Exo-Sistemas: Emergencia biológica, co creación interespecies.

Autoría : Omar Vidal Porras Ruiz

Tutor: Dr.Hugo Solis García

Licenciatura : Arte y comunicación digital

Departamento Ciencias y Humanidades

Año : 2026

“En la naturaleza nada existe por sí solo....”

Rachel Carson- Bióloga

II.ÍNDICE DE CONTENIDOS

III.INTRODUCCIÓN....3
1.1. RESUMEN DE PROYECTO....3
1.3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA....4
Objetivo General....6
Objetivos Específicos....6
Preguntas de Investigación, Hipótesis y Propuestas....7
Preguntas de Investigación:....7
Hipótesis :....7
1.4. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA CREATIVA....8
IV.MARCO HISTÓRICO ARTÍSTICO:....10
V. MARCO TEÓRICO: INVESTIGACIÓN PARA EL ARTE....12
1. Dimensiones de la Investigación Estética: Espacio, Tiempo y Materia....13
2. Arquitectura Conceptual de la Obra....13
A. La Interfaz como espacio mediático y membrana sensible....13
B. Interespecies y la simbiosis maquínica....14
C. Biodatos y la estética de lo invisible....14
IV.OBJETO DE ESTUDIO....14
Objeto de Estudio....14
Justificación Cultural y Exploratoria....15
1. Enfoque Transdisciplinario....16
2. Metodología de Investigación para el Arte....16
3. Enfoque Epistemológico: Investigaciones Estéticas Posthumanistas....17
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROPUESTA CREATIVA....18
VI. METODOLOGÍA Y PROCESO DE PRODUCCIÓN (BITÁCORA CREATIVA)....19
1. Evolución y Mutación del Prototipo: De la Incubadora al Escaneo Cenital....19
2. Fase Biológica: Cultivo, Laboratorio y Clonación Fúngica....21
3. Fase Tecnológica: Construcción de la Interfaz Híbrida y Hardware....22
Montaje y funcionamiento técnico de la interfaz Exo-Sistemas....24
Evaluación crítica del sistema: Limitaciones, contingencias y áreas de oportunidad....26
El sistema de escaneo y procesamiento de imagen....26
B. Inestabilidad en la automatización del audio modular....27
C. Automatización del desplazamiento mecánico (El sistema de riel)....27
D. Resistencia de materiales e infraestructura eléctrica....27
Conclusiones y reflexiones del proceso de co-creación bio-tecnológica....28
CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS Y AUTOCRÍTICA....29
1. Evaluación del Objetivo General....29
2. Evaluación de Objetivos Específicos....30
A. Dimensión Conceptual y Biocéntrica....30
B. Dimensión Narrativa y Especulativa....30
C. Dimensión Técnica y Estética....31
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES: UNA PERSPECTIVA CRÍTICA....32
2. El Proceso Biológico: Resiliencia y Supervivencia....33
3. La Deuda Técnica y Estética: Las Grietas del Sistema Híbrido....34
Comentario Final: El Futuro de Exo-Sistemas....35

III.INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN DE PROYECTO

Exo-Sistemas es un proyecto de **investigación-creación** que plantea una **emergencia biológica** e **interespecie** por medio de un objeto artístico que trasciende la creación artística a través de la **transdisciplina** y la **co-creación** en una **interfaz** que entrelaza el arte, la ciencia y la tecnología para la incorporación de **agentes no humanos** (microorganismos fúngicos conocidos como micelio) en dichas prácticas. El proyecto explora cómo el **micelio** puede relacionarse, a través de **interfaces tecnológicas híbridas**, con los seres humanos para crear **mundos bio inmersivos** a través de nuevas formas de composición audiovisual **autónomas y posthumanistas**.

"Las dinámicas de vida producen el surgimiento de características y condiciones nuevas en el sistema y en su relación con otros y el entorno, lo que más adelante se denominará emergencia."
Hernández García, I. Niño Bernal, R. y Hernández-García, J. (2021). Estética poshumana: interacciones entre sistemas naturales y artificiales: (1 ed.). Bogotá, Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de https://elibro.uam.elogim.com/es/ereader/bidiuam/274526?page=19.

A través de este exo-sistema, se establece una correlación entre redes biológicas y sistemas digitales que usualmente no son perceptibles por el ojo humano, de ahí el nombre de Exo-Sistemas, ya que se trata de exponer o focalizar a estos **agentes no humanos** en espacios hegemonizados por el arte contemporáneo y postcontemporaneo . La propuesta pone en perspectiva a la red del **micelio** como un **agente no humano inteligente**, capaz de generar una estética de lo sensible mediante el mapeo de sus datos de crecimiento a través de un escaneo visual de su **morfología**. Esta **simulación-emulación** nos posiciona en la **descentralización de lo humano** como la epítome o el centro de la evolución y **co-creación**. Invitando a enfocar estas cualidades artísticas en otros organismos los cuales son capaces de crear sistemas complejos que se hibridan y desplazan por nuestro entorno sin ser visualizados.

De esta manera **Exo-sistemas** trata de resolver esta emergencia biológica a través del arte digital y de la tecnología como un puente que entrelaza a diversos agentes humanos y no humanos

¿QUÉ ES EL MICELIO?...

El **micelio** es una **red fúngica** subterránea que conecta la vida vegetal y orgánica, creando sistemas complejos de **retroalimentación** que impulsan la supervivencia y comunicación en el ecosistema. Reconocido como uno de los organismos más complejos y longevos del mundo, esta red posee la capacidad intrínseca de generar **impulsos bioeléctricos** que pueden ser censados y traducidos, permitiendo su integración en proyectos tecnológicos y artísticos.

Exo-Sistemas es una instalación artística e **interfaz** de **monitoreo biológico** que utiliza esta premisa como método principal para desarrollar un dispositivo que permite observar y **co-crear** con procesos biológicos complejos. El proyecto parte del supuesto de que las **señales bioeléctricas** del micelio al igual que su **morfología**, al ser **decodificadas y mapeadas** en entornos abstractos digitales, pueden funcionar como detonantes de un **conocimiento sensible** y una salida estética que trascienda la mera observación científica.

1.3. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

La relevancia de este proyecto dentro del entorno académico radica en su capacidad para operar como un nodo transdisciplinar, trascendiendo las fronteras tradicionales de la producción artística mediante la interpolación estructurada de la ciencia, la tecnología y el arte digital.

Históricamente, la academia ha tendido a perpetuar una fragmentación del conocimiento, aislando los medios, los saberes y las metodologías en disciplinas estancadas. Este proyecto busca romper dichos paradigmas epistemológicos, difuminando las líneas

divisorias entre el quehacer científico y la creación estética para demostrar que ambas dimensiones comparten un objetivo común: la exploración y comprensión de la realidad.

Aunque el diálogo entre los sistemas vivos y el arte se ha consolidado desde finales del **siglo XX** bajo la corriente del ***Bioarte***, el auge contemporáneo de las tecnologías digitales y la inteligencia artificial ha volcado la atención académica y la producción artística general hacia una mirada marcadamente antropocéntrica. Esta tendencia centraliza lo humano, lo virtual y lo mental, asumiendo al dispositivo tecnológico como el único objeto de exploración y dejando de lado la presencia, agencia y valor de otros actores no humanos, como los microorganismos y los sistemas simbióticos naturales.

a si se plantea que por medio de la creación de una interfaz tecnológica se cree un puente de comunicación y visualización de agentes no humanos para la cocreación y la relación inter especies donde el humano, el microorganismo y la tecnología funcionen como diversas capas y fases que se interpolan y generan un objeto simbionte que permite la simulación de un entorno transdisciplinar donde se desdibujan los límites de la investigación creativa.

Por lo tanto, la importancia de esta investigación para la academia se sostiene en tres ejes fundamentales:

- **Innovación Metodológica:** Ofrece un precedente práctico y replicable de cómo herramientas avanzadas de programación visual y síntesis sonora como *TouchDesigner* y *VCV Rack*, pueden integrarse con protocolos de laboratorio biológico para la captura de biodatos en tiempo real, sirviendo como guía conceptual para futuras investigaciones de alumnos en el campo de las artes digitales.
- **Descentralización Crítica:** Introduce en el debate universitario la necesidad de un giro posthumanista, utilizando la tecnología no para dominar la naturaleza o aislar al ser humano en pantallas, sino como un puente **técnico-estético** para visibilizar, escuchar y reconocer a agentes biológicos microscópicos.

“Las transformaciones cognitivas habrían de producir horizontes en los cuales se comprendan las dimensiones micro y macro de la materia y de lo vivo, de forma que resalten sus capacidades de existencia no dependiente o susceptible de ser dominada o controlada por otros, los humanos.”
Hernández García, I. Niño Bernal, R. y Hernández-García, J. (2021). Estética poshumana: interacciones entre sistemas naturales y artificiales: (1 ed.). Bogotá, Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de https://elibro.uam.elogim.com/es/ereader/bidiuam/274526?page=23.

- **Fomento de la Transdisciplina Institucional:** Consolida el espíritu universitario de hibridación conceptual, demostrando que los espacios de exhibición artística pueden operar simultáneamente como laboratorios de análisis crítico y divulgación biocéntrica.

1.3.OBJETIVOS

Objetivo General

La urgencia de este proyecto radica en la necesidad de cuestionar nuestra relación vertical con el entorno natural; al visibilizar la actividad de un organismo no-humano, se descentraliza la agencia humana en los procesos creativos. Por lo tanto, el objetivo principal es desarrollar un sistema híbrido que traduzca el comportamiento metabólico del micelio en una experiencia multisensorial interactiva, demostrando la viabilidad de la colaboración interespecies en el arte contemporáneo.

Objetivos Específicos

- **Dimensión Conceptual y Biocéntrica:**
    - Integrar de forma activa agentes biológicos vivos (hongos, bacterias y microorganismos en placas de Petri) dentro del dispositivo artístico, desvinculándolos de su uso meramente científico para reconocer su agencia, presencia y autonomía en el proceso creativo.

- **Dimensión Narrativa y Especulativa:**
    - Explorar y expandir narrativas futuristas mediante el diseño conceptual de la interfaz, propiciando un espacio de reflexión crítica y especulación filosófica sobre nuevos modelos de coexistencia, simbiosis y habitabilidad mutua entre seres humanos, tecnología y entornos orgánicos.
- **Dimensión Técnica y Estética:**
    - Diseñar e implementar un sistema cerrado de software en tiempo real (*TouchDesigner* y *VCV Rack*) que traduzca las variables morfológicas y biológicas de los microorganismos en matrices de datos estéticos, permitiendo la generación simultánea de entornos visuales y paisajes sonoros modulares que vinculen al espectador con la red de interconectividad biológica de la obra.

Preguntas de Investigación, Hipótesis y Propuestas

Para delimitar el alcance del proyecto, las preguntas se han reformulado y condensado en tres ejes esenciales, acompañadas de sus respectivos supuestos e hipótesis de trabajo:

Preguntas de Investigación:

1. *¿Cómo puede una interfaz traducir las dinámicas visuales de otras especies en diversas estructuras estéticas audiovisuales, sin reducir el organismo a un mero componente utilitario?*
2. *¿De qué manera la sonificación y visualización generativa de biodatos en tiempo real altera la percepción del espectador respecto al tiempo y espacio en el comportamiento de agentes no humanos?*
3. *¿Qué tensiones estéticas e implicaciones conceptuales surgen al desplazar un entorno de simulación científica hacia el espacio museístico, otorgando agencia creativa a agentes no humanos?*

Hipótesis :

- **H1:** Si se mapean las trayectorias y densidades hifales del micelio mediante análisis computacional de píxeles y se intercalan con procesos de síntesis algorítmica, es posible generar un entorno de composición bio-asistida interactiva donde el hongo actúa como co-creador, descentralizando la toma de decisiones estéticas del artista humano.
- **H2:** La traducción de los micro-ritmos de crecimiento fúngico a variaciones sonoras inmediatas en el DAW de la instalación genera un puente perceptivo que expande la sensibilidad del espectador, volviendo perceptible el tiempo biológico (lento e invisible) a través del tiempo digital (instantáneo y perceptible).

1.4. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA CREATIVA

Exo-Sistemas es una instalación bio-técnica e interactiva de carácter **bio inmersivo** que opera como un sistema cerrado de retroalimentación y co-creación entre el código informático, el diseño sonoro modular y el dinamismo metabólico de microorganismos vivos. La pieza propone un exo-sistema híbrido que traduce los comportamientos invisibles del mundo microscópico en una experiencia sensible para el espectador, buscando descentralizar la **mirada antropocéntrica** para situar al organismo no humano como un agente activo en la producción artística. A nivel formal y de hardware, la propuesta se compone de una estación de monitoreo y escaneo dispuesta sobre un pedestal. En este espacio, una serie de cultivos biológicos alojados en placas de Petri se sitúan sobre una mesa de luz. Una cámara de captura en alta resolución actúa como el ojo tecnológico del sistema, registrando de manera continua las variaciones morfológicas, texturas, densidades y el crecimiento radial de las colonizaciones orgánicas del micelio.

El núcleo de procesamiento digital de la pieza enlaza dos entornos de software en tiempo real:

- **TouchDesigner:** Entorno de programación visual que recibe la señal de video, procesa la imagen de los microorganismos y mapea sus coordenadas espaciales, cromáticas y de contraste, transformando estos parámetros biológicos en matrices de datos puros. (*Figura 1*)

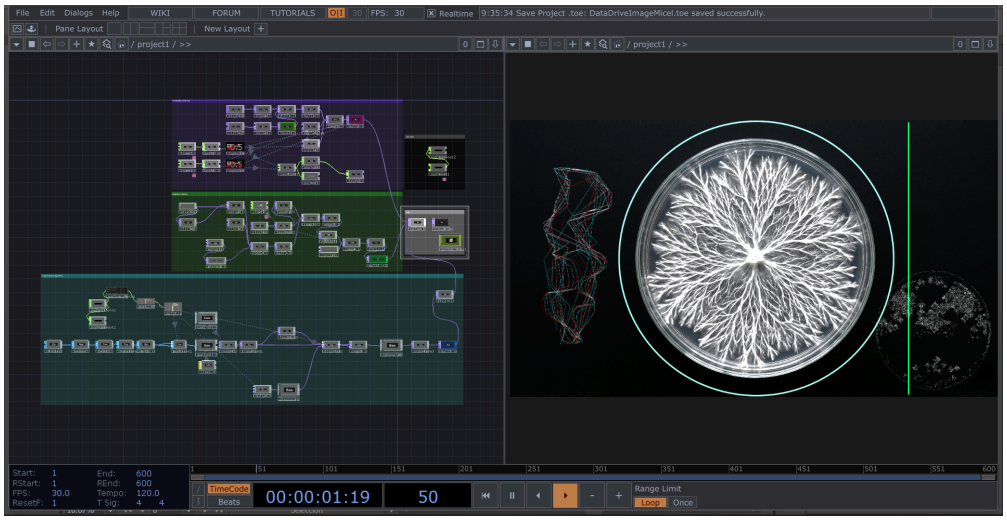


Figura 1. Pantalla de programación con nodos en TouchDesigner (2026)

- **VCV Rack:** Sintetizador modular virtual que recibe el flujo de biodatos desde TouchDesigner para modular y secuenciar frecuencias, voltajes y texturas sonoras, generando un ecosistema acústico generativo y cambiante.(*Figura 2*)

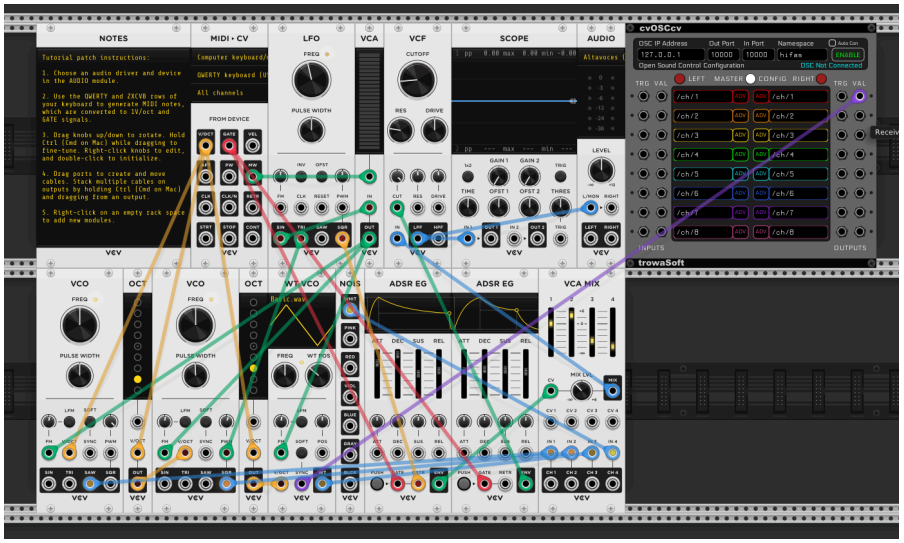


Figura 2. Pantalla de sistema de composición modular VCV Rack 2(2026)

La experiencia espacial se complementa con una pantalla *borderless* de monitoreo digital y un sistema de audio estereofónico. En una sala en penumbra, la pieza envuelve al espectador en una atmósfera donde el sonido y el video mutan constantemente en sincronía con la vida del micelio o las bacterias expuestas. Al no repetirse nunca la composición audiovisual, *Exo-Sistemas* se consolida no como un objeto estático, sino como un organismo vivo digital que difumina las fronteras entre la tecnología, el arte y la biología.

Teóricamente, esta investigación se inscribe en el **posthumanismo crítico** y el **Bioarte** en la etapa **biomedial**, y la **Emergencia** donde el organismo vivo no es un material estático, sino un agente activo en un diálogo transdisciplinario entre biología y medios digitales. Para lograrlo, el abordaje metodológico contempla una primera fase de cultivo y laboratorio biológico, seguida por el desarrollo electrónico para el censado de datos analógicos, y finalmente, la programación de una interfaz digital encargada de la traducción algorítmica de estas señales en tiempo real.

"El concepto de emergencia reemplaza la teleología, es decir, la idea de progreso, planeación, dominio o control de la naturaleza. Procesos autoorganizados y de incertidumbre podrían reemplazar el objetivismo, orientado hacia la acción concreta y la identificación de hechos. Una cognición distribuida está reemplazando la necesidad de traducir deseos propios en resultados autónomos."
Hernández García, I. Niño Bernal, R. y Hernández-García, J. (2021). Estética poshumana: interacciones entre sistemas naturales y artificiales: (1 ed.). Bogotá, Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de https://elibro.uam.elogim.com/es/ereader/bidiuam/274526?page=21.

IV.MARCO HISTÓRICO ARTÍSTICO:

ANTECEDENTES

El proyecto **Exo-Sistemas** se inscribe en la intersección del **Bioarte**, **el posthumanismo**, **el Arte Sonoro-Algorítmico y la Especulación Cósmica**, respondiendo a una línea de investigación contemporánea que busca descentrar la visión antropocéntrica del universo. Para fundamentar esta interfaz de monitoreo y co-creación bio-digital, es indispensable revisar las prácticas artísticas y teóricas que, desde finales del siglo XX, han otorgado

agencia a la materia no humana y han explorado los flujos analógicos de la naturaleza como códigos generativos.

A nivel histórico y metodológico, la base conceptual del proyecto se apoya en prácticas pioneras de traducción inter-especies como las de Miša Milece. Su trabajo temprano sentó las bases de la sonificación de la actividad eléctrica en organismos vegetales, demostrando que las fluctuaciones de potencial en seres vivos no son mero ruido estático, sino flujos dinámicos de información que pueden transformarse en una experiencia estética y audible.

Esta exploración sobre la memoria y las estructuras morfológicas de los microorganismos se expande críticamente al revisar propuestas como Residual Memory (1993), Creep e Hydraphilia de Gail Wight. En estas obras, Wight explora las ramificaciones, dinámicas de crecimiento y las hifas de los microorganismos como conductores de narrativas biológicas. Su enfoque nos permite entender el comportamiento del micelio no solo desde su dimensión fisiológica, sino como un archivo vivo que responde a estímulos ambientales y temporales, un concepto fundamental para los procesos de monitoreo en **Exo-Sistemas**.

En el contexto contemporáneo del diseño de interfaces simbióticas, la instalación Myconnect (2013) de Saša Spačal (desarrollada en la Kapelica Gallery) representa un referente directo de conectividad transespecie. Myconnect plantea una red de retroalimentación biológica y tecnológica donde las señales eléctricas del micelio se conectan con el sistema nervioso humano a través de estímulos sonoros, lumínicos y vibratorios. Esta propuesta valida la viabilidad técnica y conceptual de utilizar al hongo como un nodo central de procesamiento que altera y co-diseña la experiencia perceptiva de un entorno.

En la escena latinoamericana de biotecnología aplicada al arte, el trabajo de Leslie García y el colectivo Interspecifics es fundamental. Su práctica se centra en la relación simbiótica entre datos, organismos vivos y sistemas de biotecnología complejos, utilizando el código y el live-coding como puentes conceptuales. A este corpus se suma Gilberto Esparza con

proyectos emblemáticos como BIOSONOT (2015–2017). Esta obra consiste en un instrumento sonoro e híbrido que purifica agua contaminada mediante celdas de combustible microbianas, traduciendo la actividad metabólica de las bacterias en señales de audio analógicas. Tanto García como Esparza demuestran que el artista digital contemporáneo debe actuar como un facilitador y diseñador de hardware capaz de traducir las dinámicas de supervivencia bacteriana y fúngica en lenguajes estéticos abstractos.

Finalmente, este marco de antecedentes se articula teóricamente bajo la perspectiva de Iliana Hernández García en su texto Mundos bioinmersivos*:* la creatividad en evolución (2016). La autora desglosa el diálogo entre el bioarte (específicamente la tendencia biomedial) y el arte generativo. Hernández García plantea que los sistemas bioinmersivos permiten una creatividad evolutiva donde las reglas del código digital se fusionan con la impredictibilidad y las leyes de autoorganización de los sistemas vivos. Exo-Sistemas encarna esta hibridación: el micelio aporta la fluctuación orgánica y autónoma, mientras que el entorno algorítmico proporciona la estructura que formaliza dicha fluctuación en una salida artística generativa en tiempo real.

V. MARCO TEÓRICO: INVESTIGACIÓN PARA EL ARTE

El desarrollo de **Exo-Sistemas** se fundamenta en la **Investigación para el Arte**, entendida como un proceso metodológico donde la práctica artística se vincula de manera simbiótica con la ciencia y la tecnología. **En este proyecto, la hibridación no opera como una mera ilustración de conceptos científicos, sino como una búsqueda de nuevas tecnologías y materiales, análisis computacional de imagen en tiempo real y cultivo micológico para expandir los límites de la creación artística contemporánea.**

1. Dimensiones de la Investigación Estética: Espacio, Tiempo y Materia

Al centrarse en las dimensiones básicas de la percepción, el proyecto despliega una serie de **investigaciones estéticas** que reconfiguran el surgimiento del conocimiento sensible a través de tres ejes perceptivos:

- **El Tiempo:** La obra contrapone el tiempo microscópico y desacelerado del crecimiento **hifal** o de **nodos** que componen al micelio, con el tiempo real e instantáneo del procesamiento algorítmico. La estética de la obra emerge de la tensión entre la urgencia de la máquina y la paciencia del hongo creando la sensación de quietud, sin embargo los procesos invisibles se develan ante la interfaz.
- **El Espacio:** A través de un escenario de simulación científica, se reconfigura la placa Petri para transformarla en una interfaz biológica activa. El micro-espacio del contenedor de vidrio se expande mediante una cámara cenital de alta resolución, proyectando las dinámicas invisibles del micelio hacia el macro-espacio museográfico de la instalación.
- **La Materia :** La materia orgánica viva deja de ser un elemento estático o un lienzo para convertirse en un agente activo. La morfología fúngica se transmuta en impulsos eléctricos y datos numéricos, demostrando que la materia es información en constante flujo y transformación.

2. Arquitectura Conceptual de la Obra

La arquitectura conceptual de Exo-Sistemas se articula formalmente en torno a tres ejes fundamentales donde la tecnología deja de ser una herramienta de control antropocéntrico para convertirse en un órgano de percepción extendida:

A. La Interfaz como espacio mediático y membrana sensible

La interfaz se desplaza de su función puramente utilitaria o ergonómica para adoptar una posición crítica y mediática. Actúa como la membrana sensible donde el metabolismo del organismo y el flujo del código convergen. No es simplemente un canal de transmisión, sino el lugar de traducción y el espacio fronterizo donde la vida microscópica se digitaliza y se hace accesible a la escala humana.

B. Interespecies y la simbiosis maquínica

El concepto de interespecies propone un reafirmamiento de la existencia a través de la retroalimentación. Aquí, la interacción no se limita a lo biológico, sino que integra a la máquina y al algoritmo como actores sintientes y reactivos dentro del ecosistema artístico. Se establece así un bucle de retroalimentación donde la decisión del crecimiento autónomo del hongo altera directamente el comportamiento del algoritmo en un entorno digital, restándole control total al programador humano y otorgándole a la co-creación interespecies.

C. Biodatos y la estética de lo invisible

Los biodatos se abordan desde un enfoque donde la estadística fría se transforma en poética visual y sonora. Al recolectar información sobre las densidades y las trayectorias hifales mediante el análisis de imagen por computadora, el proyecto revela estructuras y ritmos vitales que permanecen ocultos a la percepción cotidiana. El biodato aquí no se usa para diagnosticar, sino para evidenciar el rastro de una inteligencia no humana que ahora podemos escuchar y ver, transformando el comportamiento metabólico en una experiencia artística generativa.

IV.OBJETO DE ESTUDIO

Objeto de Estudio

El objeto de estudio de esta investigación se despliega en una doble dimensión que articula la práctica empírica de laboratorio con la especulación teórica posthumanista:

- **Dimensión Material:** se conforma por una interfaz híbrida donde se despliega el ecosistema de monitorización biológica en tiempo real creado para la pieza *Exo-Sistemas*. Esto comprende el cultivo controlado de micelio (seis placas Petri dispuestas en una mesa de luz), el sistema de automatización de registro (un riel automatizado con una cámara digital cenital en alta resolución) y el entramado tecnológico de traducción (algoritmos de análisis de imagen, entornos de estaciones de trabajo de audio digital / DAW). La realidad empírica a investigar es el comportamiento morfológico y el crecimiento de las hifas fúngicas bajo estas condiciones y cómo varían sus flujos de datos.
- **Dimensión Conceptual:** Se centra en los conceptos de **agencia no-humana**, la **simbiosis maquínica** y la **estética biomedial**. Desde la teoría del posthumanismo crítico, se investiga cómo la transferencia de datos biológicos a entornos algorítmicos desestabiliza la noción tradicional de "autoría única humana", transformando el biodato en una herramienta de traducción estética que permite hacer visible y audible la inteligencia vegetal/fúngica.

Justificación Cultural y Exploratoria

La relevancia de *Exo-Sistemas* reside en su capacidad para proponer un modelo estético-crítico ante la crisis paradigmática del Antropoceno. En un contexto cultural habituado a entender la tecnología como una herramienta de dominación extractivista sobre la naturaleza, este proyecto se justifica al subvertir dicho uso: utiliza la técnica (cámaras, sensores, códigos) para ponerse al servicio de la escucha y visibilización de lo vivo.

A nivel cultural y artístico, el proyecto explora y logra:

- **Romper la pasividad del espectador de museo:** Al presentar una obra viva, cambiante y parcialmente autónoma, el público no se enfrenta a un objeto estático de contemplación, sino a un organismo-sistema vivo en constante evolución.
- **Aporte a la transdisciplina local:** Genera un puente metodológico sólido entre las artes digitales y las ciencias biológicas (micología de laboratorio), demostrando que el laboratorio y el taller artístico pueden hibridarse fuera de los circuitos científicos tradicionales.
- **Apertura sensible hacia lo no-humano:** Al transformar la estadística fría del biodato en una poética visual y sonora, la obra logra un descentramiento empático del ser humano, proponiendo nuevas formas de habitar y co-crear con el ecosistema planetario a través de la mediación tecnológica.

METODOLOGÍA DEL PROCESO CREATIVO:

1. Enfoque Transdisciplinario

El proyecto no se limita a una sola disciplina, sino que se sitúa firmemente en el cruce de caminos entre las **artes digitales, la programación algorítmica y las ciencias biológicas (micología)**. Este enfoque transdisciplinario permite que el laboratorio científico y el taller de creación artística se fusionen. La tecnología y la ciencia no se utilizan aquí de manera ilustrativa, sino como un puente conceptual y metodológico para posibilitar una colaboración directa con un organismo vivo.

2. Metodología de Investigación para el Arte

El enfoque metodológico principal se rige bajo la pauta de la **Investigación para el Arte**, la cual designa el proceso riguroso que realiza un artista para generar conocimiento a través de la producción de una obra. Esto se traduce en una búsqueda activa y experimentación con nuevos materiales y tecnologías:

- **Dimensión material:** Involucra la práctica de laboratorio con el cultivo controlado de micelio en placas Petri y el desarrollo de hardware (automatización de un riel cenital con microcontroladores).
- **Dimensión digital:** Comprende el diseño algorítmico mediante análisis computacional de imagen, y entornos de interactividad para traducir variables biológicas en salidas estéticas.

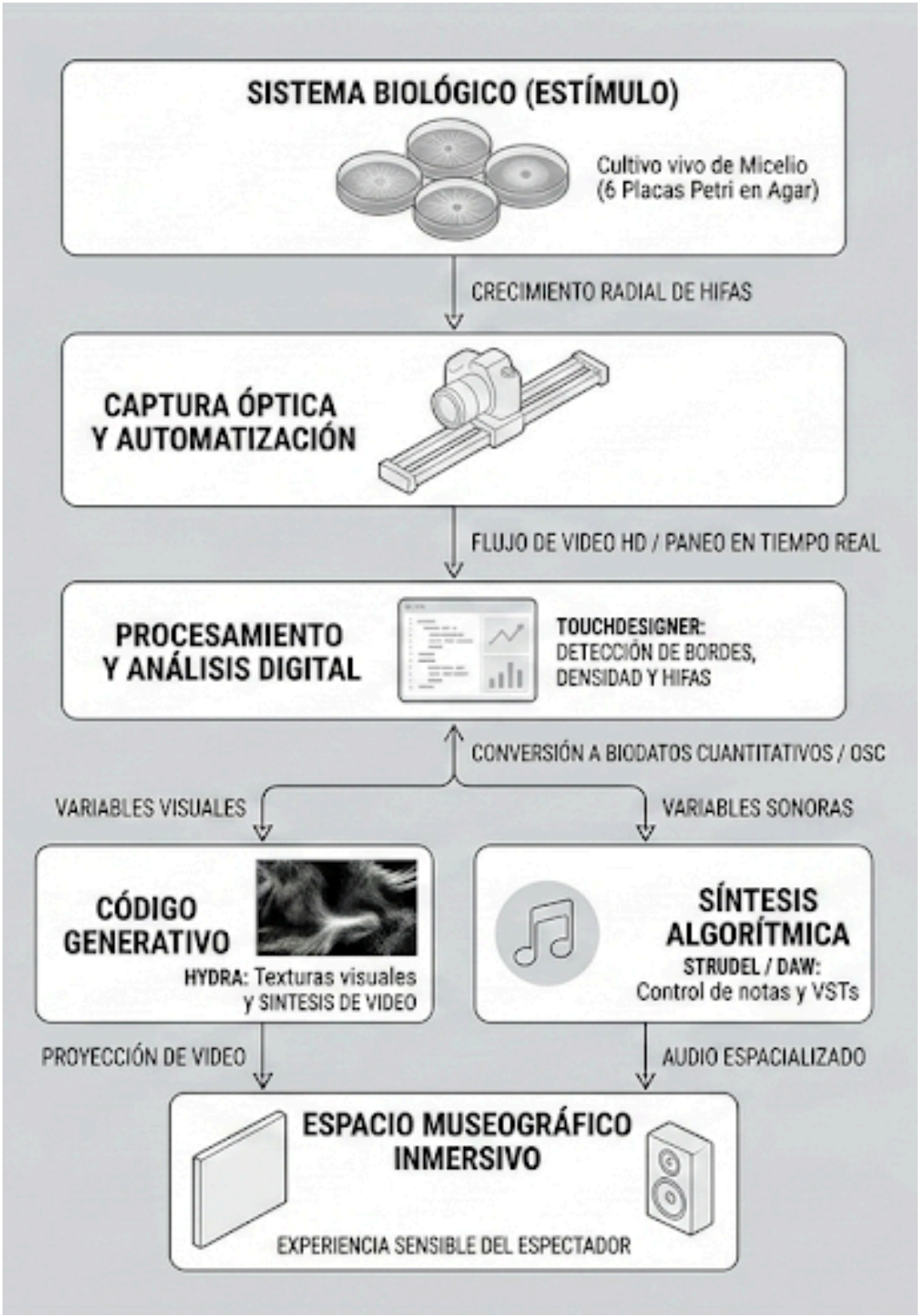
3. Enfoque Epistemológico: Investigaciones Estéticas Posthumanistas

Desde el plano conceptual, el enfoque de la investigación está guiado por el **posthumanismo crítico**, el cual busca descentralizar la agencia humana y cuestionar las visiones antropocéntricas del entorno. A través de las investigaciones estéticas, el proyecto utiliza este entramado tecnológico para indagar y transformar la percepción de tres dimensiones básicas:

- **El Tiempo:** Al confrontar la temporalidad microscópica y lenta del hongo con la inmediatez del procesamiento digital de la máquina en tiempo real.
- **El Espacio:** Al expandir el micro-entorno de una simulación científica (la placa Petri) hacia el macro-espacio de una instalación interactiva inmersiva.
- **La Materia:** Al convertir la morfología y el metabolismo fúngico (biodatos invisibles) en una poética visual y sonora aprehensible por el ser humano.

En resumen, el enfoque de la investigación es teórico-práctico y biomedial; utiliza la técnica digital no como un fin utilitario o de control, sino como una *membrana sensible* y un órgano de percepción extendida para hacer visible el rastro y la agencia creativa de una inteligencia no humana.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROPUESTA CREATIVA.



VI. METODOLOGÍA Y PROCESO DE PRODUCCIÓN (BITÁCORA CREATIVA)

1. Evolución y Mutación del Prototipo: De la Incubadora al Escaneo Cenital

El desarrollo de *Exo-Sistemas* no fue lineal; atravesó un proceso de simplificación y maduración conceptual basado en la experimentación material y la viabilidad museográfica.

- **Prototipo Primario:** Originalmente, el proyecto se planteó como una incubadora fúngica automatizada que pretendía monitorear al microorganismo mediante los pulsos electromagnéticos emitidos por el micelio. Esta interfaz primaria buscaba conectar dichos impulsos bioeléctricos mediante electrodos y hardware analógico hacia salidas audiovisuales.*(Figura 1),(Figura 2).*

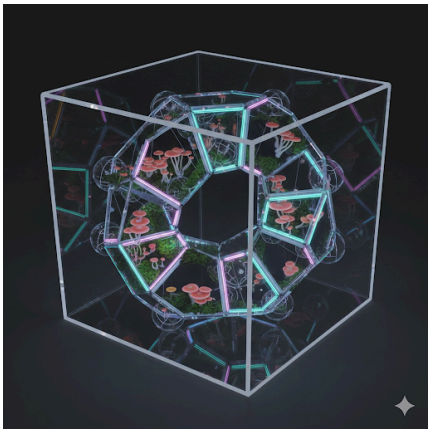




Figura 3. Prototipo 1, incubadora fúngica, una interfaz interespecie manipulada por cuerpos fúngicos (2026)

Figura 4. Prototipo 2, incubadora fúngica, una interfaz interespecie manipulada por cuerpos fúngicos (2026).

- **El Giro Metodológico:** Esta premisa se descartó al evaluar las condiciones del espacio museístico. Exponer cuerpos fúngicos vulnerables en un entorno no controlado durante meses implicaba un riesgo para mantener a las especies vivas, además de contar con varios cultivos de hongos lo cual podría ser complicado y costoso además una complejidad técnica insostenible de mantenimiento.

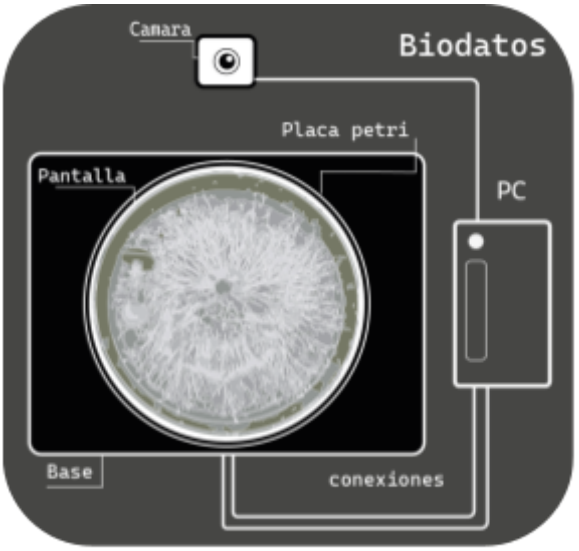
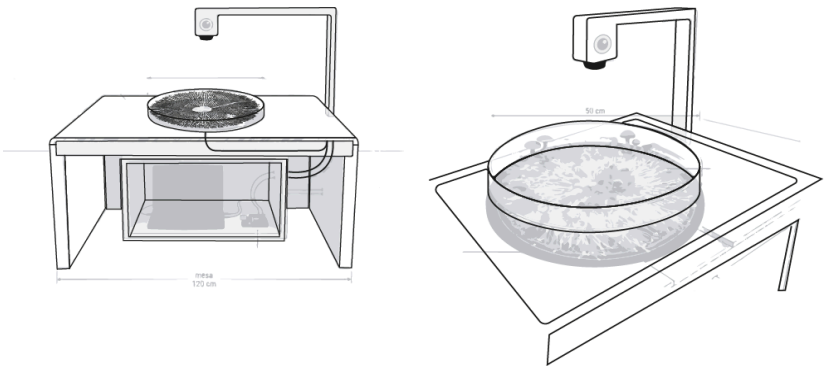


Figura 5. Diagrama de visualización y escaneo por camara en cenital

- **El Lienzo Biológico y la Simulación Científica:**

La pieza se simplificó orientándose hacia un sistema de mapeo visual. Se tomó la decisión de desarticular un objeto estrictamente científico “la placa Petri” para recontextualizarlo en el museo como un lienzo artístic**o**. La forma radial y circular del microorganismo definió el *canvas* donde este agente no humano actúa como co-intérprete. Se conceptualizó la pieza como una simulación científica de rumbo estético, donde el plano cenital permite observar las hifas y redes del micelio, interpolándolas con una interfaz digital mediante un bucle de retroalimentación óptica y sonora.



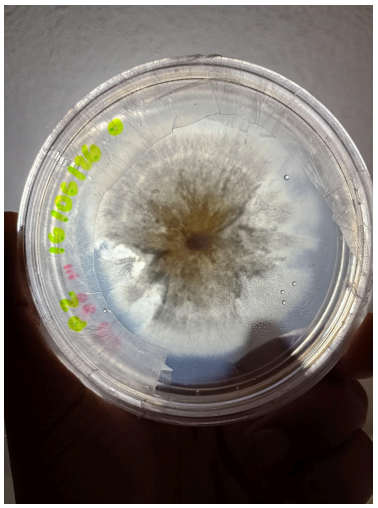
2. Fase Biológica: Cultivo, Laboratorio y Clonación Fúngica

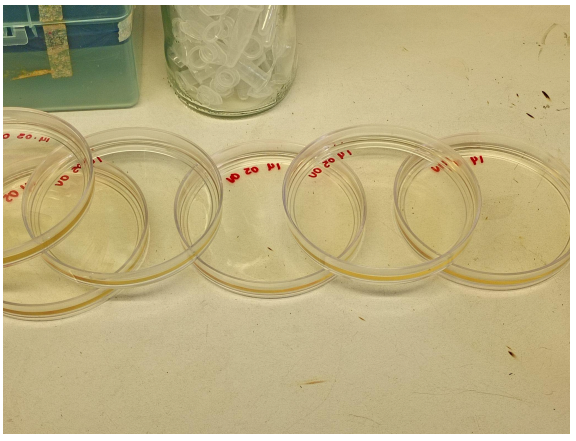
Para la obtención de la materia viva, se llevó a cabo un riguroso trabajo de laboratorio micológico, utilizando infraestructura especializada.

- **Infraestructura:** El proceso de cultivo e inoculación se gestionó en los laboratorios de la universidad.
- **Insumos y Materiales:** Se utilizó Agar para Infusión de Papa y Dextrosa (PDA), agua destilada, material de vidrio y plástico debidamente esterilizado, y bisturís.



- **Metodología de Inoculación:** Para evitar la contaminación del medio por agentes externos, todo el vertido y la manipulación se realizaron dentro de una campana de flujo laminar. Se empleó un autoclave para la esterilización del agar y los frascos, y un mechero para la esterilización por calor directo del instrumental de corte. El proceso consistió en un ejercicio de clonación fúngica a partir de una espora seca que fue reanimada mediante hidratación y posteriormente inoculada en un sustrato de grano de maíz (palomero).

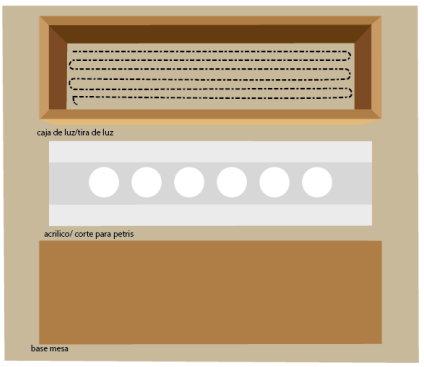




- **Curva de Aprendizaje :**
    - Primera iteración: Realizada en un ambiente casero y no controlado; resultó en pérdida por contaminación.
    - Segunda y tercera iteración: Desarrolladas bajo estricto protocolo de laboratorio; ambas resultaron exitosas.
    - Resultado: Se obtuvieron 20 placas Petri en fase de crecimiento activo. Tras un proceso de selección y descarte de cultivos inviables, se consolidaron 12 placas óptimas y saludables, volumen idóneo para cubrir de manera segura el mes completo de exhibición museográfica.

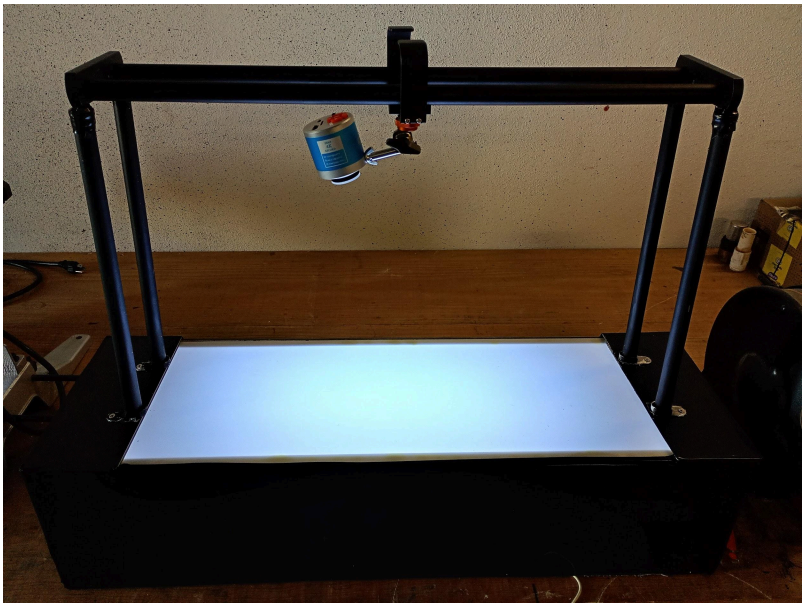
3. Fase Tecnológica: Construcción de la Interfaz Híbrida y Hardware

Paralelo al desarrollo biológico, se resolvieron los vacíos de infraestructura material para el dispositivo de visualización. En una etapa previa se exploró la fabricación de una placa de acrílico de gran formato combinada con una pantalla inferior; sin embargo, las morfologías aleatorias del micelio (determinadas por la distribución del alimento en el sustrato) no arrojaron el algoritmo de crecimiento esperado, redirigiendo el diseño hacia la micro-captura.



- **La Mesa de Luz:** Se construyó una estructura rectangular de madera en color negro brillante con acabado de terminación piano. En su interior se integró una mesa de luz cuya función es retroiluminar las placas Petri estándar, generando un alto contraste que enfatiza la morfología de las hifas ante la lente.
- **El Sistema de Escaneo Cenital Móvil:** Sobre la mesa se fijaron cuatro postes de 20 cm de altura. Sobre estos soportes se montó un riel automatizado de 80 cm con un mecanismo de *dolly* móvil (seleccionado para optimizar los tiempos de ejecución y garantizar estabilidad mecánica).





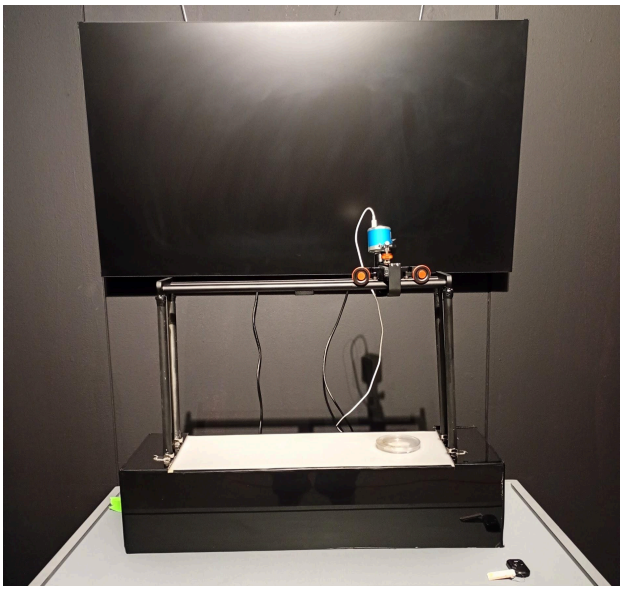
- **Captura Óptica:** El riel transporta una cámara microscópica con resolución 4K que realiza un paneo horizontal en tiempo real. La elección de este componente óptico es crítica para el sistema, ya que permite extraer con nitidez milimétrica detalles finos a nivel de componente biológico, sirviendo como la entrada de datos pura para el análisis pixelar subsecuente.

VII. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Montaje y funcionamiento técnico de la interfaz *Exo-Sistemas*

La interfaz bio-técnica *Exo-Sistemas* fue instalada con éxito en el espacio introductorio de la exposición colectiva *ICNELIA*, albergada en el Museo Torres Bicentenario. Con la finalidad de ofrecer una experiencia inmersiva y de constante monitoreo digital de los microorganismos en exhibición, el montaje físico y de hardware se estructuró bajo las siguientes especificaciones museográficas:

- **Disposición física e interfaz visual:** Se instaló una pantalla de diseño *borderless* (sin bordes) suspendida sobre un pedestal en tonalidad gris neutro, dispuesta a la altura promedio del campo visual del espectador para facilitar la contemplación ergonómica. La unidad de procesamiento computacional se ocultó en la zona posterior del soporte de la obra, manteniendo despejada la visual del público y minimizando la distracción de los componentes de hardware.
- **Conectividad y flujo de señales:** El cableado de datos y energía de la cámara hiperbárica/captura 4K, la mesa de luz y el sistema de sonido fueron canalizados de forma oculta. El sistema de audio estereofónico fue conectado mediante una salida analógica auxiliar de 3.5 mm hacia dos bocinas activas de alta fidelidad, responsables de proyectar el entorno sonoro de la pieza.



- **Automatización de software:** Se programó un protocolo de ejecución automática (*auto-start*) al encendido del sistema operativo. Este proceso inicializa de manera simultánea:
    1. El entorno de programación visual **TouchDesigner** en modo de pantalla completa (*perform mode*), activando los nodos de escaneo de pixeles y visualización en tiempo real.
    2. El sintetizador modular virtual **VCV Rack**, el cual recibe y mapea las matrices de biodatos espaciales y de color enviados desde TouchDesigner mediante protocolos de comunicación interna para modular la síntesis de audio.
    3.
- **Atmósfera espacial:** Se intervino la iluminación de la sala reduciendo la luz ambiental a un mínimo operativo. Este oscurecimiento intencional acentuó el contraste de la mesa de luz y la pantalla, aislando sensorialmente al espectador y sumergiéndolo en la dimensión micro-orgánica de la obra.

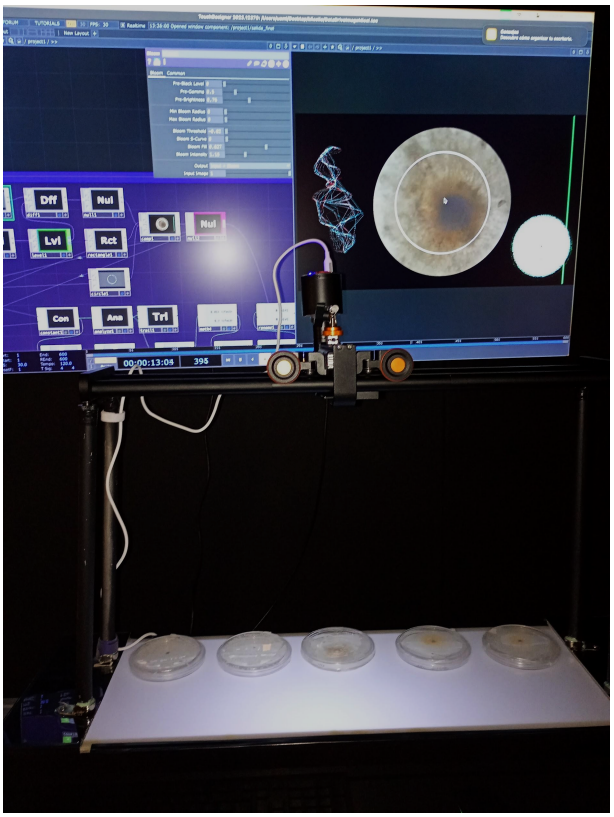


Evaluación crítica del sistema: Limitaciones, contingencias y áreas de oportunidad

En el marco de la investigación-creación, la confrontación de la pieza con el espacio físico del museo reveló una serie de comportamientos técnicos imprevistos. A continuación, se detallan las problemáticas detectadas y las estrategias de resolución proyectadas a futuro:

El sistema de escaneo y procesamiento de imagen

Durante la fase de desarrollo, el algoritmo de visión por computadora fue testeado utilizando imágenes sintéticas generadas mediante inteligencia artificial. No obstante, al realizar el escaneo de los cultivos biológicos reales, se identificó que las texturas orgánicas, los bordes difusos y las variaciones morfológicas naturales de los microorganismos difieren drásticamente de la nitidez estandarizada de las representaciones sintéticas.Para solventar esta variabilidad sin saturar el procesador de la computadora de desarrollo, se limitó la resolución de análisis a la norma estándar de la versión educativa de TouchDesigner(1280 x 720), operando a una tasa de refresco adaptativa de entre 30 y 60 fotogramas por segundo (fps). Adicionalmente, el algoritmo de lectura radial presentó un retraso (*delay*) en el procesamiento de los vectores que viajan del centro de las placas de Petri hacia las fronteras del cultivo. Aunque este comportamiento fue calibrado bajo la asesoría académica del profesor Iván, representa un área de oportunidad crítica para optimizar la eficiencia del código en futuras iteraciones.



B. Inestabilidad en la automatización del audio modular

Se detectó un fallo crítico en la cadena de arranque de VCV Rack cuando la instalación sufre cortes energéticos abruptos o apagados incorrectos por parte del personal del museo. Al interrumpirse el proceso de forma forzada, el software entra en un ciclo persistente de depuración de módulos (*crash loop*). Si bien la restauración del sonido es sencilla mediante la interacción manual directa en la interfaz, esta contingencia debilita el régimen de automatización autónoma que requiere una pieza de exhibición permanente.

C. Automatización del desplazamiento mecánico (El sistema de riel)

El diseño original de la obra contemplaba un riel de desplazamiento automatizado controlado mediante una placa de desarrollo Arduino y motores a pasos. Debido a limitantes económicas y de tiempo de producción, esta infraestructura fue sustituida temporalmente por un *dolly* de cámara motorizado comercial. Se intentó decodificar el protocolo de radiofrecuencia del control de dicho dispositivo para integrarlo al procesador central de la obra; no obstante, la encriptación de la marca impidió replicar los códigos de manejo. Ante el riesgo físico de comprometer de forma irreversible el único controlador disponible, se optó por operar el trayecto en bucle (barrido continuo de izquierda a derecha con pausas intermitentes) de forma nativa desde el dispositivo y realizar un monitoreo presencial intermitente de la pieza.

D. Resistencia de materiales e infraestructura eléctrica

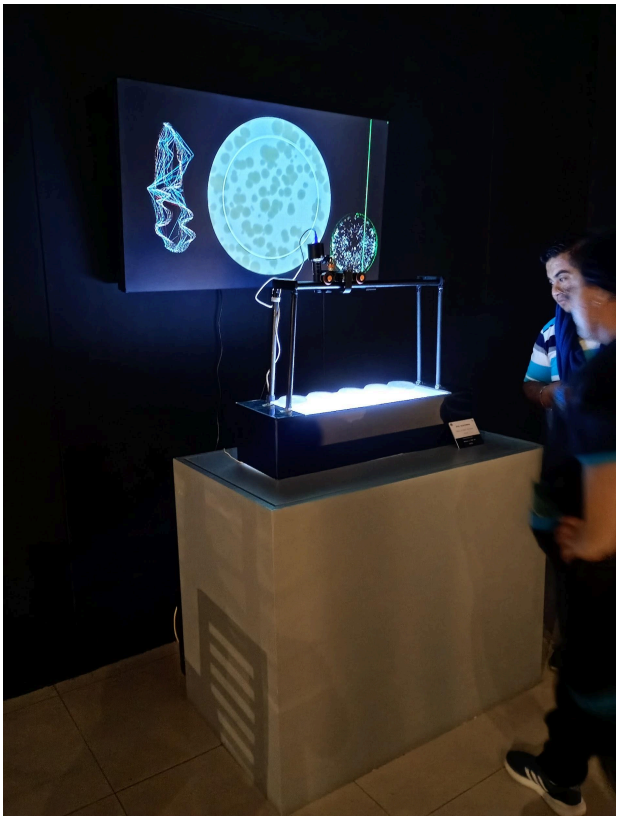
La mesa de luz sufrió una avería en sus diodos emisores debido a las fluctuaciones de voltaje provocadas por el encendido y apagado diario del museo. Para corregir este problema de manera definitiva en futuros montajes, se proyecta la adición de un regulador de tensión y un sistema de relevadores (*relays*) de protección. Asimismo, la estructura física de los soportes y postes resintió el traslado y transporte al museo, evidenciando cierta fragilidad estructural que exige un rediseño industrial enfocado en la portabilidad y la rigidez de los ensambles.

VIII. RESULTADOS DE LA CREACIÓN

Conclusiones y reflexiones del proceso de co-creación bio-tecnológica

A pesar de los desafíos técnicos enumerados *Exo-Sistemas* cumplió de manera sólida sus objetivos conceptuales y estéticos.

Los cultivos biológicos en las placas de Petri se mantuvieron en un estado de salud idóneo durante el periodo de exhibición, respondiendo al estímulo lumínico y térmico del entorno museístico. Este crecimiento y dinamismo metabólico constante dotó a la obra de una naturaleza verdaderamente viva y cambiante: la composición audiovisual de la sala nunca se repitió, materializando la premisa de una co-creación simbiótica entre el artista, el código informático y la aleatoriedad biológica.



La experiencia adquirida en este proyecto sienta las bases metodológicas para depurar y complejizar el uso de herramientas como TouchDesigner y VCV Rack en mis futuras producciones dentro del campo de las artes digitales, demostrando que los límites físicos de la máquina y las contingencias del espacio de exhibición no son impedimentos, sino agentes activos en la configuración del arte interactivo contemporáneo.

CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS Y AUTOCRÍTICA

En este apartado se evalúa de manera crítica el alcance del proyecto *Exo-Sistemas*, contrastando los objetivos planteados inicialmente con los resultados obtenidos en la fase de implementación y exhibición.

1. Evaluación del Objetivo General

Objetivo: Desarrollar un sistema híbrido que traduzca el comportamiento metabólico del micelio en una experiencia multisensorial interactiva, demostrando la viabilidad de la colaboración interespecies.

- **Grado de Cumplimiento: Logrado** (con observaciones técnicas).
- **Argumentación:** El objetivo principal se cumplió satisfactoriamente mediante el desarrollo, construcción y puesta en marcha de la interfaz híbrida (mesa de luz, riel cenital y cámara). Técnicamente, el dispositivo logró constituirse como un puente funcional entre especies. Se demostró la viabilidad de la colaboración interespecies al permitir que los ritmos metabólicos del micelio (crecimiento y morfología) actuaran como los conductores directos de la experiencia estética audiovisual. Aunque la apariencia estética y la precisión técnica del sistema tienen margen de mejora (ver Dimensión Técnica), el propósito fundamental de visibilizar la agencia no-humana y descentralizar la autoría humana en el proceso creativo se materializó con éxito.

2. Evaluación de Objetivos Específicos

A. Dimensión Conceptual y Biocéntrica

Objetivo: Integrar agentes biológicos vivos (microorganismos en placas de Petri) dentro del dispositivo artístico, desvinculándolos de su uso meramente científico para reconocer su agencia.

- **Grado de Cumplimiento: Logrado.**
- **Argumentación:** Este objetivo se cumplió cabalmente al introducir cultivos vivos de micelio en placas Petri estandarizadas directamente al espacio museístico. Al situar estos organismos como actores centrales en la creación de la obra, se logró desvincularlos de su percepción utilitaria o puramente de laboratorio. Los organismos no solo "estaban ahí", sino que habitaban el espacio y creaban activamente como co-autores no humanos, logrando que el público reconociera su presencia y autonomía creativa.

B. Dimensión Narrativa y Especulativa

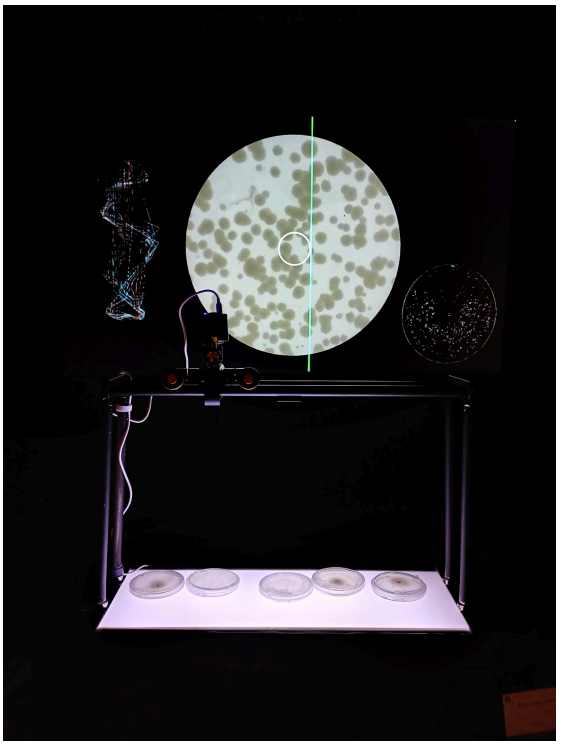
Objetivo: Explorar y expandir narrativas futuristas y de coexistencia mediante el diseño conceptual de la interfaz, propiciando reflexión crítica y especulación filosófica.

- **Grado de Cumplimiento: Logrado.**
- **Argumentación:** El cumplimiento de este objetivo se evidenció de manera dialéctica durante la interacción con el público. Al hablar de la obra en el museo, se generó un espacio de diálogo con personas ya familiarizadas con el bioarte y los microorganismos, creando formas de comunicación y conexión inéditas entre nosotros a través de estos sistemas invisibles. La interfaz funcionó como un detonante efectivo para la especulación filosófica sobre simbiosis, habitabilidad mutua y coexistencia, validando el planteamiento narrativo de la obra sobre nuevos modelos de interconectividad biológica y tecnológica.

C. Dimensión Técnica y Estética

Objetivo: Diseñar e implementar un sistema cerrado de software en tiempo real (TouchDesigner y VCV Rack) que traduzca las variables morfológicas y biológicas en matrices de datos estéticos.

- **Grado de Cumplimiento: Logrado Parcialmente** (con autocrítica técnico-cosmética).
- **Argumentación:** La obra funciona y cumple su propósito de traducción en tiempo real; sin embargo, esta dimensión presenta los puntos de autocrítica más significativos para futuras iteraciones:



1. **Mejora Algorítmica:** Aunque el análisis de imagen actual es funcional, el sistema podría ser mucho más preciso y poético mediante la implementación de un algoritmo de lectura radial específico para el análisis morfológico del micelio. El mapeo de datos actual puede ser refinado para lograr una traducción más fidedigna del crecimiento circular del hongo.
2. **Automatización:** El sistema de riel para la cámara requiere de una mayor automatización para generar un modelo más avanzado y pulido.
3. **Pulido Cosmético:** Tanto el hardware como la interfaz de software presentan áreas de oportunidad para un acabado estético más profesional y cohesionado. En resumen, aunque el sistema técnico permite la generación simultánea de entornos visuales y sonoros que vinculan al espectador con la red biológica, el modelo actual es una versión funcional que requiere refinamiento para alcanzar un estándar técnico y estético superior

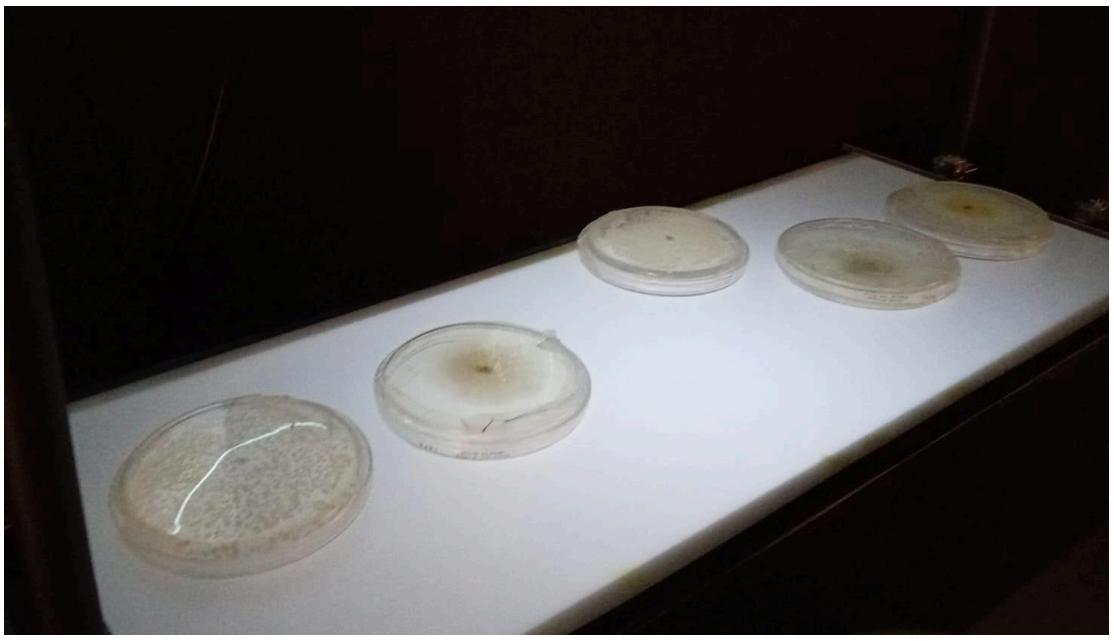
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES: UNA PERSPECTIVA CRÍTICA

Al finalizar este ciclo de investigación-creación con *Exo-Sistemas*, la conclusión más honesta es que la obra es un **prototipo funcional exitoso**, pero no es una pieza final pulida. Ha logrado demostrar la viabilidad de su premisa central (la colaboración interespecies), pero ha quedado a deber en la ejecución técnica y estética de su dimensión digital.

1. El Triunfo Conceptual: Habitar y Co-crear

La mayor victoria de este proyecto radica en haber **roto la barrera utilitaria de la ciencia**. Lograste llevar las placas Petri del laboratorio a la vitrina del museo, no como objetos de estudio, sino como **sujetos creadores**.

- **La Realidad:** Alrededor de las 12 placas saludables que sobrevivieron el mes de exposición, se generó un diálogo genuino sobre el BioArt y las agencias no humanas. El propósito posthumanista de visibilizar la red de interconectividad biográfica se cumplió. El público sintió la presencia de los hongos como co-autores. Esto es un logro conceptual innegable.

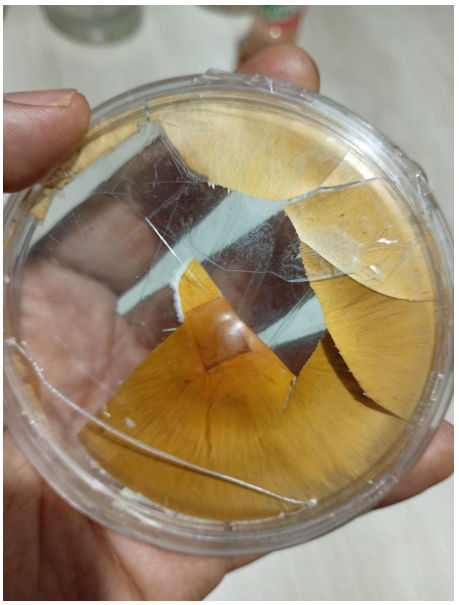


2. El Proceso Biológico: Resiliencia y Supervivencia

El trabajo de laboratorio fue un ejercicio de humildad y perseverancia. Las iteraciones fallidas en ambientes no controlados fueron lecciones necesarias para valorar el protocolo científico.

- **La Realidad:** El sacrificio de agentes no humanos durante el proceso de cultivo es una tensión ética intrínseca del BioArt que la obra encarna. Lograr consolidar las 12 placas saludables fue un triunfo de la **resiliencia del artista** y de la **adaptabilidad del micelio**. El hongo demostró que puede habitar y crear dentro de los parámetros impuestos por el sistema artístico.

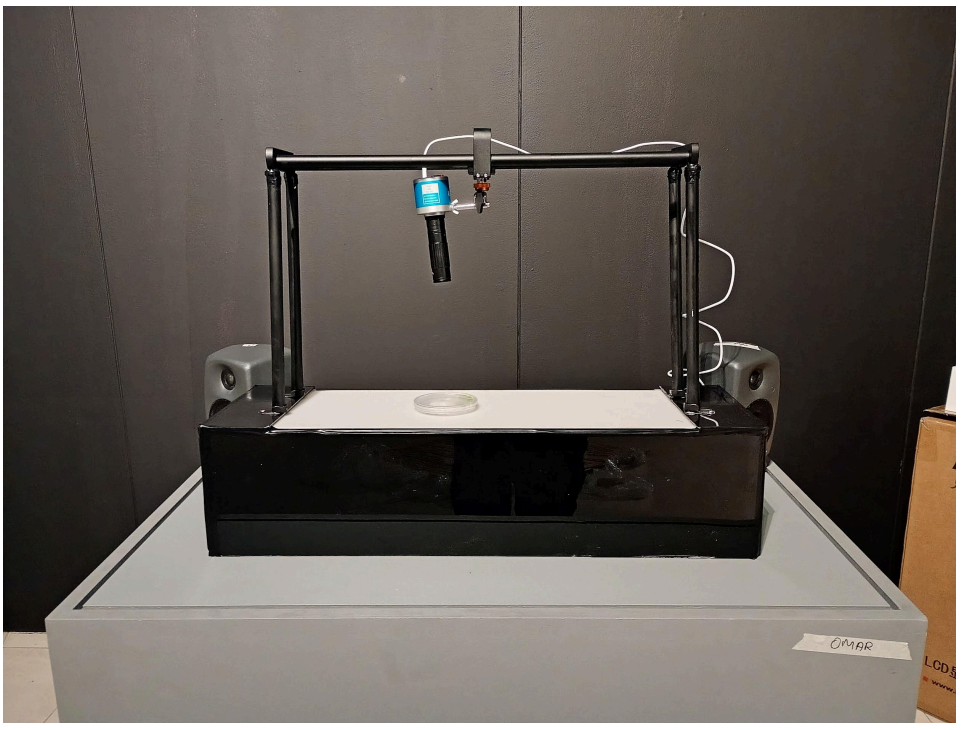




3. La Deuda Técnica y Estética: Las Grietas del Sistema Híbrido

Aquí es donde debemos ser más críticos. Si bien el sistema híbrido *funciona*, lo hace a un nivel básico que no explota todo el potencial poético de los biodatos.

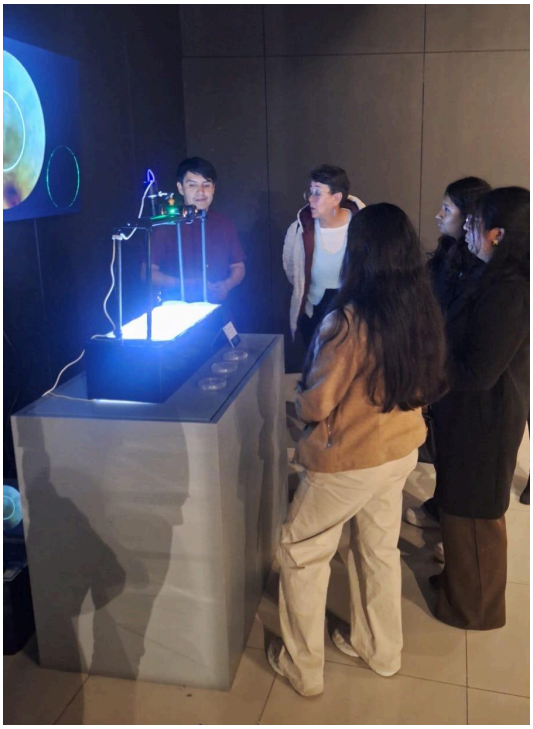
- **Análisis Pixelar Básico:** Tu actual sistema de TouchDesigner realiza una lectura funcional de la imagen, pero está lejos de la **poética de lo invisible** que prometía el marco conceptual. Falta un algoritmo de lectura radial que respete y traduzca fielmente la forma circular del micelio. El mapeo de datos actual es genérico; no logra capturar la complejidad y el ritmo metabólico real del hongo de manera fidedigna.
- **Cosmética e Infraestructura:** El dispositivo físico (mesa de luz, riel cenital) presenta carencias en su acabado estético. El modelo actual se percibe más como una estructura de laboratorio que como un **objeto artístico pulido con terminación piano**. Además, el riel requiere una automatización completa para funcionar de manera autónoma, eliminando cualquier rastro de operación humana manual que contradiga el propósito descentralizador de la obra.

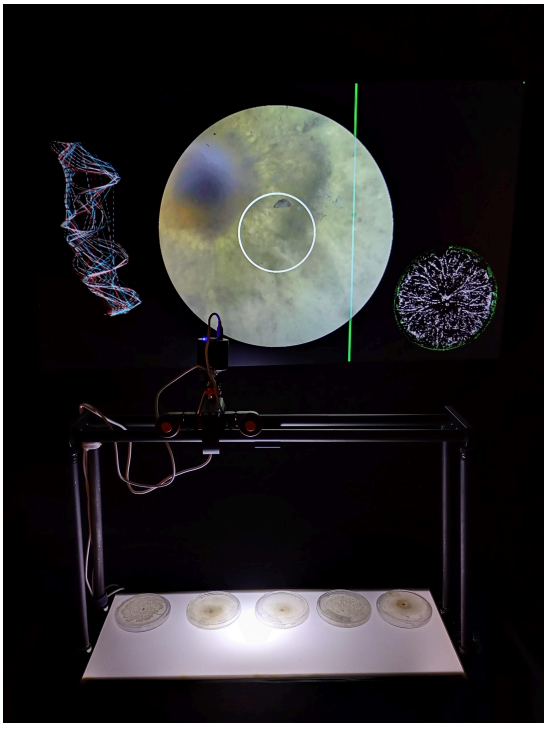


Comentario Final: El Futuro de Exo-Sistemas

Exo-Sistemas no termina aquí. Es una base sólida sobre la se puede construir. esta obra demuestra que el puente interespecies es posible y que los microorganismos pueden habitar el museo como artistas y con ellos en procesos transdiciplinares. Ahora el reto es técnico: refinar el software de traducción, pulir el acabado estético de la instalación y automatizar por completo el hardware. Solo entonces, la obra dejará de ser un **experimento transdisciplinario prometedor** para convertirse en una **experiencia estética inmersiva de primer nivel**.

El proyecto ha sido un viaje de aprendizaje profundo, pero la verdadera obra de arte aún está en proceso de maduración. Sin embargo los resultados en base a las pruebas muestra un alcance prometedor para este tipo de obras, el interés del público es genuino y solo falta impulsar estas obras que trascienden el umbral de el arte digital donde se encapsula la percepción y se difuminan las redes naturales. la misión es seguir incorporando agentes no humanos y descentralizar la mirada del hombre como un centro de algo que es hifal como las redes del micelio.





BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.

- Esparza, G. (2015). *BIOSONOT* [Instalación bioarte]. Recuperado de https://gilbertoesparza.net/portfolio/biosonot-2/
- García, L. e Interspecifics. (2014). *Prácticas simbióticas y traducción biomedial en entornos híbridos* [Repositorio y documentación de hardware/software].
- Haraway, D. J. (2016). *Manifesto Chthulucene: Staying with the trouble: Making kin in the Chthulucene*. Duke University Press.
- Hernández García, I. (2016). *Mundos bioinmersivos: la creatividad en evolución*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de la Biblioteca Digital UAM: https://elibro.uam.elogim.com/es/ereader/bidiuam/123320?page=6.
- Milece, M. (s.f.). *Sonificación de fluctuaciones de potencial eléctrico en organismos vegetales* [Archivo e investigación bioestética].
- Spačal, S. (2013). *Myconnect* [Instalación interactiva]. Kapelica Gallery. Recuperado de https://www.agapea.si/en/projects/myconnec
- Wight, G. (1993). *Residual Memory, Creep & Hydraphilia* [Instalaciones y exploración microbiológica].

ANEXO