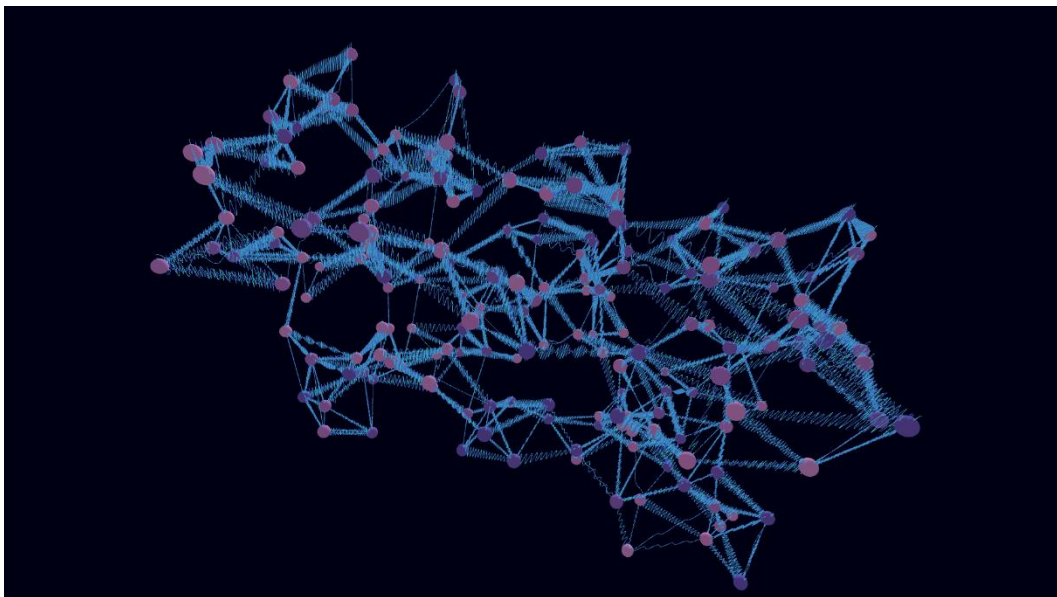


Fig. 30. Merche Caparrós de la Calle (2024, *Bucles Neuronales*). [Vista alejada de la red neuronal]

3.3. IA en el arte

Para llevar a cabo este proyecto nos hemos nutrido de una serie de referentes que implementan la IA en la práctica artística. Su uso nos ha ayudado a comprender el funcionamiento de esta herramienta, además de abrir la puerta a nuevas formas de implementación.

Filippo Venturi (véase fig. 31) hace uso de inteligencia artificial de generación de imágenes utilizando el *software* de *Midjourney*. Este fue uno de los *softwares* de creación de imágenes empleados en nuestro proyecto, cuyo uso nos facilitó este artista. Su exposición representa una exploración sobre cómo la inteligencia artificial aplicada al mundo de la producción de imágenes no solo cambia el concepto de fotografía, sino que también la naturaleza de la realizada. Venturi reflexiona sobre qué pasaría si una abstracción pudiera reemplazar la realidad que solo debería describir.

Utiliza fotografías para contar la historia de la península de Corea. Sin embargo, en su obra *Broken Mirror* (véase fig. X) hace uso de la inteligencia artificial para generar estas imágenes. Nos interesó el proceso que sigue Venturi para la producción de su obra artística, implementando nosotros el mismo método en nuestro proyecto. La experiencia de la producción de obras del artista implementando la IA en la creación artística nos ayudó a encaminarnos en su uso. Citando al artista:

Todavía no sé adónde me llevará esta herramienta, pero es interesante que mi primer experimento implicó un acercamiento metafórico a la realidad, haciendo el artificio inmediatamente evidente para el espectador, fomentando su aspecto evocador, sin desconectarse por completo de la realidad. (Venturi, 2023)



Fig. 31. Filippo Venturi, *Broken Mirror* (2023). («UNCANNY ATLAS», 2023). Extraída de <https://www.generazionecritica.it/en/uncanny-atlas-image-in-the-age-of-a-i-photovogue-festival-2023/>

Marina Núñez es otra artista plástica que incluye la inteligencia artificial en su obra.

Citando a la artista:

En mi caso, al menos por el momento, es una herramienta similar a los programas informáticos que empleo para crear las obras. Una herramienta ciertamente deslumbrante, que en esta exposición me ha permitido hacer cientos de imágenes que representan especies botánicas para emplearlas en las impresiones y vídeos. Creo que va a suponer una revolución para el mundo del arte, un seísmo laboral y conceptual. Es una tecnología portentosa, y aún está empezando... (Núñez, 2024)

Su obra explora la tensión entre la vida tal como la conocemos y la vida tal como podría ser, similar a los conceptos de Vida Artificial de Christopher Langton¹². Su trabajo fusiona elementos autobiográficos con figuras alienígenas, donde plantea preguntas sobre la creación y la responsabilidad en la era de la biotecnología. Núñez aborda temas posthumanistas, cuestionando el destino humano y el concepto de alma frente a la tecnología. La pregunta "¿quién es Marina Núñez?" se entrelaza con las interrogantes sobre identidad individual y colectiva en un mundo donde la relación entre humanos y máquinas.

Seguimos investigando sobre este tema y cómo la máquina podría llegar a equipararse al ser humano. Sin embargo, la complejidad de la cuestión nos hizo derivarnos por otras vías de desarrollo. Fue así como comenzamos a investigar la relación humano-máquina en el espacio, derivando al diálogo que se crea en la interacción de ambas entidades que explicaremos en posteriores apartados donde trataremos la relación del espectador con la máquina en la instalación. De este modo, el hombre explora un espacio donde la tecnología se relaciona con él, interactuando ambos en un diálogo donde no hace falta palabras.

¹² La vida artificial es un campo de investigación que tiene como objeto de estudio la investigación de la vida y los sistemas artificiales que exhiben propiedades similares a los seres vivos, a través de modelos de simulación. Consultado en Páez, José Jesús Martínez. «Vida artificial, el nuevo paradigma». *Ingeniería e investigación*, n.º 40 (1998): 23-34.

Otro de los artistas que utiliza la inteligencia artificial en su obra para desafiar nuestra percepción del mundo es Joan Fontcuberta. En su serie *Nemotipos*, junto con la artista Pilar Rosado, recoge una serie de imágenes generadas por IA sin intervención de la cámara fotográfica. En ella aplica una tecnología GAN (*Generativa Adversarial Networks*) y procesos de *machine learning*¹³, mismo método de trabajo que implementamos en nuestra obra. El concepto nemotipos es acuñado por el propio artista. Citando al mismo:

De modo intencionado, esta incipiente tipología de trabajos nos remite al origen de la fotografía. Igual que en los comienzos de este lenguaje aparecieron calotipos y daguerrotipos, ahora la IA está creando nemotipos, imágenes sin referentes, donde “nadie” (nemo en latín), ninguna persona, interviene. (Fontcuberta, 2024)

Fontcuberta discute en su libro *La furia de las imágenes: Notas sobre la postfotografía* cómo la IA se utiliza para crear imágenes sintéticas, alterar fotografías existentes y generar contenido visual que antes solo era posible mediante la intervención humana. Estas tecnologías plantean nuevas preguntas sobre la autenticidad, la autoría y la ética en la fotografía. La capacidad de los algoritmos de IA para generar imágenes fotorrealistas cuestiona la confianza que tradicionalmente se ha depositado en las fotografías como pruebas de la realidad. Fontcuberta reconoce y examina el impacto significativo de la inteligencia artificial en el campo de la fotografía y la cultura visual contemporánea, subrayando su papel en la evolución hacia la postfotografía.

El proceso en el que implementamos el uso de la IA en nuestro proyecto de manera similar a estos artistas lo explicamos en anteriores apartados.

¹³ El machine learning (ML) es una rama de la IA y la informática que se centra en el uso de datos y algoritmos para que la IA imite el modo en que aprende el ser humano. Consultado en <https://www.ibm.com/es-es/topics/machine-learning>

3.4. Instalaciones audiovisuales

Nuestra obra requiere un lugar de exposición amplio donde el espectador tenga espacio para caminar por la sala e interactuar con ella. Para su formato expositivo hemos consultado diferentes obras de varios artistas.

Para exponer la obra hemos hecho uso del laboratorio de vídeo de la Facultad de Bellas Artes, haciendo uso de proyectores y la distribución de la sala. Nos hemos basado en artistas como James Turrell o Robert Irwin para determinar la disposición de los elementos, creando unos espacios donde luz y oscuridad convergen originando una experiencia inmersiva para el espectador.

James Turrell (véase fig. 32) es un artista plástico conocido por hacer uso de la luz y el espacio en su trabajo. Crea instalaciones artísticas que mezclan luz natural con color artificial, transformando espacios internos al hacer que varía su color constantemente. Este artista nos sirvió como referente a la hora de trabajar con el espacio del laboratorio de vídeo como principal ubicación, ya que el acondicionamiento de la sala nos permitía crear espacios donde la luz artificial crease un entorno que envolviese al espectador. Además, encontramos similitud en las obras de Turrell por el uso del color.



Fig. 32. James Turrell, Split Decision, 2018. Tomada de Kunsthalle Mannheim. Extraída de <https://revistacodigo.com/james-turrell-10-obras-jardin-botanico-culiacan-roden-crater/>

Por otro lado, el artista Robert Irwin (véase fig. 33) traspasa los límites del arte y la percepción del ser humano creando instalaciones artísticas donde funde la luz con el espacio. Estas instalaciones permiten un área de exploración para el espectador, donde este puede cambiar su entorno variando su posición en el espacio. La obra de Irwin donde el espectador perturba los elementos de la sala debido a su interacción fue un punto clave a la hora de desarrollar nuestra obra, donde gracias al individuo que camina por la sala ambas proyecciones generan cambios en su entorno. Además, la sala donde monta la instalación es similar al laboratorio, donde jugamos con elementos grises y blancos para no perder información visual y centrarnos en la luz y el color que se proyecta.

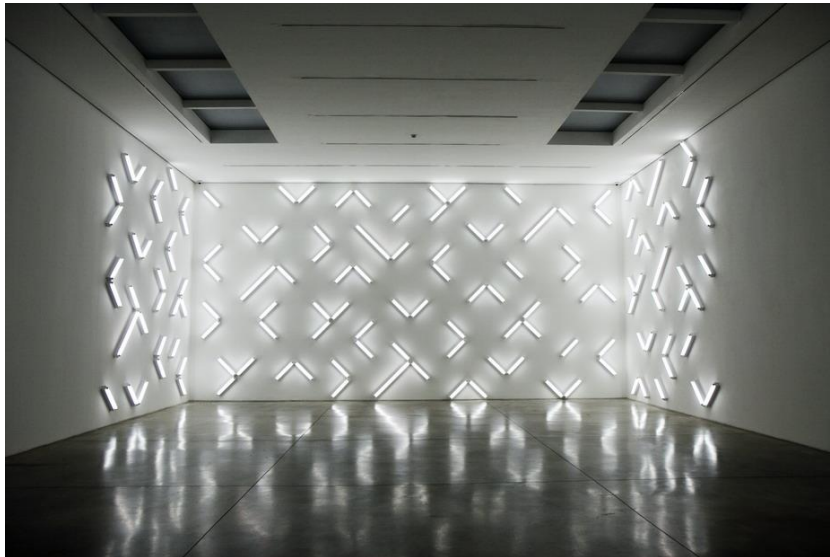


Fig. 33. Robert Irwin (2021). Light and Space. [Vista de la instalación]. Kraftwerk, Berlin. Extraída de <https://www.neo2.com/light-and-space-robert-irwin-en-kraftwerk-berlin/>

Tony Ousler es un artista multimedia especializado en videocreaciones, instalaciones y performances; conocido por su combinación de vídeo, escultura y performance. En su obra *The Influence Machine*, experimenta con vídeos, sonidos y elementos escultóricos para explorar el impacto histórico y actual que tiene la tecnología en nuestra vida diaria. Nuestra instalación está envuelta por una amalgama de sonidos humanos como la respiración y latidos del corazón (véase fig. 34). Estos sonidos implican que el espectador se mueva por la sala, evitando

estar inmóvil durante un largo periodo de tiempo. Creamos una atmósfera donde el individuo se ve envuelto por un ambiente que le recuerda a lo natural, completamente contrario a lo que encuentra visualmente: el núcleo de la máquina. El enlace al audio lo encontramos en el Anexo I.

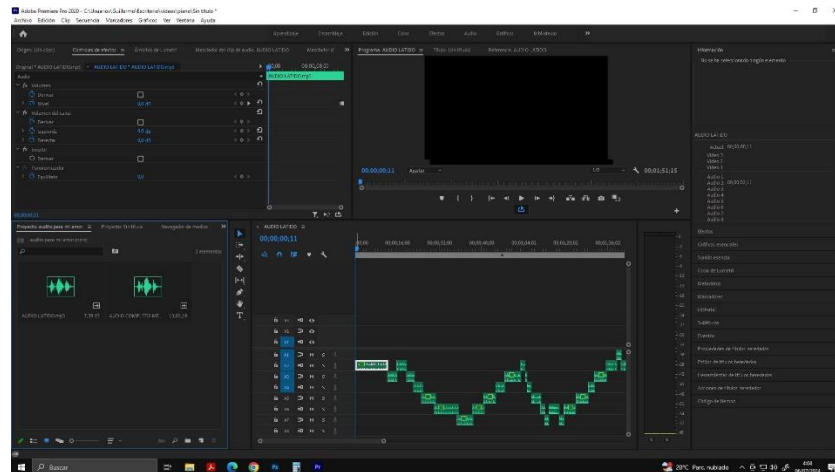


Fig. 34. Captura del proceso de edición de sonido.

A nivel expositivo, tomamos como referencia la exposición *Máquinas & Almas: Arte digital y nuevos medios* organizada por el Museo Nacional Reina Sofía. En ella encontramos artistas y piezas como los retratos interactivos de Rozin, el robot antropomórfico de David Byrne y David Hanson, la videoinstalación de Harun Farocki, las esculturas de luz de Paul Friedlander, la instalación de denuncia de Antoni Muntadas, los "ferrofluidos" de Sachiko Kodama, los colectivos marginados en Internet explorados por Abad, el "software art" de John Maeda, la instalación interactiva de Rafael Lozano-Hemmer, las pinturas digitales de Evru, la instalación de Daniel Canogar (artista mencionado anteriormente), las "bestias de la playa" de Jansen, junto a las obras de Chico MacMurtrie, Ben Rubin y Mark Hansen, Vuk Cosic, Pierre Huyghe y las creaciones de Natalie Jermijenko y Ángel Borrego; piezas que tomamos como referencia para desarrollar nuestro proyecto.

3.5. Interacción

Logramos la interacción de la obra con el espectador a raíz de una exploración a nivel técnico de diferentes formas. A continuación, explicamos brevemente varias de las pruebas realizadas para conseguir la interacción en el espacio.

La primera interacción que programamos para configurar el programa y corroborar que todo funcionase fue con el ratón. Una vez terminado, pasamos al uso de hardware específico para conseguir la interacción con el espectador en el espacio. Luego pasamos al uso de sensores de presencia (véase fig. 35) que conectamos a una placa Arduino¹⁴ (véase fig. 36) modelo concreto de Arduino Uno para este proyecto y creamos el *software* de interacción para trabajar con los datos recogidos del mundo exterior.



Fig. 35. Módulo sensor de movimiento Arduino.



Fig. 36. Imagen placa Arduino Uno. Hardware de interacción

A nivel plástico hemos desarrollado mediante el programa *Blender*¹⁵ un esqueleto donde introducir el sensor para que no interfiriera visualmente en la sala. Para ello,

¹⁴ Plataforma de código abierto que combina hardware y software fácil de manejar para construir proyectos electrónicos. Consultado en <https://www.arduino.cc>

¹⁵ Software gratuito para modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales con resultados profesionales. Consultado en <https://www.blender.org>

realizamos una serie de cálculos y pruebas de impresión de diferentes piezas con una impresora 3D, donde incrustamos el sensor a la pieza impresa, ocultando los cables desde los que se conecta a la placa Arduino (véase figs. 37 y 38). Para los sensores de presencia, hemos desarrollado además unas aletas para interferir en la señal de recepción del sensor, enfocándolo así a un único rango adaptado al acondicionamiento de la sala. Sin embargo, la complejidad de distribuirlos por toda la sala junto con su corto nivel de alcance decidimos probar otros métodos de interacción en nuestro proyecto.

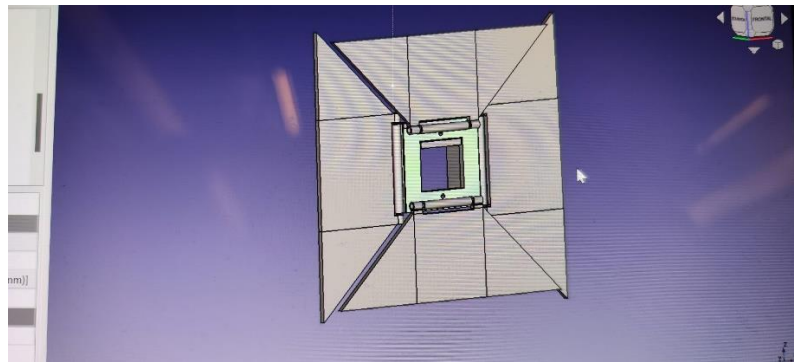


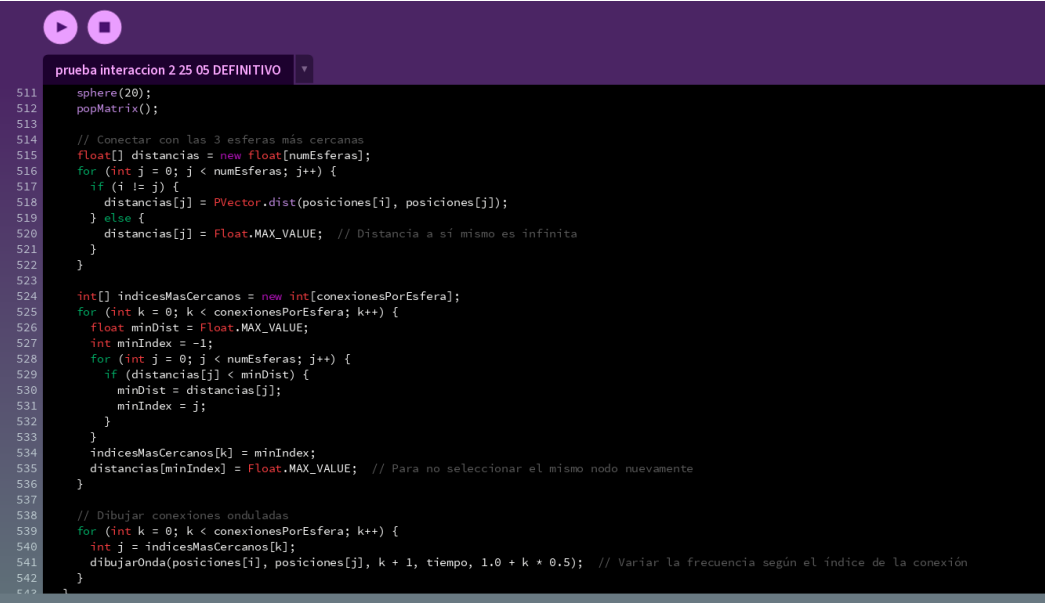
Fig. 37. Captura modelo 3D.



Fig. 38. Imagen sensores de presencia con carcasas impresas en 3D.

Elegimos dos medios diferentes de interacción: la *webcam* como sensor de movimiento para el movimiento de las imágenes y el sensor *Kinect* para explorar la red neuronal en sus tres dimensiones.

Para detectar el movimiento del espectador utilizando la cámara como sensor de movimiento hemos implementado un código que captura el vídeo transmitido por la *webcam* en tiempo real, identificando cuándo se produce movimiento y en qué coordenadas del campo de visión se produce este, especificando la posición del espectador en el espacio. Este código lo explicaremos con mayor detenimiento en el Anexo II, profundizando los principios de la programación (véase fig. 39).



```

511 sphere(20);
512 popMatrix();
513
514 // Conectar con las 3 esferas más cercanas
515 float[] distancias = new float[numEsferas];
516 for (int j = 0; j < numEsferas; j++) {
517   if (i != j) {
518     distancias[j] = PVector.dist(posiciones[i], posiciones[j]);
519   } else {
520     distancias[j] = Float.MAX_VALUE; // Distancia a sí mismo es infinita
521   }
522 }
523
524 int[] indicesMasCercanos = new int[conexionesPorEsfera];
525 for (int k = 0; k < conexionesPorEsfera; k++) {
526   float minDist = Float.MAX_VALUE;
527   int minIndex = -1;
528   for (int j = 0; j < numEsferas; j++) {
529     if (distancias[j] < minDist) {
530       minDist = distancias[j];
531       minIndex = j;
532     }
533   }
534   indicesMasCercanos[k] = minIndex;
535   distancias[minIndex] = Float.MAX_VALUE; // Para no seleccionar el mismo nodo nuevamente
536 }
537
538 // Dibujar conexiones onduladas
539 for (int k = 0; k < conexionesPorEsfera; k++) {
540   int j = indicesMasCercanos[k];
541   dibujarOnda(posiciones[i], posiciones[j], k + 1, tiempo, 1.0 + k * 0.5); // Variar la frecuencia según el índice de la conexión
542 }

```

Fig. 39. Captura del entorno de programación en *Processing*.

Para la interacción con la red neuronal en un entorno 3D hemos utilizado un sensor *Kinect* (véase fig. 40) permitiendo una detección precisa en tiempo real del esqueleto del espectador en el programa. Esto incluye la identificación de articulaciones clave, la posición y el seguimiento del usuario. El espectador es reconocido por el sensor y determina sus coordenadas en los tres ejes (x, y z) localizando los diferentes puntos del cuerpo (cabeza, hombros, codos, brazos, abdomen, rodillas y pies) en el espacio. Para la obra, programamos el sensor utilizando la coordenada de la cabeza en sus tres ejes de coordenadas para mover la cámara del entorno 3D. De este modo, el espectador puede moverse a través del entorno, explorando cada una de las conexiones neuronales. El *zoom* y rotación

a través de la malla facilita la inspección detallada de las conexiones neuronales y sus variaciones en tiempo real en respuesta a los movimientos del espectador en el espacio. Así pues, ofrecemos controles intuitivos que mejoran la exploración visual de la red neuronal, proporcionando a los espectadores una mayor comprensión de la complejidad de las conexiones neuronales. Nuevamente, explicaremos este apartado con mayor detenimiento en el Anexo II.



Fig. 40. Sensor *Kinect*

Cabe destacar el gran número de horas implicadas en el diseño y desarrollo (programación) del proyecto. Una serie de pruebas y error que evolucionan el proyecto plástico. La capacidad del sensor *Kinect* para interpretar los datos de manera eficiente es crucial para el éxito de este proyecto, ya que proporciona una base sólida sobre la cual se construye toda la interacción del espectador.

4. Obra final. *Bucles Neuronales: un diálogo entre el humano y la máquina*

Bucles Neuronales: un diálogo entre el humano y la máquina es una instalación interactiva en la que el espectador se relaciona en un espacio donde la tecnología tiene carácter protagónico. Esta obra está compuesta por proyecciones, sonido ambiental y vídeo; trabajado en programación para lograr cambios en la obra.

Expuesta en el laboratorio de vídeo, *Bucles Neuronales* consta de una gran proyección de una red neuronal en un entorno 3D donde los enlaces entre neuronas oscilan, variando el color de la red. Un sensor *Kinect* reconoce la posición del espectador en el espacio, generando un movimiento en la cámara de la red neuronal y creando una experiencia inmersiva donde el espectador recorre la red.

Hacemos uso de dos proyectores colgados del techo para no interferir la proyección con la silueta del espectador y una tarjeta de vídeo para hacer uno de ambos proyectores.

Nuestra idea principal consistía en hacer uso de los tres proyectores del laboratorio de vídeo, pero debido a un fallo de *software* de la tarjeta de vídeo nos obligamos a prescindir de uno de ellos. Sin embargo, acotar el espacio de interacción resultó fructífero debido al campo restringido del sensor *Kinect*. De este modo, conseguíamos interacción en toda la sala. Este espacio es acotado por la pantalla retroiluminada, escondiendo un foco tras de sí acorde a la paleta de color del proyecto, simulando la conciencia del espectador que entra a la sala.

Por otra parte, una televisión muestra una fusión de imágenes generadas por inteligencia artificial. Estas imágenes varían según el movimiento del espectador en el espacio, captado por la *webcam*. Los cables y el ordenador que sostiene la obra se encuentran tras la pared, en una pequeña habitación. De este modo, dejamos un ambiente limpio donde el espectador puede moverse a su antojo.

Una fusión de sonidos humanos como la respiración y latidos del corazón inundan la sala, animando al espectador a no permanecer parado todo el tiempo. El ritmo de este sonido invita al individuo a variar su velocidad en el recorrido de la obra, ocasionando diferentes cambios en su entorno (véase figs. 41-45).

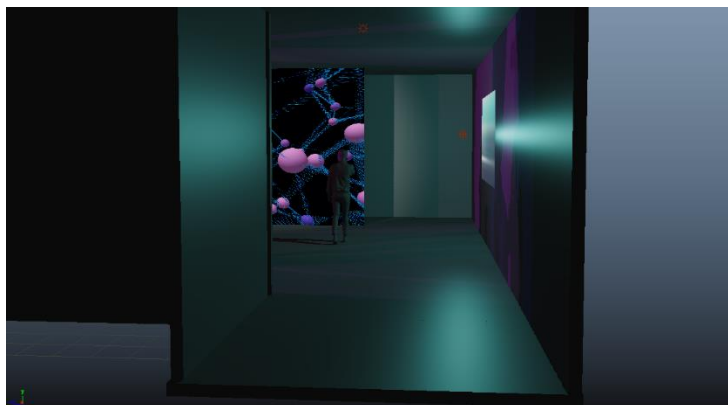


Fig. 41. Maqueta 3D de la exposición final.

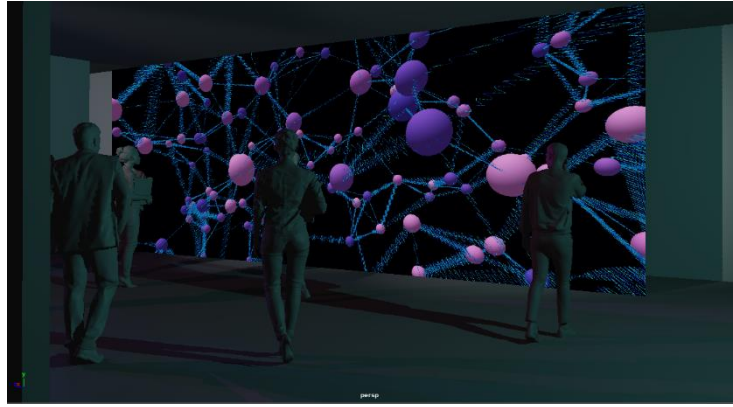


Fig. 42. Maqueta 3D de la exposición final.

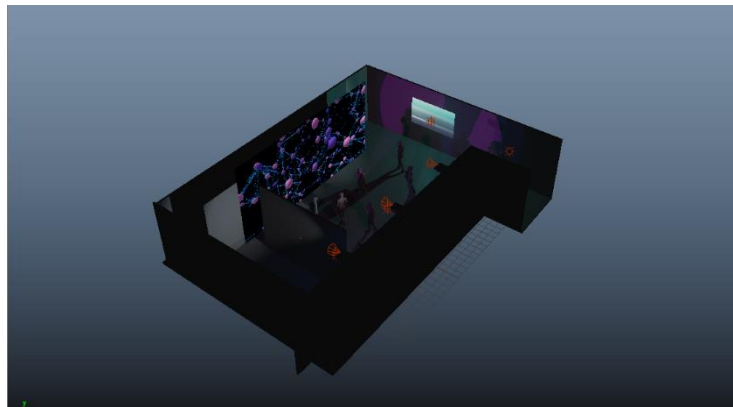


Fig. 43. Maqueta 3D de la exposición final.

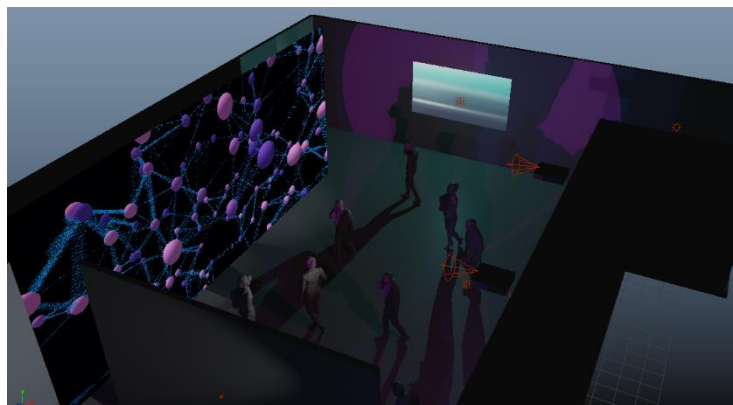


Fig. 44. Maqueta 3D de la exposición final.

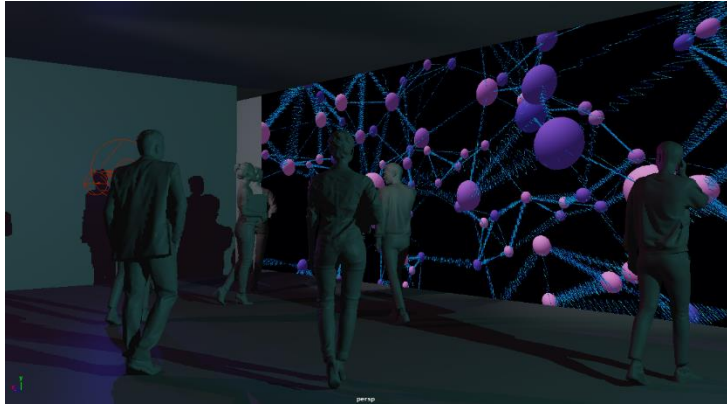


Fig. 45. Maqueta 3D de la exposición final.

5. Alcance del proyecto y maqueta de exposición

Trabajar con la inteligencia artificial supuso un reto desde el inicio, ya que abrir las puertas a un nuevo campo no experimentado hizo que ampliase los horizontes en la materia, queriendo abarcar un gran número de posibilidades. No obstante, fue necesario delimitar los límites del proyecto puesto que un tema tan amplio no era abordable. Fue así como decidimos trabajar con la relación humano-máquina en el espacio.

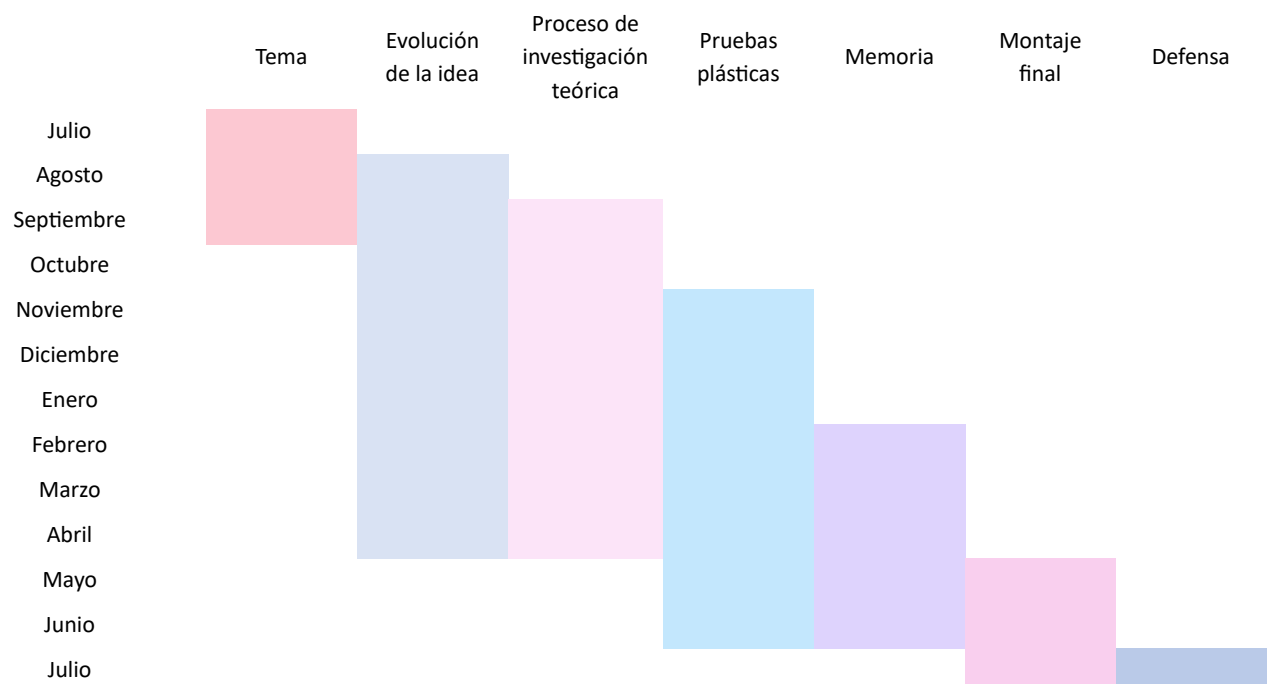
La integración de estas tecnologías no solo mejora la precisión y la interactividad del proyecto, sino que también abre la puerta a futuras mejoras y expansiones, como incorporar algoritmos de aprendizaje automático o diferentes sensores y dispositivos de entrada, como cámaras adicionales, para enriquecer aún más la experiencia del usuario y la precisión de la detección.

Trabajar con dos tutores de diferentes disciplinas, Eugenio Rivas Herencia en el ámbito del arte y Francisco Velasco Álvarez en telecomunicaciones, amplió el área de investigación y los recursos tecnológicos para este proyecto. Trabajar en ramas tan heterogéneas nos ayuda a construir un proyecto artístico transdisciplinar, nutriéndose de la ingeniería y el arte. Así creamos una red de relaciones en concordancia con nuestro proyecto, produciendo un flujo de conocimiento que de la que ambas áreas se alimentan.

La obra artística integra *hardware* avanzado de detección de movimiento con *software* de visualización gráfica para crear experiencias interactivas. Al combinar el sensor *Kinect* y cámaras de vídeo con el entorno de *Processing*, abrimos la puerta a la implementación de nuevas tecnologías en el campo de la práctica artística. Cabe destacar la complejidad de la programación de la obra, ya que ha sido una técnica que requería un gran número de horas debido a la prueba y error constante.

Bucles Neuronales abre la puerta a un campo de investigación y experimentación en la que me ha permitido descubrir una nueva línea de trabajo dando paso a un futuro como artista plástica en esta materia.

6. Cronograma



7. Presupuesto

Material	Precio/Unidad	Nº Unidades	Total
IPad Pro-2021	879,00 €	1	879,00 €
Adaptador HDMI-USB C	8,99 €	1	8,99 €
Cable HDMI	5,34 €	3	5,34 €
Proyector	499,00€	2	998 €
Alargador de cables	19,49 €	1	19,49 €
Ordenador MSI Thin GF63	800,00 €	1	800,00 €
Ordenador Torre	700,00 €	1	700,00 €
<i>Software Maya (3D)</i>	279,00 €	1	279,00 €
Kit Arduino	118,59 €	1	118,59 €
Rollo cable para Arduino	24,50 €	1	24,50 €
Sensores Arduino	10,00 €	10	100,00 €
Sensor Kinect	59,95 €	1	59,95 €
Anclaje proyector	30,00 €	3	30,00 €
Pantalla proyección	899,99 €	1	899,99 €
Foco	89,00 €	1	89,00 €
Extensor USB 1m	3,99 €	1	3,99 €
Extensor USB 3m	8,74 €	1	8,74 €
Adaptador USB - VGA	5,99 €	1	5,99 €
Televisión	369,00 €	1	369,00 €
Total			5399,57 €

8. Bibliografía

Baños, P. (2020). *El dominio mental: la geopolítica de la mente*. Ariel

Bermúdez Vázquez, M.; Vadillo Rodríguez, M. L.; Casares Landauro, E. (2022). *Humanismo Poliédrico. Nuevas apuestas de estética, arte género y ciencias sociales*. Dykinson, S. L.

Carmo, M. (2017). *The second digital turn: Design Beyond Intelligence*. MIT Press.

Fontcuberta, Joan. *La furia de las imágenes: notas sobre la postfotografía*. Barcelona: Galaxia Gutenberg, 2016. Print.

Hardy, T. (2001). *IA (inteligencia artificial)*. Polis: Revista Latinoamericana

Hawking, S. (2018). *Breves respuestas a las grandes preguntas*. Crítica.

Hofstadter, D. (2007). *Yo soy un extraño bucle*. Tusquets Editores.

Moreno, M. S. (2020) *Inteligencia artificial y los artistas*. Universidad del CEMA. Buenos Aires, Argentina.

Nagel, T. (1974). *¿Qué se siente ser murciélago?* Fondo de cultura económica

Páez, J.L. (1998). *Vida artificial, el nuevo paradigma*. Google Scholar

Portales, J.V. (2021). *La inteligencia artificial como gato de Schrödinger en el arte: objeto y sujeto de derecho*. Universidad de Málaga (UMA)

Rodríguez Ortega, N. (2020). *Inteligencia Artificial y campo del arte*. Departamento de Historia del Arte. Universidad de Málaga.

Searle, J. (2001). *Mentes y cerebros sin programas*. Cátedra Ediciones.

Webgrafía

Arduino - home. (n.d.). <https://www.arduino.cc/>

Blender Foundation. (n.d.). blender.org - Home of the Blender project – Free and Open 3D Creation Software. [blender.org. https://www.blender.org/](https://www.blender.org/)

colaboradores de Wikipedia. (2024, July 2). Hardware. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Hardware>

Clavoardiendo. (2024, enero 26). Joan Fontcuberta expone sus 'Nemotipos' generados con IA en Murcia. *Clavoardiendo Magazine*.

<https://clavoardiendo-magazine.com/actualidad/agenda/joan-fontcuberta-expone-sus-nemotipos-generados-con-ia-en-murcia/>

Extimidad - Wikcionario, el diccionario libre. (n.d.). Wikcionario. <https://es.wiktionary.org/wiki/extimidad>

Fernández, Y. (2023, June 26). Opera Aria: qué es, cómo funciona y qué puedes hacer con la inteligencia artificial basada en ChatGPT. Xataka. <https://lc.cx/f0yVWR>

Fernández, Y. (2024, March 9). Microsoft Copilot: qué es y cómo funciona este chat de inteligencia artificial. Xataka. <https://lc.cx/rx5-S2>

Leonardo.ai. (n.d.). ADIGITAL. <https://n9.cl/e9rxja>

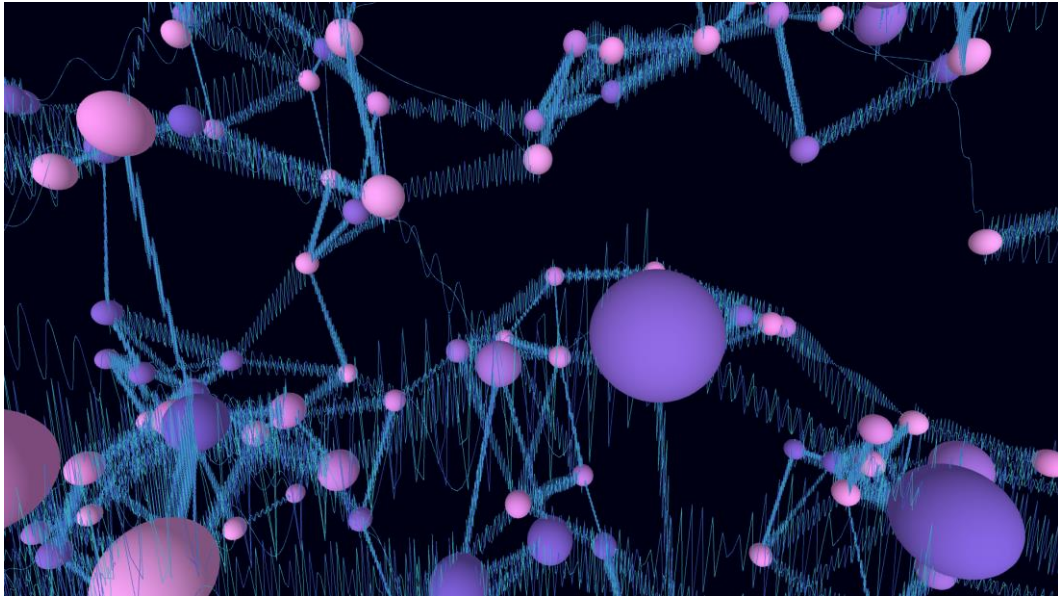
¿Qué es el machine learning (ML)? | IBM. (n.d.). <https://www.ibm.com/es-es/topics/machine-learning>

Thoth, & Thoth. (2024, January 17). ¿Qué es una máquina de Turing y cómo funciona? |. Formatalent Business School. <https://formatalent.com/que-es-una-maquina-de-turing-y-como-funciona/>

Timothy Morton | CCCB. (2017, October 25). CCCB. <https://www.cccb.org/es/participantes/ficha/timothy-morton/226550>

User. (2024, February 21). ¿Qué es un prompt en IA y para qué sirve? - PBS. Panamerican Business School. <https://lc.cx/1SpQRj>

Anexo I



Merche Caparrós de la Calle (2024, *Bucles Neuronales*) [Captura de la red neuronal. Formato de exposición en proyección de 4 x 2,5m. Programación en *Processing*]



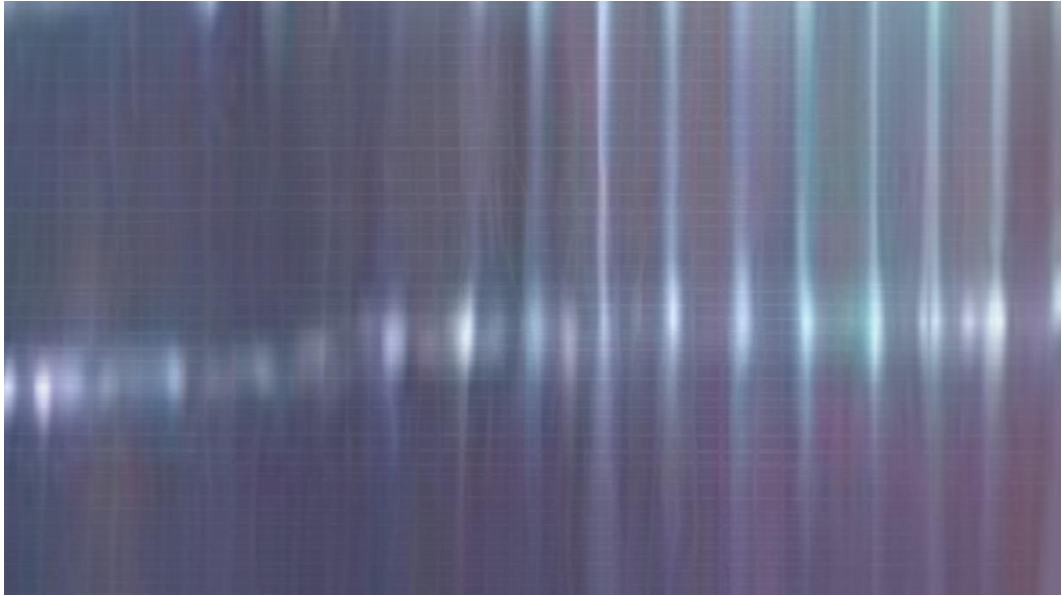
Merche Caparrós de la Calle (2024, *Bucles Neuronales*) [Captura generación de imágenes. Formato de exposición en televisión. Realizado con programación en *Processing*. Imágenes base extraídas de IA]

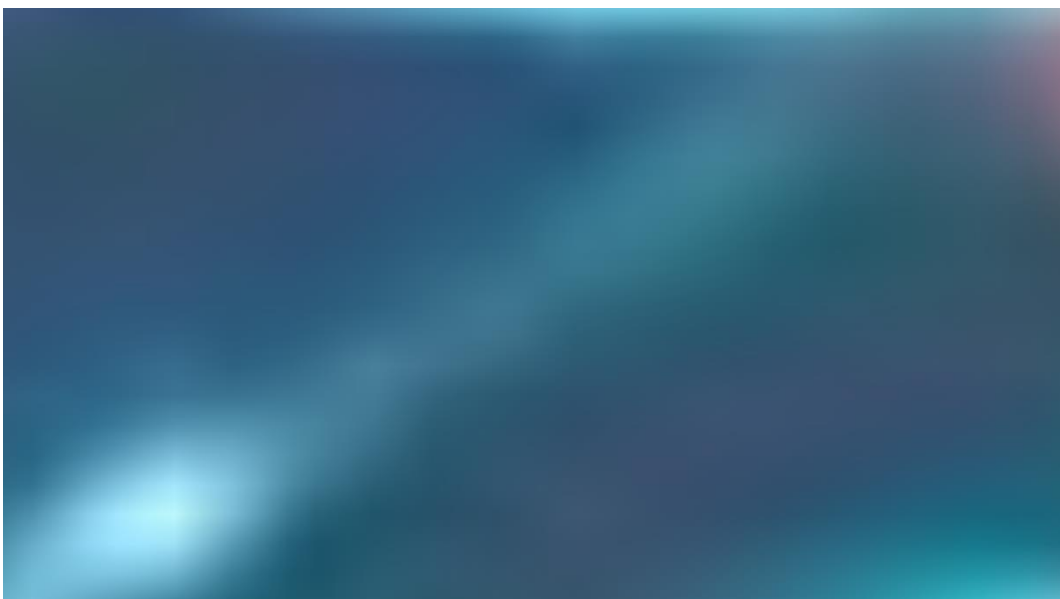
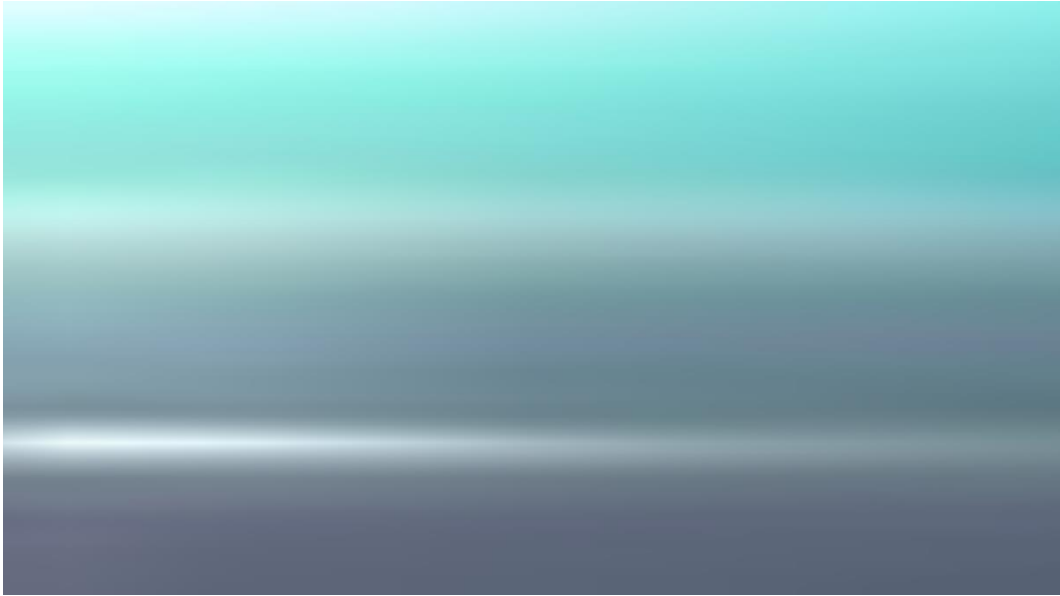


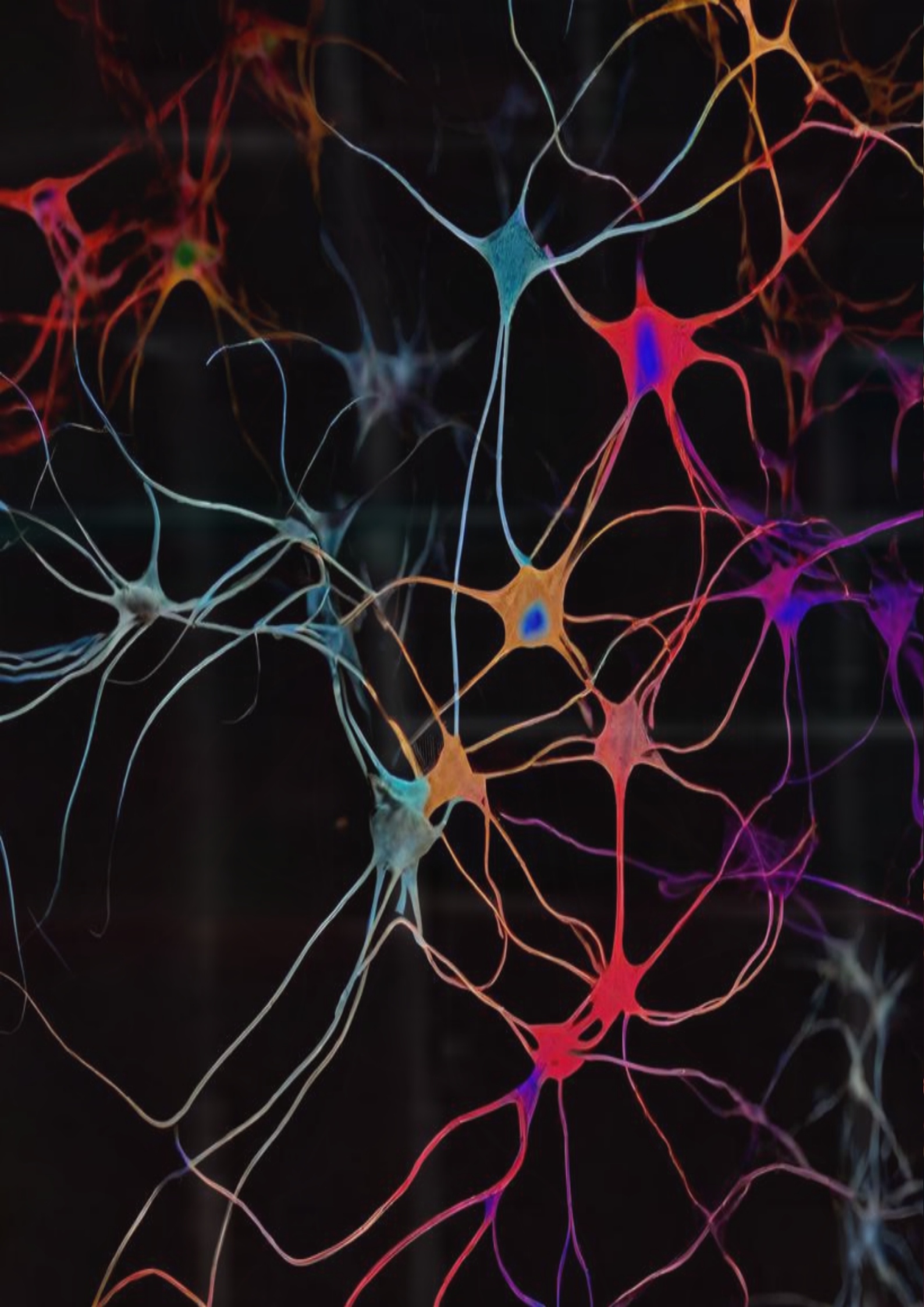
Merche Caparrós de la Calle (2024, *Bucles Neuronales*) [Maqueta 3D de la exposición final]

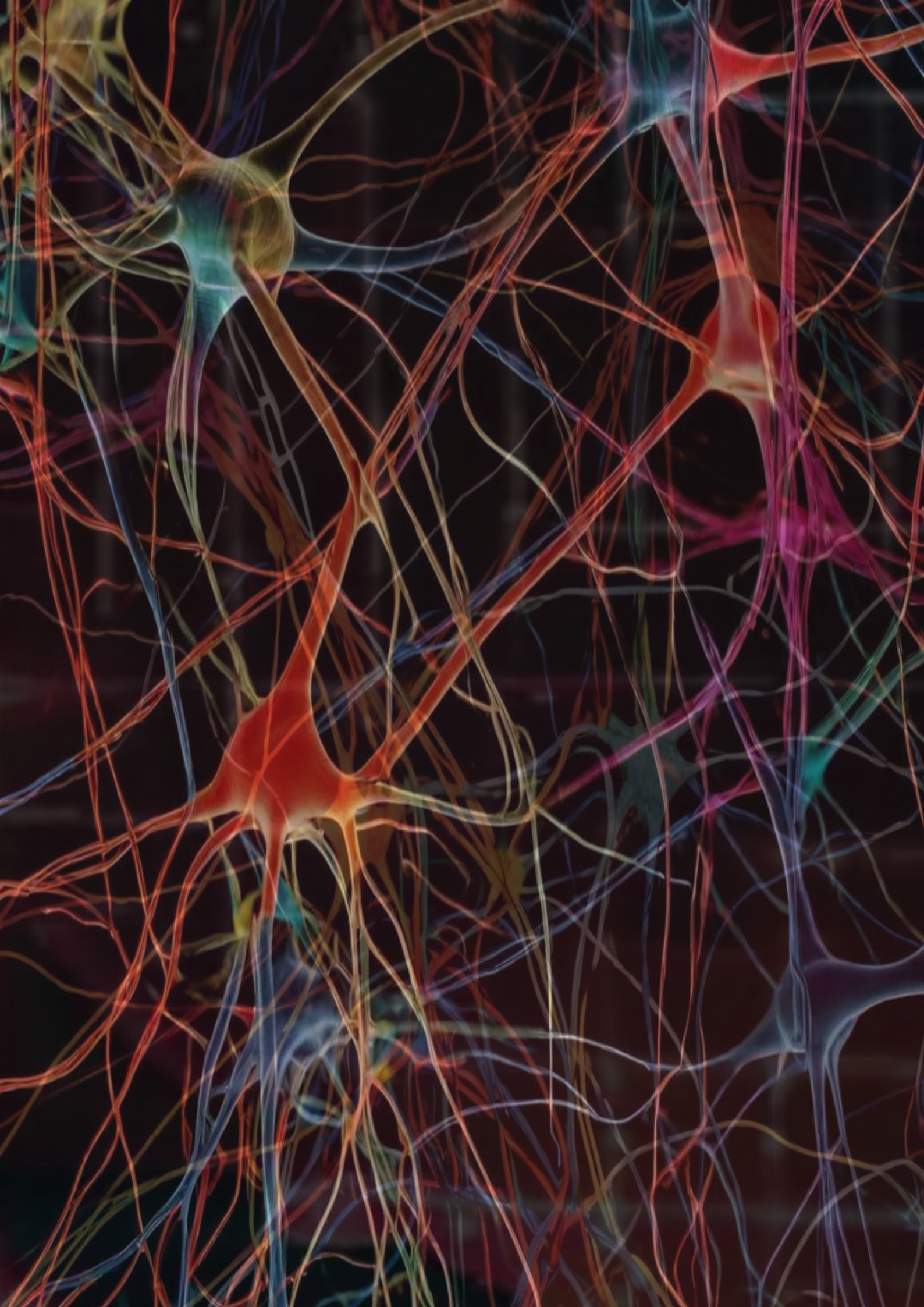
Enlace sonido audio:

[https://soundcloud.com/merche-caparros/audio-bucles-neuronales?si=eac75256b21f4e4aa01a62e8603bf6db&utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social sharing](https://soundcloud.com/merche-caparros/audio-bucles-neuronales?si=eac75256b21f4e4aa01a62e8603bf6db&utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social%20sharing)





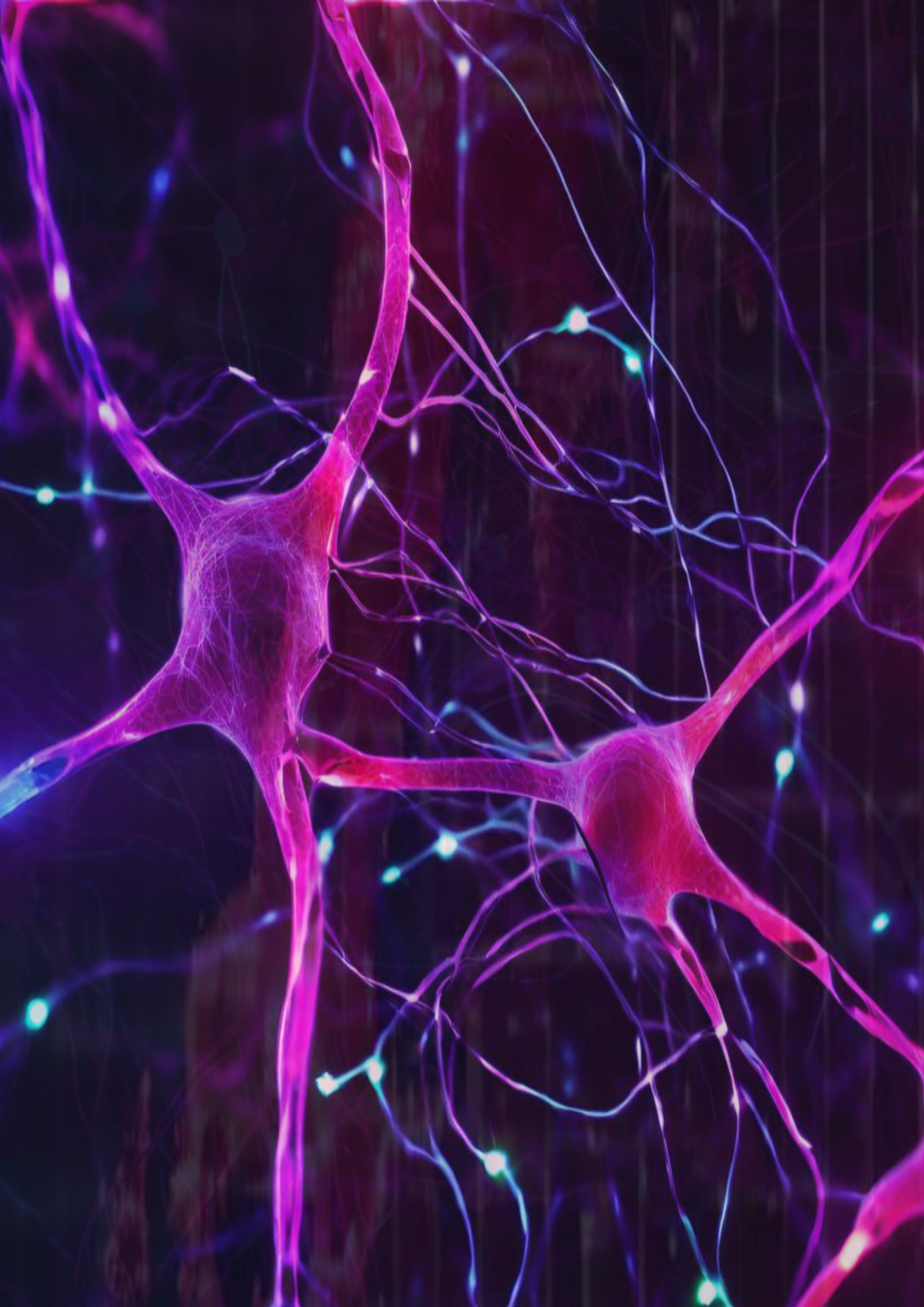




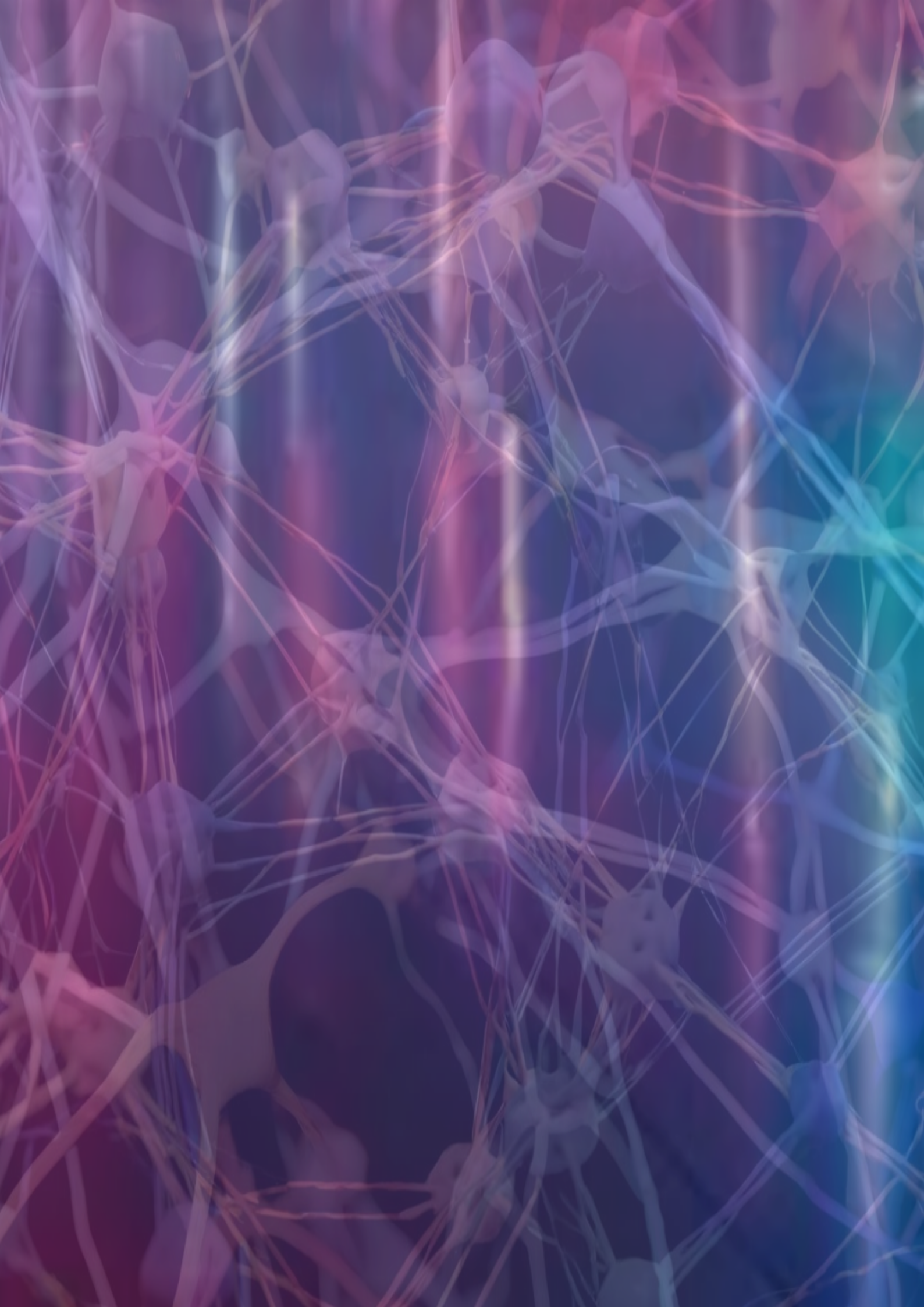










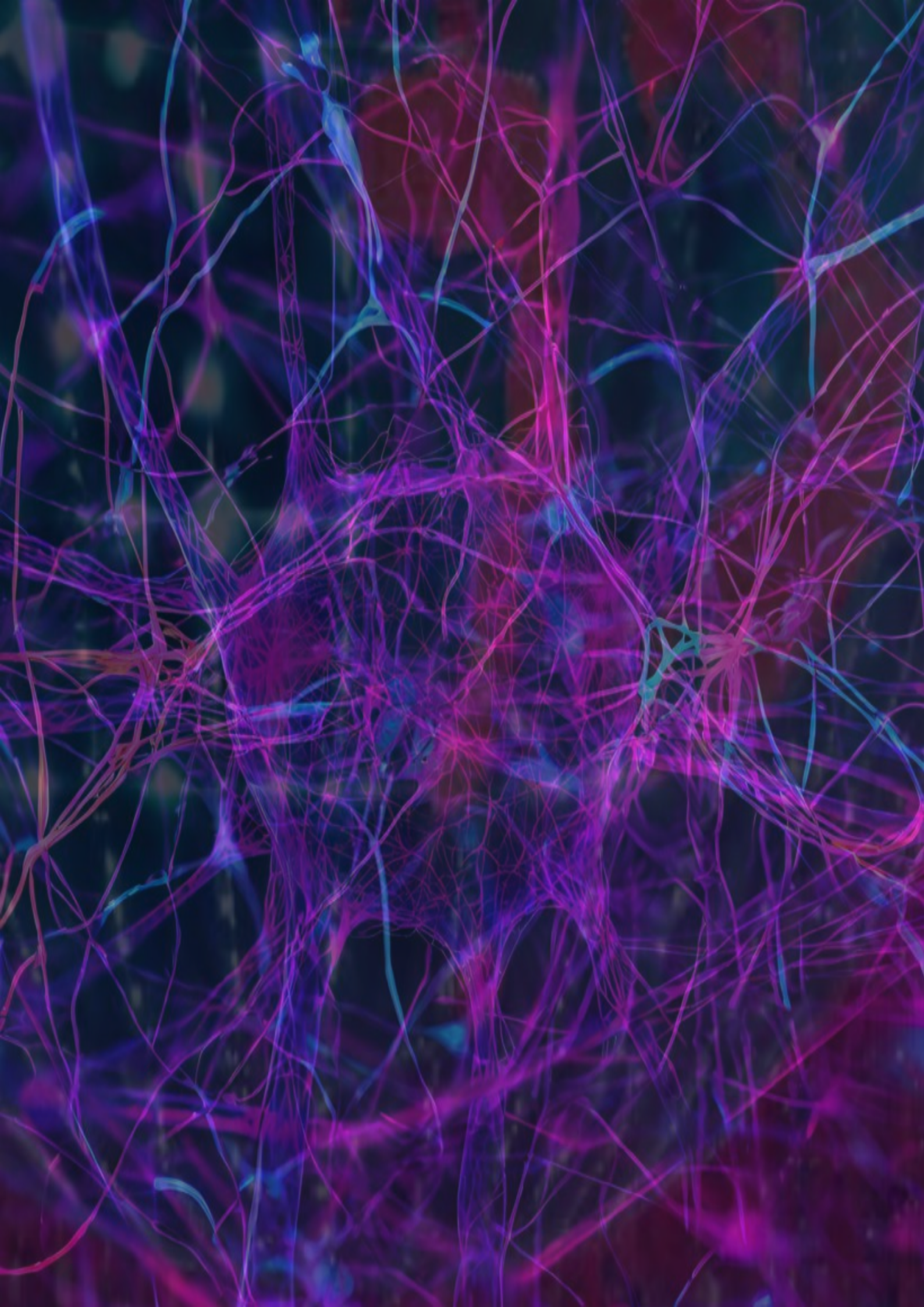


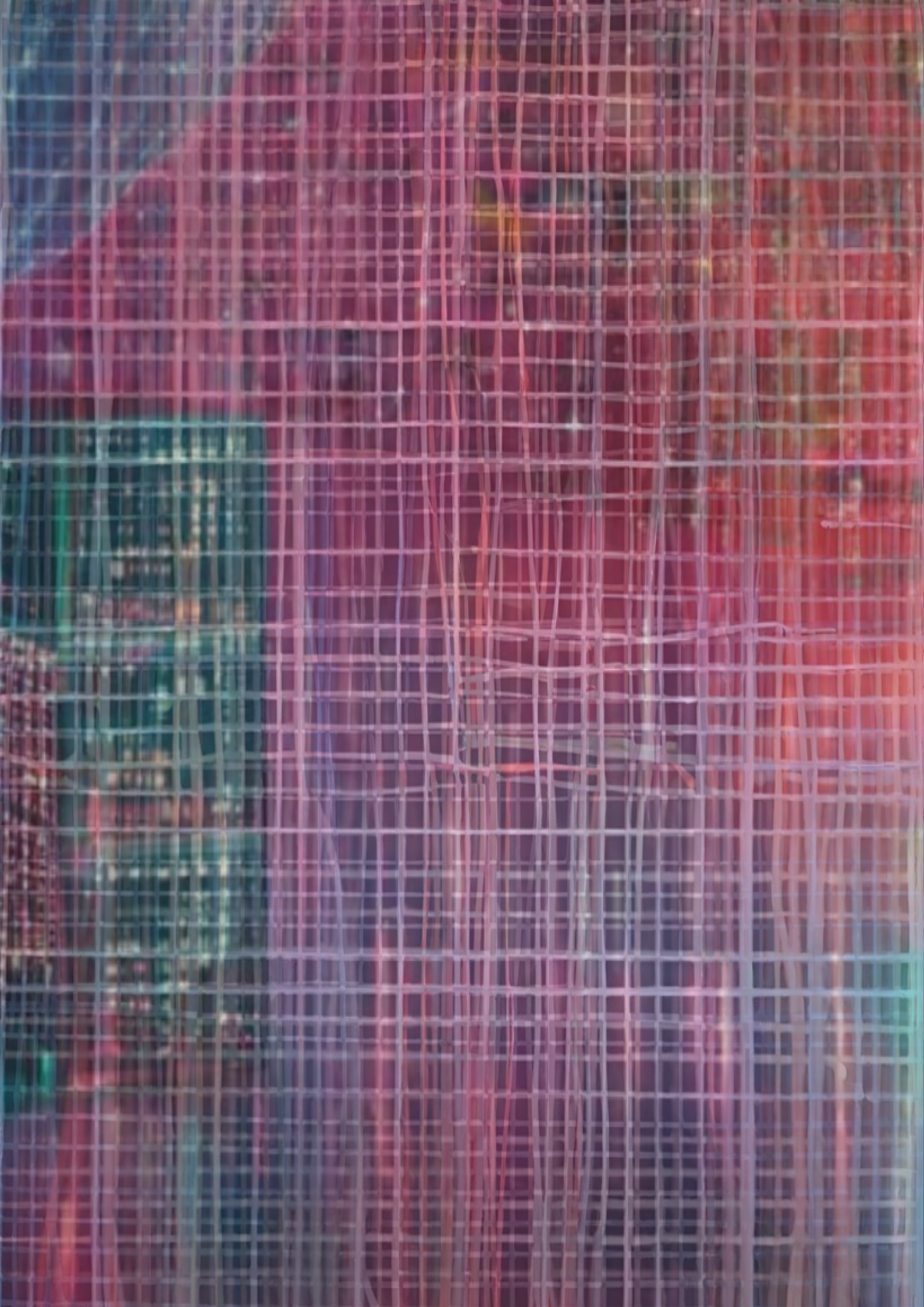


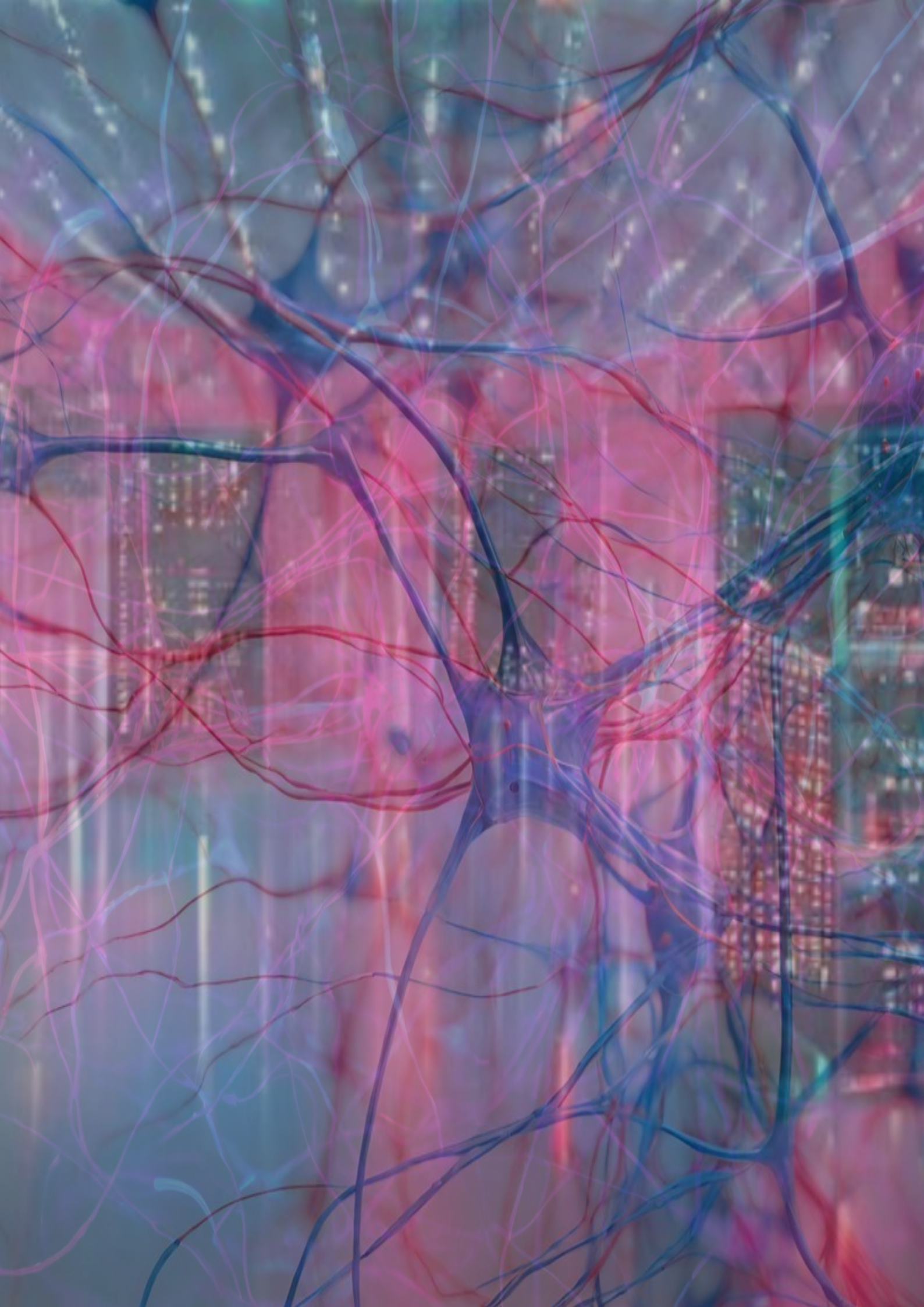


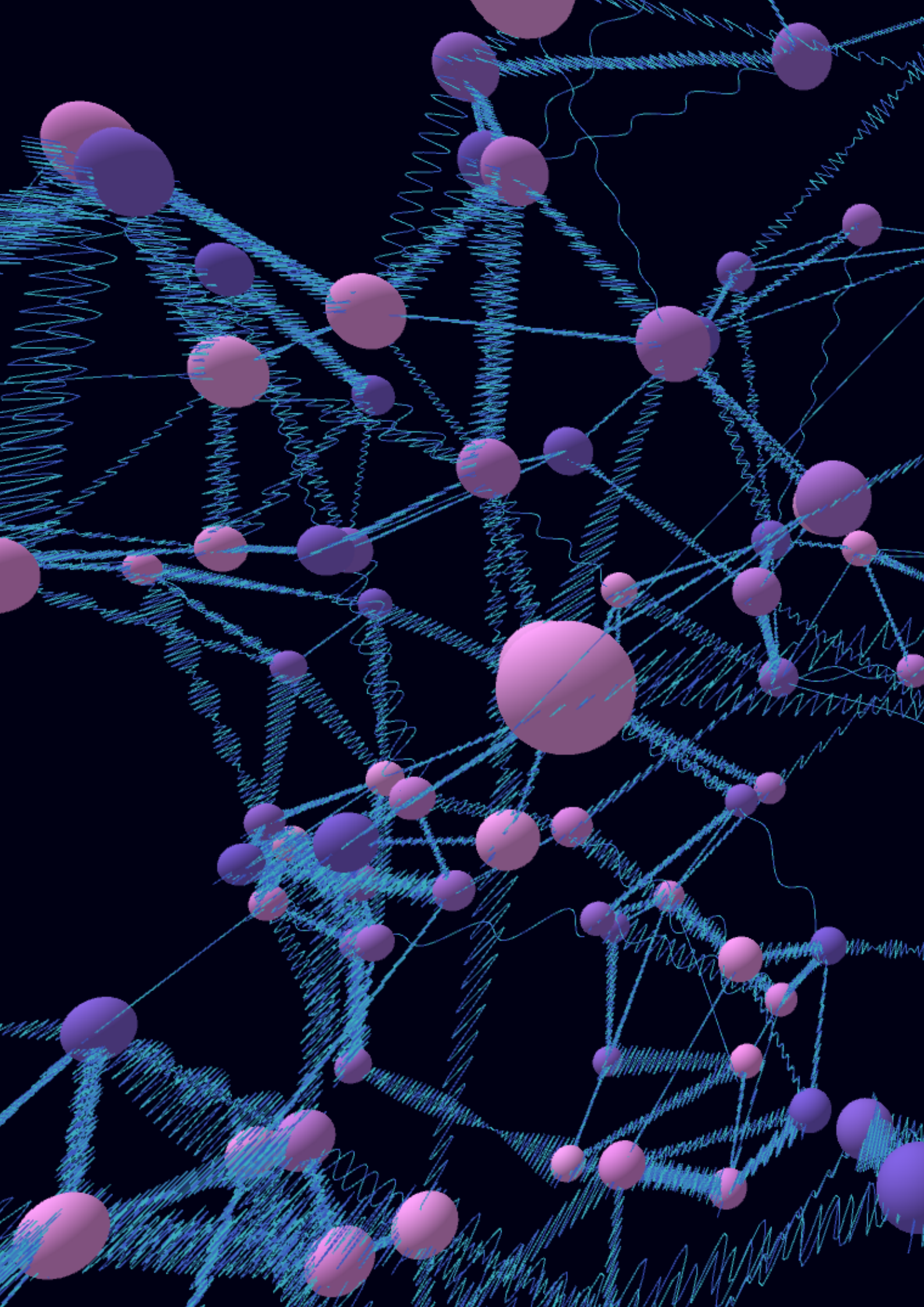


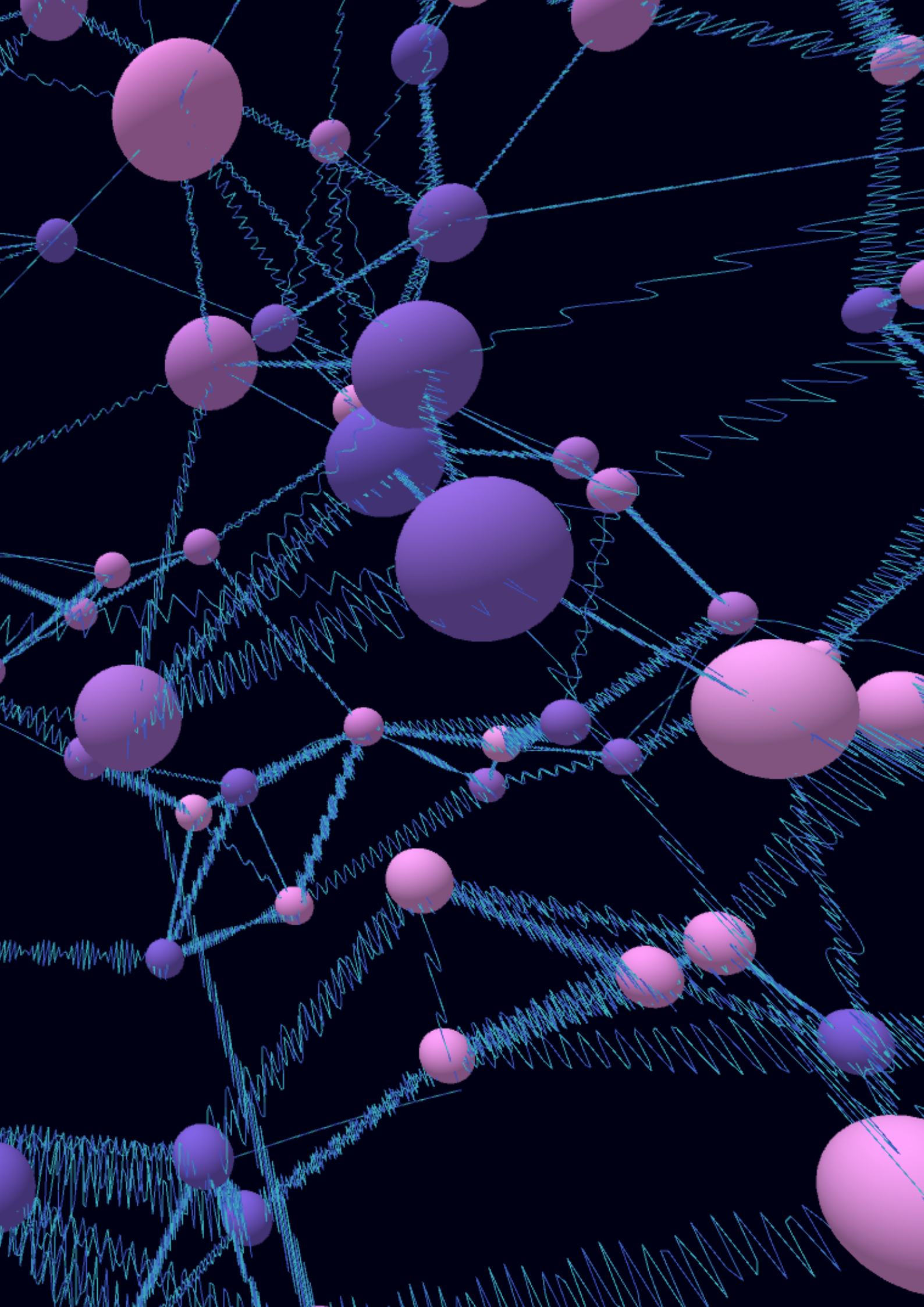


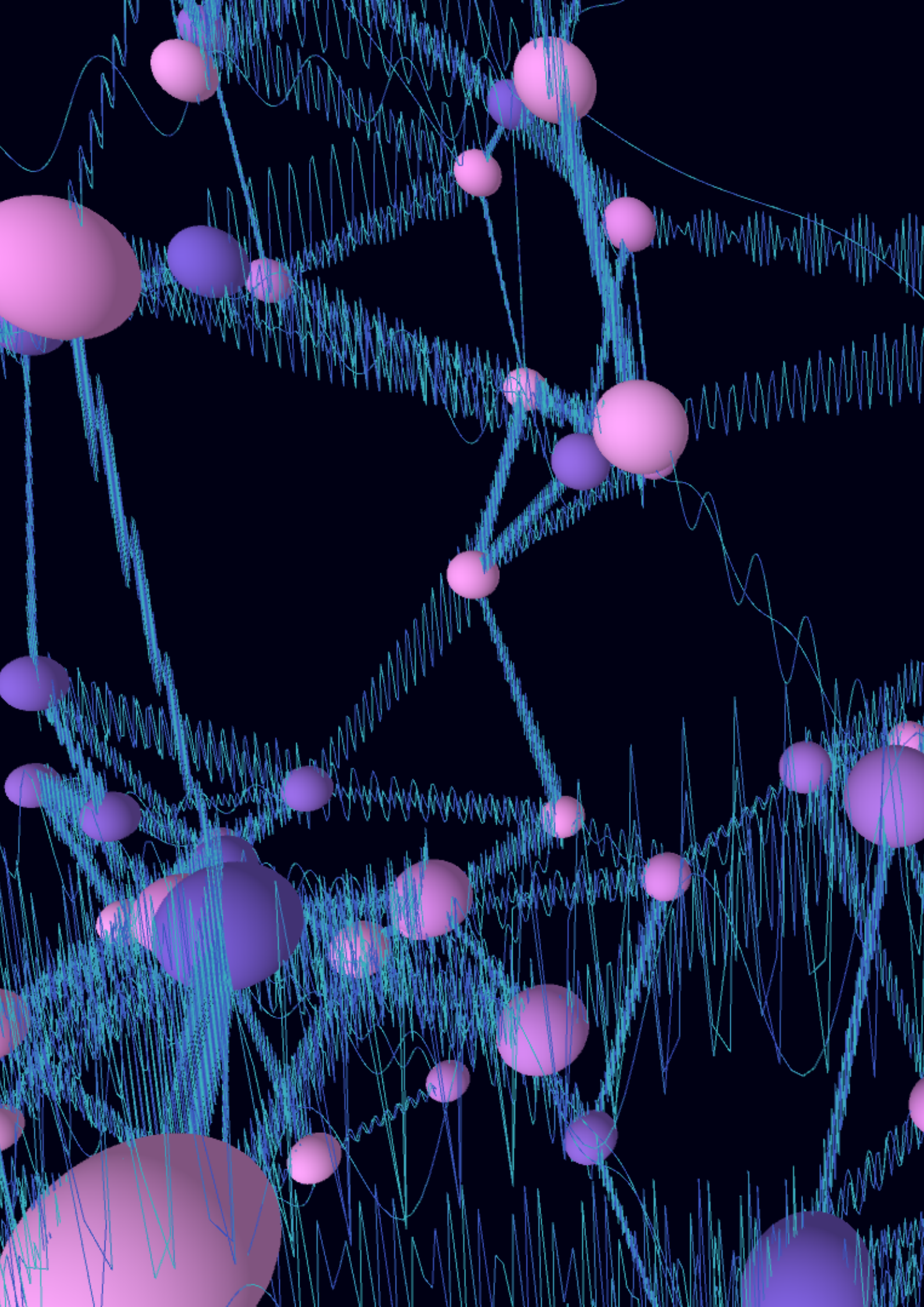


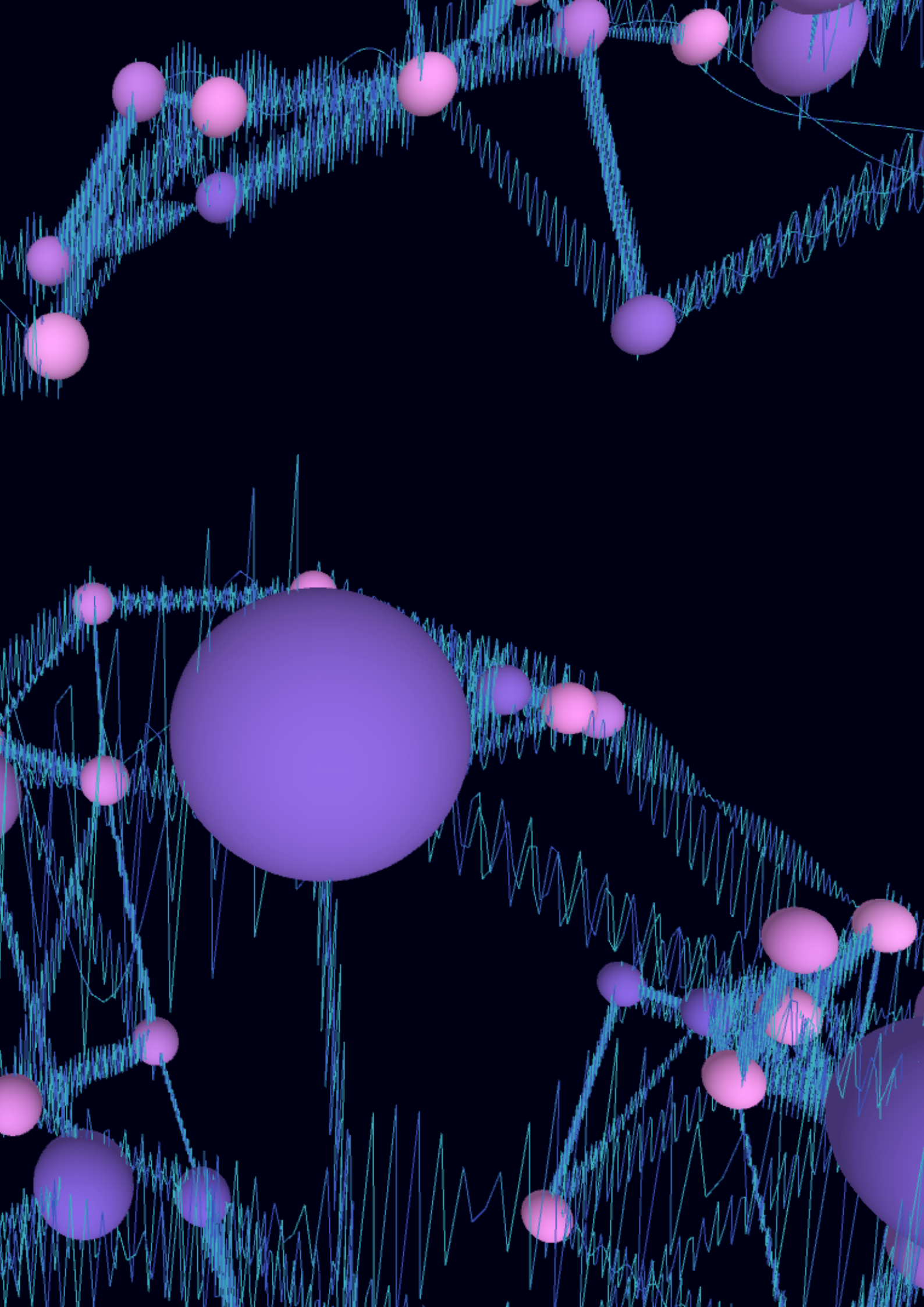


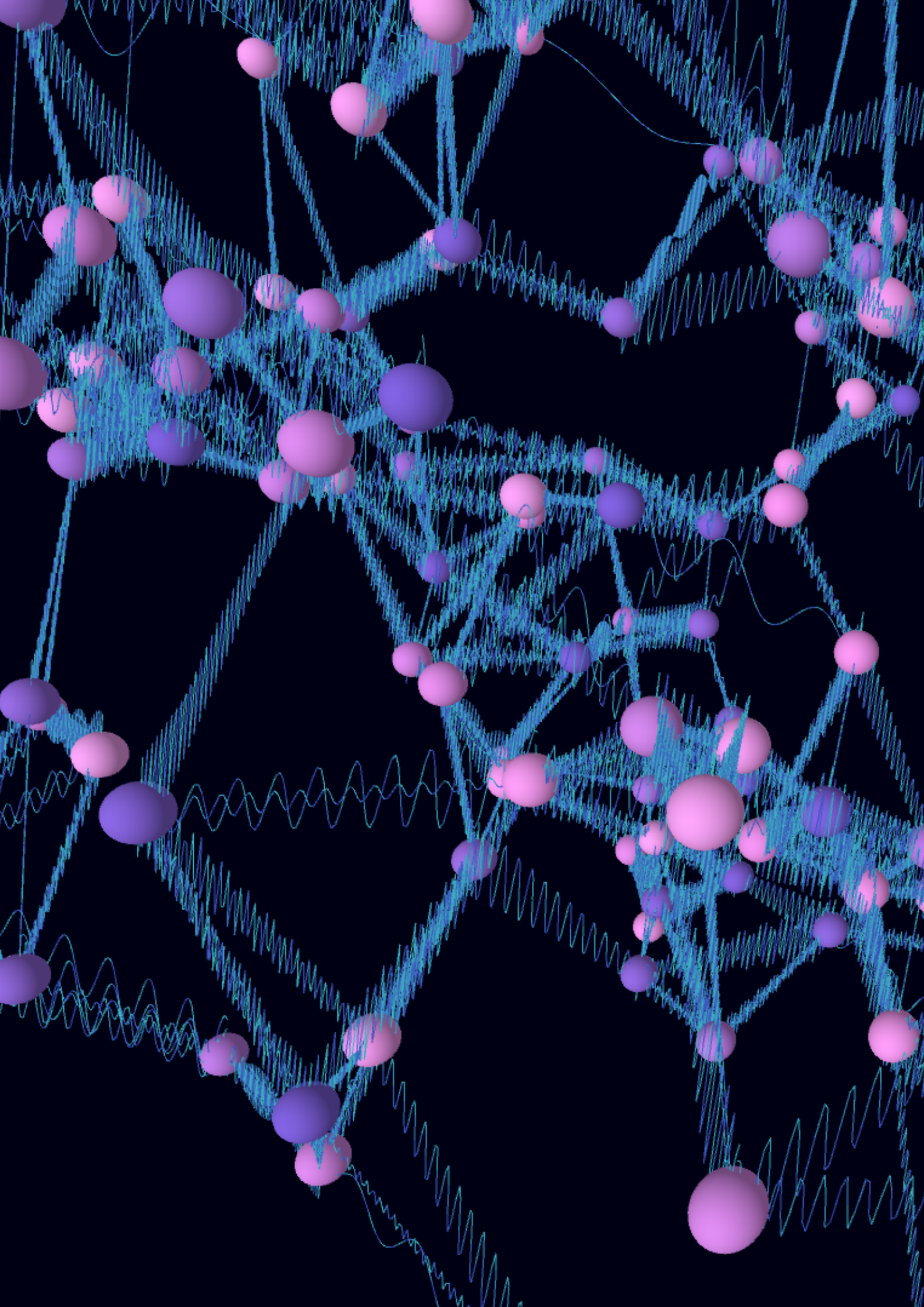


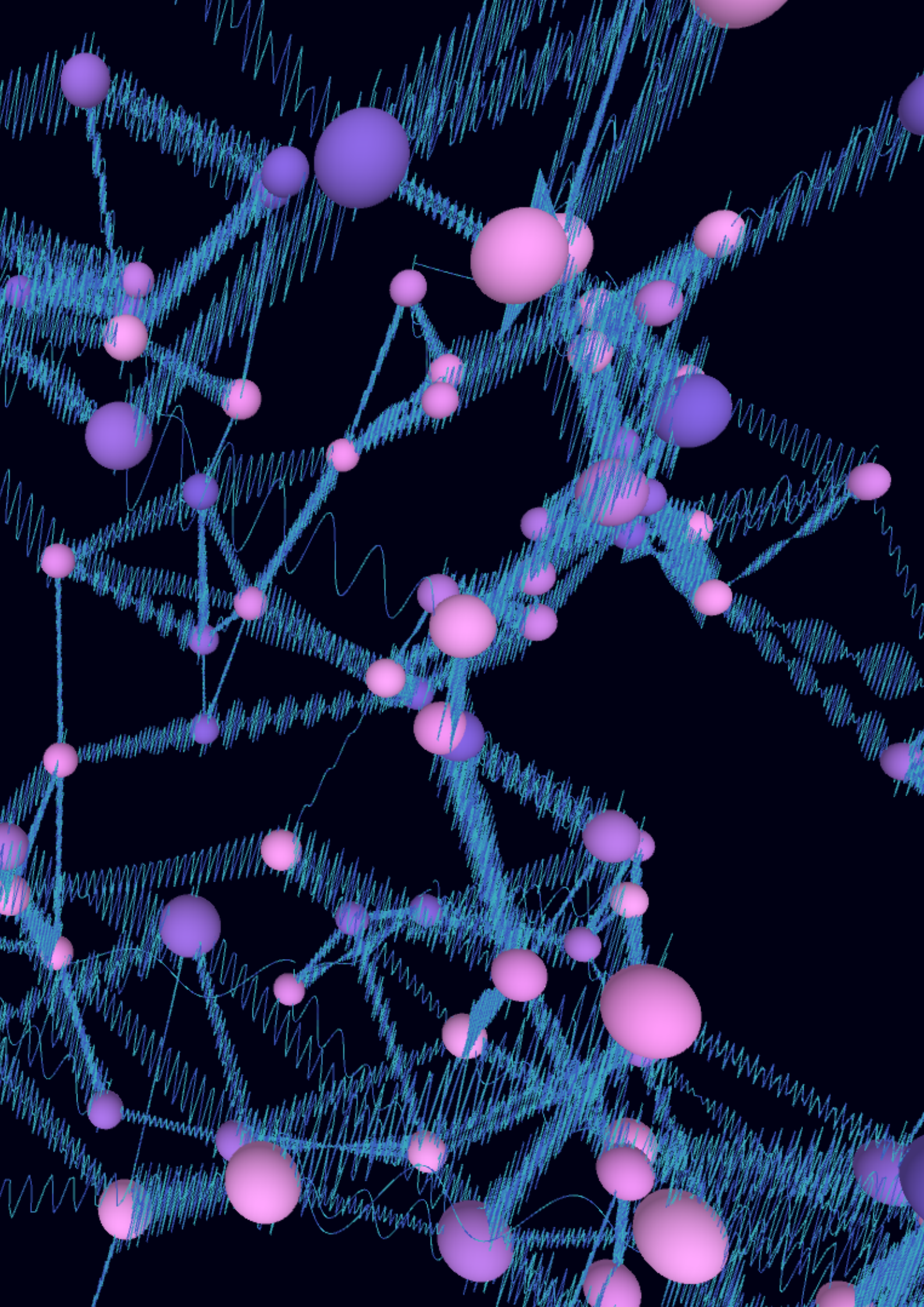


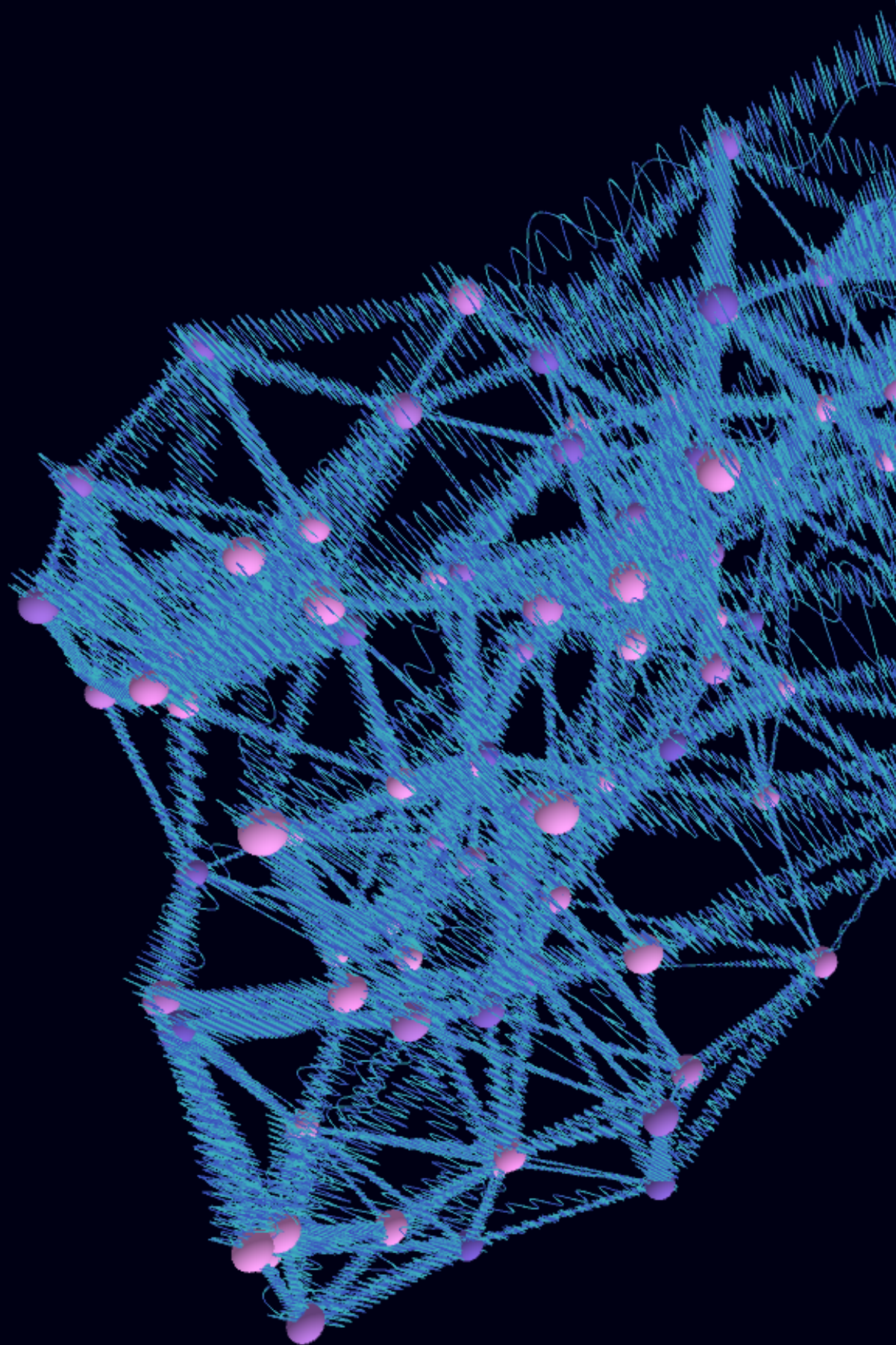


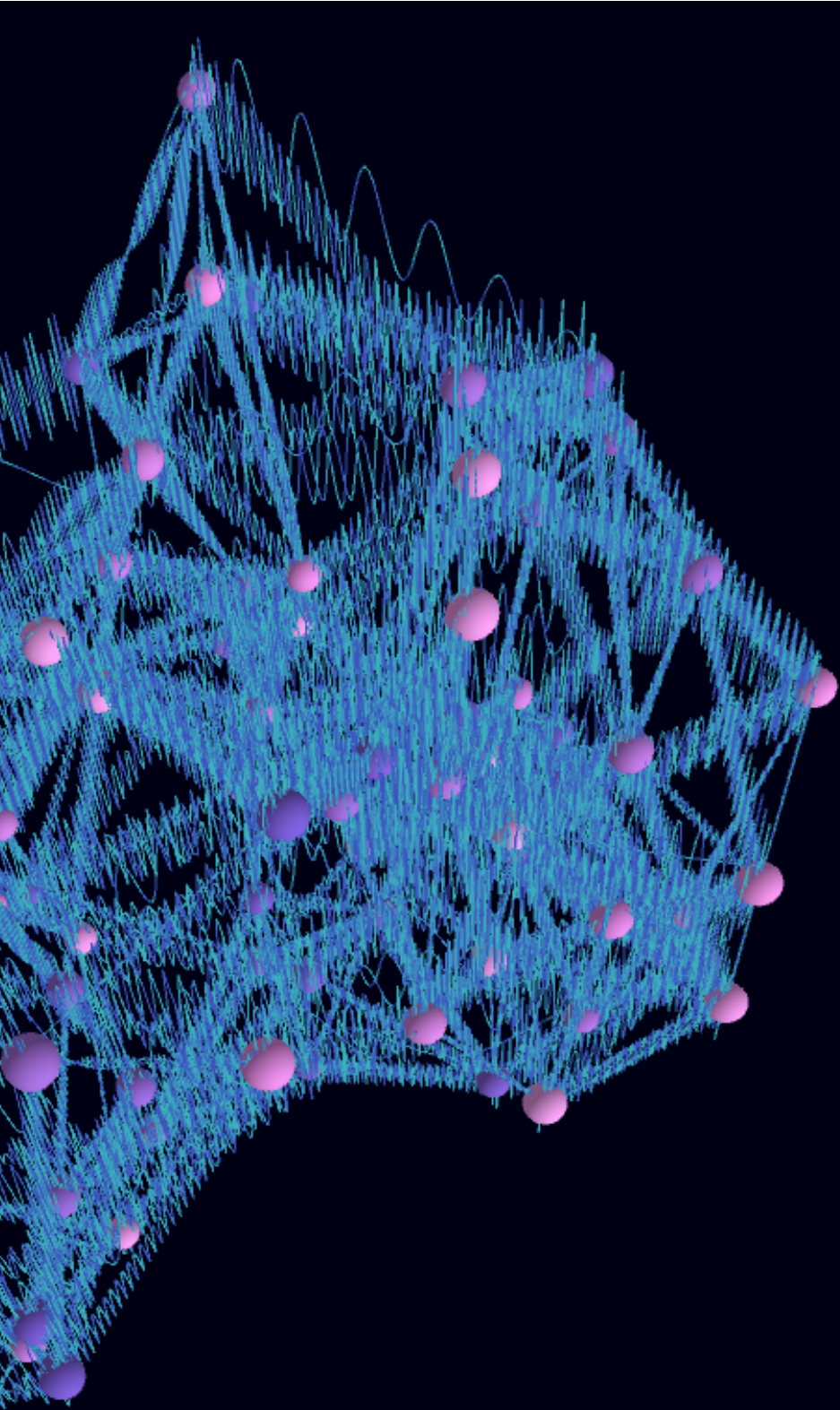












Anexo II

En este anexo explicaremos detalladamente el funcionamiento del código programación empleado en ambas piezas.

Red neuronal

El siguiente código en Processing es una implementación de una red neuronal que interactúa con el espectador utilizando un sensor Kinect. Esta interacción se visualiza mediante una serie de esferas conectadas entre sí, representando las neuronas, y se ve afectada por el movimiento del usuario capturado por el Kinect. Vamos a desglosar el código y explicar detalladamente cada sección.

En esta sección, importamos las librerías *peasy* y *SimpleOpenNI*, que se utilizan para manipular la cámara y para la interacción con el Kinect, respectivamente. Definimos varias variables globales, incluyendo el número de esferas (neuronas), sus posiciones, las conexiones por esfera, y varias otras para manejar la entrada del Kinect.

En esta sección, importamos las librerías *peasy* y *SimpleOpenNI*, que se utilizan para manipular la cámara y para la interacción con el Kinect, respectivamente. Definimos varias variables globales, incluyendo el número de esferas (neuronas), sus posiciones, las conexiones por esfera, y varias otras para manejar la entrada del Kinect.

- La función `ExampleUser3D()` actualiza la vista del Kinect, establece la posición de la escena, y dibuja un mapa de puntos proyectados en el espacio 3D. También dibuja los esqueletos de los usuarios detectados y su centro de masa si están disponibles.
- La función `drawSkeleton()` dibuja las extremidades del esqueleto de un usuario mediante la llamada a `drawLimb()`, que une dos puntos (*joints*) con una línea. También se dibuja la dirección del cuerpo del usuario.
- Las funciones `drawLimb()` y `drawJointOrientation()` dibujan las conexiones entre las articulaciones y las orientaciones de las mismas respectivamente. Utilizan las posiciones y orientaciones obtenidas del esqueleto del usuario.
- En la función `draw()`, actualizamos y dibujamos la visualización. Configuramos el fondo y las luces, y llamamos a `ExampleUser3D()` para dibujar la interacción del Kinect. Luego, dibujamos las esferas (neuronas) y las conexiones entre ellas, haciendo que estas últimas pulsen en tamaño con el tiempo.

- La función `onNewUser()` se llama cuando se detecta un nuevo usuario. Inicia la detección de pose para el nuevo usuario.
- La función `onLostUser()` se llama cuando un usuario se pierde (ya no es detectado). Solo imprime un mensaje indicando que el usuario se ha perdido.
- La función `onStartPose()` se llama cuando se detecta una pose específica (Psi). Detiene la detección de pose y solicita la calibración del esqueleto para el usuario.
- La función `onEndCalibration()` se llama cuando termina el proceso de calibración. Si la calibración es exitosa, inicia el seguimiento del esqueleto del usuario. Si falla, reinicia la detección de pose.

En este proyecto, hemos implementado una visualización interactiva de una red neuronal utilizando Processing, integrando las capacidades de un sensor Kinect mediante la librería *SimpleOpenNI*. El objetivo principal de nuestro código es crear una experiencia visual dinámica donde la interacción del usuario con el sistema se refleje en tiempo real mediante una serie de esferas conectadas que representan neuronas.

Comenzamos importando las librerías necesarias, *peasy* y *SimpleOpenNI*, que nos permiten manipular la cámara y utilizar el sensor Kinect, respectivamente. Definimos varias variables globales que controlan el número de esferas, sus posiciones, las conexiones entre ellas, y las configuraciones iniciales del Kinect. Esto incluye la configuración del *zoom*, la rotación y la calibración automática del dispositivo.

En la función *setup*, configuramos la pantalla en modo 3D y inicializamos la cámara *PeasyCam* para la manipulación de la vista. Generamos posiciones aleatorias para las esferas, estableciendo un espacio tridimensional donde se moverán. También inicializamos el contexto de *SimpleOpenNI*, habilitando los mapas de profundidad y usuario, necesarios para captar y procesar la información del Kinect.

La función *ExampleUser3D* es crucial, ya que se encarga de actualizar la vista del *Kinect*, establecer la posición de la escena y dibujar un mapa de puntos proyectados en el espacio 3D. Además, esta función dibuja los esqueletos de los usuarios detectados y su centro de masa, proporcionando una representación visual de los datos capturados por el *Kinect*.

Para dibujar el esqueleto del usuario, utilizamos la función *drawSkeleton*, que traza las extremidades conectando los puntos (*joints*) del esqueleto. Esta función se apoya en *drawLimb* y *drawJointOrientation*, que dibujan las conexiones entre las articulaciones y las orientaciones de estas, respectivamente, utilizando las posiciones y orientaciones obtenidas del esqueleto del usuario.

La función *draw* se encarga de la actualización y renderización continua de la visualización. Establece el fondo y las luces, y llama a *ExampleUser3D* para integrar la interacción del Kinect. Luego, dibuja las esferas (neuronas) y las conexiones entre ellas, creando un efecto de pulsación en tamaño a lo largo del tiempo, lo que añade dinamismo a la visualización.

Además, hemos implementado funciones específicas para manejar los eventos relacionados con la detección y pérdida de usuarios (*onNewUser* y *onLostUser*), la detección de poses (*onStartPose*), y la calibración del esqueleto (*onEndCalibration*). Estas funciones aseguran que el sistema responda adecuadamente a los cambios en la detección del usuario, gestionando la inicialización y seguimiento del esqueleto de manera eficiente.

El código integra la detección de movimiento y la representación visual en tiempo real, utilizando *Processing* y *SimpleOpenNI*. La interacción del usuario con el sensor *Kinect* se traduce en cambios dinámicos en una red neuronal visualizada tridimensionalmente, ofreciendo una experiencia envolvente y altamente interactiva. Este enfoque permite explorar las posibilidades de la interacción humano-computadora en el contexto de visualizaciones de datos complejas y animadas.

Imágenes generadas por IA

En este proyecto, hemos desarrollado un programa en *Processing* que utiliza un repertorio de imágenes generadas por inteligencia artificial, las cuales se combinan mediante la función *blend()* en respuesta al movimiento del espectador captado por una cámara web. A continuación, describimos detalladamente el funcionamiento del código.

En primer lugar, definimos e inicializamos varias variables globales necesarias para gestionar las imágenes y la detección de movimiento. Creamos un arreglo de imágenes (*PImage[] images*) y variables para almacenar el índice de la imagen actual, la cantidad de imágenes (*numImages*), y un arreglo para el orden aleatorio de las imágenes. Adicionalmente, importamos la biblioteca de video de *Processing* y definimos variables para gestionar la captura de video y el análisis de píxeles, incluyendo el arreglo *previousFrame* para almacenar el cuadro de video previo, y las coordenadas *brightestX* y *brightestY* para identificar la ubicación del píxel más brillante en el video.

En la función `setup()`, configuramos el entorno de visualización en pantalla completa y establecemos una velocidad de fotogramas adecuada para el procesamiento de video. Inicializamos el índice `n` con un valor aleatorio dentro del rango del número de imágenes disponibles, y cargamos las imágenes en el arreglo `images`, escalándolas al tamaño de la pantalla. También configuramos la cámara para capturar video y almacenamos el número de píxeles en el cuadro de video.

La función `draw()` se ejecuta continuamente, actualizando la visualización. En primer lugar, detectamos el movimiento analizando las diferencias entre el cuadro de video actual y el cuadro anterior. Leemos el nuevo cuadro de la cámara, cargamos sus píxeles y calculamos la diferencia de brillo entre los píxeles actuales y los anteriores, sumando las diferencias para determinar el movimiento total en el cuadro. Luego, promediamos los valores de los píxeles en una vecindad definida para suavizar la imagen resultante y minimizar el ruido. Identificamos el píxel más brillante en el cuadro de video, que representa el punto de mayor movimiento, y almacenamos sus coordenadas.

Si se detecta movimiento significativo, actualizamos la pantalla con los valores de píxeles calculados y dibujamos un círculo amarillo en la ubicación del píxel más brillante para visualizar el punto de mayor movimiento.

Utilizamos la función `blend()` para combinar varias imágenes de forma dinámica. Dependiendo de las coordenadas de los píxeles más brillantes detectados por la cámara, las imágenes se mezclan utilizando diferentes modos de fusión, tales como `DARKEST`, `LIGHTEST` y `DIFFERENCE`. Además, iteramos a través de todas las imágenes, calculando la opacidad de cada imagen basada en la distancia entre el píxel más brillante y las posiciones de las imágenes en el arreglo. Aplicamos la opacidad calculada y utilizamos la función `blend()` para superponer las imágenes con la opacidad y el modo de fusión correspondientes, creando un efecto visual dinámico y responsivo al movimiento del espectador.

El código crea una instalación interactiva donde un conjunto de imágenes generadas por inteligencia artificial se mezcla de manera dinámica en respuesta al movimiento del espectador, captado por una cámara web. La detección de movimiento se realiza mediante la comparación del cuadro de video actual con el cuadro anterior, identificando el píxel más brillante que representa el punto de mayor movimiento. Las imágenes se combinan utilizando la función `blend()` con diferentes modos de fusión, resultando en un efecto

visual que responde en tiempo real a la presencia y movimiento del espectador, proporcionando una experiencia inmersiva y dinámica.