

EL MICELIO Y LA REALIDAD AUMENTADA

Albores de los espacios inteligentes sostenibles Diego Gianfranco Sotil Barrantes

RESUMEN: Esta propuesta se centra en el diseño y la teorización de un muro de pequeñas dimensiones construido con ladrillos de micelio y aislantes vivos de micelio, los cuales, al seguir vivos, generaran bioelectricidad y se podrá recoger esa señal y transformarla en piezas de información, en este caso sonido, a través de un sintetizador analógico. A diferencia de la aplicación tradicional del micelio, en este proyecto se mantendrá vivo para producir bioelectricidad. Se llevará a cabo una revisión de literatura para explorar los avances existentes en la utilización del micelio como material de construcción y se establecerán los fundamentos teóricos necesarios.

DESCRIPTORES: Micelio, Bioelectricidad, Obra Instalativa,

Trabajo de Fin de Grado - Curso 2023-2024
Tutor: Prof. José Manuel Ruiz Martín
Grado en Comunicación Audiovisual
Campus de Fuenlabrada
Universidad Rey Juan Carlos, URJC

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción atraviesa una tendencia de experimentación y evaluación con alternativas reciclables y biodegradables. Para respaldar esta afirmación, otros autores han afirmado lo siguiente con respecto a estudios sobre sostenibilidad y producción:

Las organizaciones son cada vez más conscientes de que la búsqueda exclusiva de la satisfacción del cliente, ya sea basada en bajos costos o relacionada con la calidad del producto o el servicio ofrecido, no garantiza una ventaja competitiva. En la actualidad, además de superar las expectativas de los clientes al ofrecer productos de calidad, las empresas deben respetar el medio ambiente, ser éticas y demostrar que son socialmente responsables. (Alencar et al., 2017, p. 62).

Así pues, otras organizaciones comprometidas con el medio ambiente como la UNEP afirman que “El sector de la construcción contribuye hasta un 30% de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero a nivel global y consume hasta un 40% de toda la energía” (2009, p. 3). Ante esta tendencia, atada a la preocupación general para con el medio ambiente de los usuarios en general, se están popularizando e investigando diferentes materiales alternativos.

Intensos esfuerzos de investigación se centran en el desarrollo de materiales poliméricos a partir de fuentes naturales, como la celulosa, la lignina, la pectina de las plantas, las proteínas de plantas y animales, los poliésteres de bacterias o plantas, etc. (Haneef et al., 2016). Además, Kalia et al. (2011) señalan que la mayoría de los procedimientos por los cuales se obtiene fibras de celulosa de fuentes orgánicas, como las ya citadas, tienen un consumo de tiempo y energía significativo y un bajo rendimiento en la producción. Debido a estas complicaciones con otras fuentes orgánicas, así como de sus características de cultivo y producción, y las implicaciones estéticas y narrativas que se puede desarrollar con los hongos debido a sus funciones, las cuales serán explicadas a lo largo de este trabajo, se eligen materiales compuestos por micelio para el estudio y diseño propuestos posteriormente. Para mayor entendimiento de qué están compuestos los materiales del diseño, recurrimos a la siguiente descripción de este organismo:

El micelio es la parte vegetativa del hongo, el organismo principal; y la seta es el micelio especializado en la reproducción, el fruto, el micelio forma red filamentosa por la que obtiene alimento por osmosis de los materiales utilizados

de alimento introduciéndose en ellos y formando el aglutinante orgánico que une las partículas del Biocomposite (sustrato)” (Fuentes-Cantillana, 2020, p. 45).

El propósito fundamental de este trabajo radica en el diseño de una instalación que se compone principalmente de micelio. El objetivo subyacente es promover la utilidad y aplicación de materiales compuestos por micelio, con el fin de hacer una modesta contribución a su popularización y a su atractivo desde un punto de vista comercial, de tal manera que se inspire y fomente investigaciones adicionales relacionados con este material, así como su uso más extenso en estructuras arquitectónicas. En este sentido, también se busca contribuir a la sensibilización sobre la necesidad de adoptar materiales respetuosos con el medio ambiente en la construcción y el diseño arquitectónico.

En lo que respecta al diseño de la instalación artística, esta consiste en un muro de pequeñas dimensiones formado por dos tabiques de ladrillos de micelio, además de un aislante en forma de tablero compuesto también de micelio en el medio de los tabiques. La señal bioeléctrica se puede capturar y convertir en información utilizable; en este caso, se traduce en sonido mediante el uso de un sintetizador analógico.

Al proponer la construcción de muros de esta manera, se abre un campo de posibilidades en cuanto a la interacción y comunicación que podría tener un viandante con su ciudad, puesto que los muros serían capaces de comunicar su estado, ya que la señal eléctrica y su sonido puede variar según estados como la humedad, de tal manera que Phillips et al. (2023) pudieron observar que, en cultivos más frescos, picos o impulsos de actividad eléctrica, pueden iniciarse tanto de manera espontánea, como por gotas de agua en la superficie del micelio. Así mismo, encontraron que, si se permite que un cultivo se deshidrate parcialmente, los tramos de picos de actividad eléctrica cesan. Esta clase de reacciones facilitarían su mantenimiento y diagnóstico en la estructura arquitectónica. Además, cambia la forma en la que nos relacionamos en cuanto a la producción de materias primas y elementos arquitectónicos, al ser estas parte de un cultivo en vez de una extracción. Como ya han expuesto otras obras como el *Breeding Space* de Maria Mallo, las cuales serán estudiadas más adelante en el trabajo, su autora se refiere a ella como: “Una arquitectura que está viva, crece, se cultiva e incluso genera subproductos comestibles” (Mallo, 2019). Además, facilitaría redes de electricidad de muy baja capacidad al aire libre para diversos fines y el cultivo de setas para multitud de escenarios y usos. En general, un intento más por cambiar nuestra forma de relación con nuestro entorno y una exploración de las posibilidades escalables

a elementos arquitectónicos de una ciudad que permite este diseño de instalación artística.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Micelio como material de construcción sostenible

La viabilidad de presentar este diseño se encuentra respaldada por las notables propiedades inherentes al micelio. Al abordar y exponer estas características de manera detallada, se puede establecer una comparación directa con los materiales más convencionales empleados en la construcción, en función de cómo se utilizará el micelio en la estructura del muro. Concretamente, estos materiales de referencia incluyen el ladrillo de arcilla y los paneles de aislamiento térmico compuestos de poliestireno, poliuretano, fibra de vidrio, lana mineral y poliisocianurato, ya que son los materiales aislantes más utilizados para fabricar diferentes tipos de aislamiento a nivel mundial (Pavel y Blagoeva, 2018).

El micelio, como agente de construcción, ofrece ventajas únicas que lo distinguen de manera significativa de los materiales tradicionales. En primer lugar, su capacidad de crecimiento y auto-regeneración es asombrosa y descrita a través de los experimentos de Elsacker et al. (2021) como la respuesta a ser cortada un bloque de composite de micelio, el cual pudo regenerar la capa micelial externa y mantener unido y compacto el sustrato del bloque en sí, lo que permite una mayor flexibilidad en el diseño y una eficiencia en la producción que es difícil de igualar por otros materiales. Además, Jiang L, et al. (2013) añade que los compuestos formados por composite basados en micelio son un material biodegradable y ambientalmente sostenible, con bajos costos de producción, por ello, es fácil de reciclar bajo las circunstancias adecuadas y de eliminar al final del ciclo de vida.

En contraste, el ladrillo de arcilla, aunque ampliamente utilizado en la construcción, y apreciado por su durabilidad y aspecto tradicional, requiere un proceso de extracción de la arcilla y de fabricación que a nivel industrial implica la amplia explotación del medio ambiente y, la cocción a altas temperaturas, alcanzando unas temperaturas de precalentamiento de 200° C y alcanzando unas temperaturas máximas entre 900° C y 1000° C (Villarreal, 2004). Las temperaturas varían según el caso estudiado, pero si se mantiene la constante de estar sometido a altas temperaturas, lo que conlleva una

significativa huella de carbono debido a la liberación de gases de efecto invernadero. Esta producción intensiva de energía y emisiones se contrapone directamente a la sostenibilidad ambiental. Por otro lado, el ladrillo de micelio se diferencia por su proceso de crecimiento, que es menos intensivo en energía y no emite gases nocivos, así como una cocción que requiere de menores temperaturas. Este proceso es descrito por varios autores como:

Se cultiva el micelio de hongos en bolsas de plástico. Para esto, necesitamos algunas semillas de hongos, desechos agrícolas y agua. Las semillas de hongos se mezclan con los desechos agrícolas después de la esterilización y luego se agrega un poco de agua. Luego, se cierra la bolsa y se deja en un lugar fresco y oscuro para crecer. También se añaden algunos productos químicos para detener el crecimiento de los microbios presentes en los desechos agrícolas, de modo que no interfieran con el crecimiento del micelio. Tomará aproximadamente de 7 a 10 días para que crezca el micelio. Luego, el micelio se transfirió a aserrín esterilizado y se añadió algo de alimento para que el micelio se alimentara. La mezcla se dejó en un lugar oscuro durante otros 7 días para que creciera el micelio. Después de que el micelio haya consumido todo el sustrato, se transfirió a un molde para ladrillos y se dejó allí durante algún tiempo hasta que tome su forma. Después de eso, el ladrillo se saca del molde y se deja secar. Una vez seco, se coloca en el horno a 200° Celsius durante un tiempo para que mueran las bacterias y obtengamos el ladrillo endurecido (Kishan, et al., 2018, pp. 494-495).

Además, el micelio puede ser cultivado en condiciones controladas, lo que permite una producción más eficiente y personalizada.

Asimismo, es fundamental considerar la distinción entre los tableros conglomerados de micelio utilizados como aislantes térmicos y los paneles de aislamiento térmico tradicionales compuestos por poliestireno y poliuretano. Los tableros de micelio, además de sus beneficios ecológicos, exhiben una excelente capacidad aislante y una mayor resistencia al fuego en comparación con sus contrapartes sintéticas. En la investigación de Dias et al. (2021) se encontró que el tablero estudiado, compuesto de micelio de *miscanthus*, tiene propiedades comparativamente mejores que los materiales de aislamiento convencionales y cumple con la mayoría de los requisitos necesarios para las aplicaciones de construcción en interiores. Esta característica proporciona una doble ventaja al proyecto, al no solo contribuir a la eficiencia energética de la estructura,

sino también a la seguridad y durabilidad de la misma. Por otro lado, los paneles de aislamiento de poliestireno y poliuretano, aunque efectivos en términos de aislamiento térmico, conllevan preocupaciones ambientales significativas debido a su origen derivado del petróleo y su baja biodegradabilidad.

La elección de emplear estos materiales compuestos por micelio en lugar de los materiales convencionales resalta la importancia de considerar alternativas ecológicas que permitan no solo cumplir con los estándares de eficiencia energética, sino también reducir el impacto ambiental en la construcción y promover la sostenibilidad en la arquitectura contemporánea.

A diferencia de los tableros de aislante térmico compuestos por conglomerados de micelio, este diseño tiene la intención de cultivar y permitir el crecimiento in situ del micelio, con el propósito de ocupar por completo el espacio comprendido entre los dos tabiques y mantenerlo vivo tras su expansión completa. Esta elección se orienta hacia la utilización de la bioelectricidad generada por el micelio como recurso funcional en el contexto del proyecto.

2.2. Bioelectricidad generada por el micelio vivo

La bioelectricidad generada por el micelio se origina a partir de su actividad eléctrica propia, y esta señal puede ser modificada por diversos factores, como su estado, la humedad ambiental, como ya hemos detallado, la carga estructural, presión o peso, según Adamatzky y Gandia (2022):

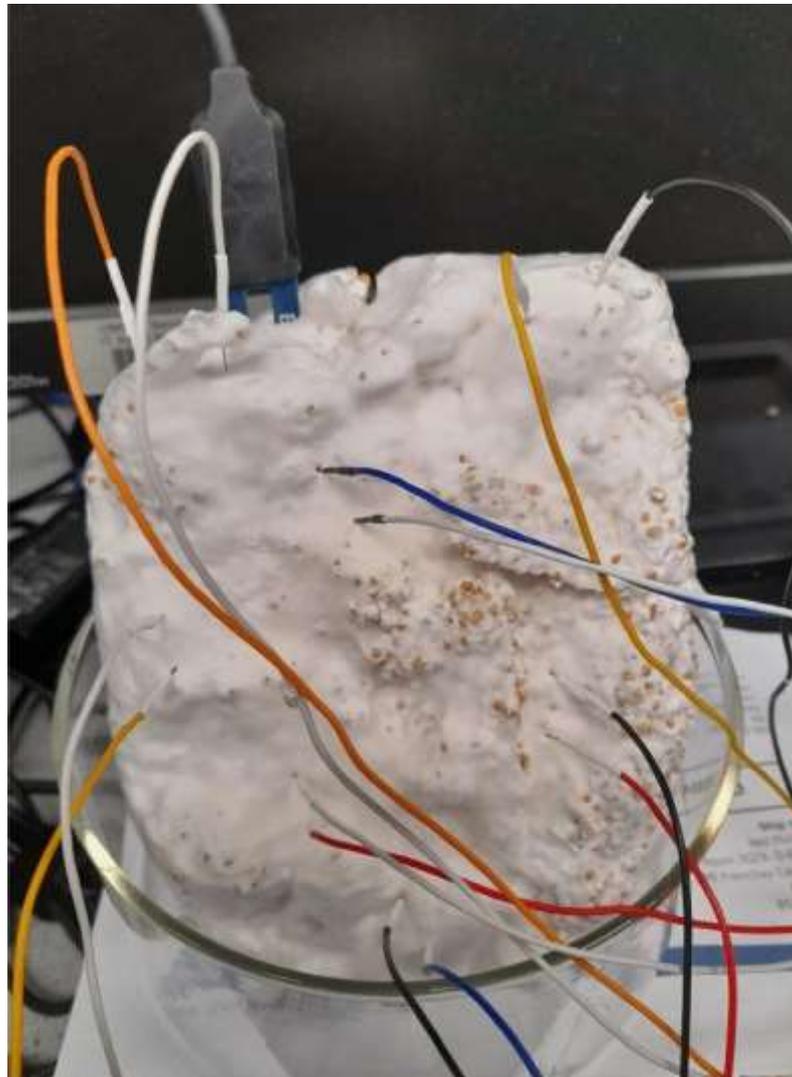
Los patrones de su actividad eléctrica cambian cuando se aplica presión (en forma de un peso) a los compuestos. Aunque todavía se desconoce si los compuestos pueden reflejar con precisión la cantidad de presión desarrollada a través de sus patrones de actividad eléctrica, se ha demostrado que pueden actuar como sensores de encendido/apagado. Estos hallazgos abren nuevos horizontes en cuanto a biomateriales reactivos. (p. 31)

Los cambios que se produzcan en esta señal, que será empleada en este diseño, serán reflejados en la recogida de la misma y posteriormente transformados en piezas de información, en este caso, sonido, a través de un sintetizador analógico. Este proceso transformará la obra de manera que su naturaleza se vuelva mutable y adaptable, dependiendo de las condiciones presentes en la instalación. En consecuencia, la

experiencia del espectador variará según el momento en el que se acerque a la obra, lo que confiere a esta una cualidad renovadora y cambiante.

Figura 1.

*Colocación de electrodos de aguja subdermal en micelio de *Pleurotus ostreatus**



Nota. Tomado de *Electrical response of fungi to changing moisture content* (p. 2), por Phillips et al., 2023.

Esta señal eléctrica es de baja intensidad, por lo tanto, requerirá ser captada mediante el uso de materiales conductores como electrodos, de manera análoga a cómo se recolectan las señales en un electrocardiograma para registrar la actividad eléctrica generada por el corazón. En este contexto, los electrodos desempeñarán un papel fundamental al recopilar la actividad eléctrica generada por el micelio.

Dado que estamos tratando con micelio y no con un órgano vital en este caso, tenemos la posibilidad de introducir los electrodos a diversas profundidades, penetrando en la estructura del micelio. Esto abre varias posibilidades para experimentar con la producción de esta señal en relación con factores que la modifican ya citados según como se presenten en la posición de cada electrodo. Estos factores pueden tener un impacto significativo en la señal eléctrica y, por ende, en el sonido resultante.

Con respecto a otros factores que también pueden afectar a esta señal, existe toda una rama de estímulos químicos de los cuales se sustentan los mecanismos bioeléctricos. El micelio también puede actuar como un conductor eléctrico, permitiendo que las señales eléctricas viajen a lo largo de su estructura. Esto es especialmente relevante en el contexto de las micorrizas. Estas son descritas por varios autores como “Órganos de absorción dobles que se forman cuando los hongos simbiotes viven dentro de los órganos de absorción sanos (raíces, rizomas o talos) de las plantas terrestres, acuáticas o epífitas” (Trappe, 1996, p. 6).

En esta asociación, la planta le proporciona al hongo carbohidratos (azúcares, producto de su fotosíntesis) y un microhábitat para completar su ciclo de vida; mientras que el hongo, a su vez, le permite a la planta una mejor captación de agua y nutrientes minerales con baja disponibilidad en el suelo (principalmente fósforo), así como defensas contra patógenos. Ambos, hongo y planta, salen mutuamente beneficiados, por lo que la asociación se considera como un “mutualismo” (Camargo-Ricalde et al., 2012, p. 4).

Mutualismo donde el micelio puede conectar las raíces de las plantas y permitir la transferencia de nutrientes y señales entre ellas.

Si bien estos estímulos químicos pueden ser incorporados a la obra o a nuevos rediseños a posteriori, parte de la narrativa que presenta la instalación artística se basará fuertemente en las bases de estos mecanismos. En este sentido, los mecanismos químicos son fundamentales ya que denotan la existencia de una comunicación bilateral entre el entorno y el micelio. Se pone un gran énfasis en cómo estos mecanismos y conexiones pueden integrarse como una filosofía arquitectónica al diseñar estructuras. Además, gracias a esta comunicación mutua, también es posible diseñar espacios interactivos que involucren y reaccionen a sus usuarios al igual que con el resto de su

entorno en una comunicación bilateral. en el contexto de la obra artística y su interacción con el entorno circundante.

2.3. Transmisión de información del hongo y generación de sonido.

En el proceso de producción de sonido a través de una señal eléctrica, uno de los parámetros más determinantes es la frecuencia. La frecuencia se refiere a la oscilación cíclica del voltaje o la corriente de la señal eléctrica a una frecuencia específica, medida en hercios (Hz). Esta magnitud representa cuántas veces se completa un ciclo de cambio de polaridad, de positivo a negativo, en el voltaje o la corriente en un segundo. En el contexto de la generación de sonidos musicales, esta propiedad es fundamental y puede amplificarse mediante el uso de amplificadores de voltaje.

Los sintetizadores analógicos, que incorporan osciladores para generar notas musicales, aprovechan esta propiedad. Comúnmente, estos sintetizadores establecen un estándar de una octava por cada voltio (1V/octava), estandarizado por los primeros sintetizadores analógicos de Moog. Para determinar cómo las variaciones en el voltaje se traducen en cambios tonales en las notas musicales generadas. Esta relación 1V/octava permite un control preciso y musical de las frecuencias sonoras.

Cuando amplificamos la señal eléctrica antes de su conversión en notas musicales, mejoramos la claridad y la detección de los cambios de voltaje. Esta conversión deriva en una mayor variación entre las notas musicales generadas, lo que facilita la percepción de cambios tonales y matices en la producción de sonido.

Al haber establecido previamente que el micelio responde a diversos estímulos y coordina sus células para llevar a cabo actividades mediante patrones de señales eléctricas y, considerando su capacidad para establecer conexiones simbióticas con otros organismos, podemos afirmar que existe una forma de comunicación entre estos seres. Para comprender el sonido que será generado en este contexto, es fundamental analizar los posibles patrones que pueden manifestarse en la señal eléctrica, ya que el micelio exhibe un comportamiento complejo al recibir estímulos y generar respuestas o información en consecuencia.

Este análisis nos permitirá comprender cómo la variación de la señal eléctrica influirá en la producción del sonido y cómo descifrar la información subyacente a través de la música que se generará.

Se establece un paralelismo en las investigaciones de estas respuestas y patrones con las redes neuronales de impulsos que se encuentran en organismos como los seres humanos, las cuales estipulan que las activaciones neuronales, según Hoffmann (2001) “son principalmente estimuladas de manera circular. Una neurona se activa por otras neuronas a las que está conectada. A su vez, su propia activación estimula a otras neuronas conectadas para que se activen”.

El paralelismo viene dado a que según Adamatzky et al. (2022) “se generan impulsos o picos en la actividad eléctrica, de tal forma que, cabe la posibilidad de que el micelio transfiera información a través de estos impulsos de manera homologa a las neuronas” (p. 4).

No solo nos permite discernir los patrones de las señales eléctricas y, por lo tanto, la generación de sonido asociada, sino que también nos introduce en una narrativa que, ante comportamientos tan complejos, percepciones y actividades en consecuencia del micelio, plantea la cuestión de si los hongos pueden o no tener consciencia como organismo, tal y como describen Adamatzky et al. (2022):

“En estudios experimentales de laboratorio sobre la actividad eléctrica de los hongos, demostramos que los hongos producen ráfagas de picos similares a neuronas que son afectadas por anestésicos generales. Estos fenómenos indican que los hongos pueden poseer el mismo grado de consciencia que las criaturas con un sistema nervioso central” (p. 4).

Los impulsos mencionados poseen una frecuencia en su oscilación, la cual será captada por el sintetizador. Dependiendo de si esta frecuencia es mayor o menor, el sintetizador producirá una serie de sonidos y notas más agudas o graves, respectivamente, durante el período de tiempo en que perdure el impulso.

En cuanto a los dispositivos que pueden recibir y transformar estas señales eléctricas en sonido, podemos mencionar los sintetizadores analógicos modulares. Estos sintetizadores ofrecen diversas herramientas o módulos para procesar la señal de entrada y controlar las notas y el sonido resultante o señal de salida. Esto permite no solo emitir, sino intensificar o resaltar aspectos de la presentación y la experiencia del sonido producido. En pos de una descripción más específica, otros autores detallan que:

“Un sintetizador es un instrumento electrónico que emite sonidos mediante la creación y combinación de señales generadas por entradas controladas por el

usuario. Un sintetizador modular es un sintetizador que produce su sonido final al conectar módulos de sintetizadores independientes entre sí. Los módulos, como osciladores, filtros, retardos y secuenciadores, permiten una variedad de posibilidades sonoras” (Muth et al., 2008, p. 1).

2.4. Arte, arquitectura y sostenibilidad.

Uno de los factores más determinantes para la comparación y exploración de antecedentes en el ámbito artístico, y en particular en el arquitectónico, es la distinción entre obras que preservan el micelio vivo y aquellas que lo matan durante la producción de sus materiales basados en él. Bajo estas dos categorías analizaremos las obras previas que presentan enfoques similares o abordan problemas relacionados con el diseño que estamos desarrollando. Nos centraremos en aquellas que lo mantienen vivo para acotar los antecedentes:

Figura 2

Instalación Shell Mycellium



Nota. Tomado de *Shell Mycelium: a Degradation Movement Manifesto in Architecture* [Fotografía], por Zeitoun, 2020, Designboom, (<http://www.designboom.com/architecture/shell-mycelium-degradation-movement-manifesto-07-25-2017/>).

Shell Mycelium

Un grupo de arquitectos indios e italianos colaboró en la creación de un pabellón en el suroeste de la India utilizando micelio como material de construcción. Su objetivo era promover el micelio, que se forma a partir de la red de raíces de los hongos, como una opción ecológica para estructuras temporales en eventos importantes. Este material tiene la particularidad de fusionarse con el marco, en este caso, un marco de madera triangular. Crearon cavidades en la estructura llenas de hongos y cubiertas con fibra de cáscara de coco, lo que permitió que el micelio creciera y se convirtiera en una cáscara protectora. Este pabellón ejemplifica cómo el micelio puede utilizarse de manera respetuosa con el medio ambiente en la construcción de estructuras temporales.

Además, en el festival de proyectos MAP en Kerala, India, un equipo de arquitectos de India, Italia y Líbano presentó la instalación "Degradation Movement". Esta instalación utiliza micelio de la concha como expresión artística de degradación y busca desafiar el estado actual de las construcciones permanentes. Los arquitectos diseñaron un marco de madera contrachapada que servía como sustrato para el micelio, y con el tiempo, la estructura se desintegra físicamente. Este diseño genera la idea de que los edificios pueden ser parte de un ciclo natural de crecimiento y degradación, dejando solo la experiencia como legado.

Figura 3

Proceso de construcción de Grow Structures



Notas. Tomado de *Grow Structures* [Fotografía], por Vesaluoma, 2017, Mandin (<https://www.mandin.earth/work#/grown-structures/>)

Grow Structures

Vesaluoma, en colaboración con Astudio, desarrolló una innovadora técnica utilizando micelio, que involucra mezclar micelio con cartón y moldearlo en "salchichas de hongos", que luego crecen y se expanden hasta poder usarse como estructura y adhesivo durante cuatro semanas en un invernadero. Esta estructura resultante ofrece una alternativa sostenible en cuanto a sellado, unión de materiales y a otros métodos de construcción tradicionales, además, los hongos que crecen en estas estructuras, en este caso y coincidiendo con los que se pretende usar en la instalación propuesta, se tratan de hongos ostra, los cuales son comestibles y se planteó en la creación de Grow Structures que pudiera ser usado en la creación de un restaurante emergente basado en hongos. Este enfoque promete un futuro en el que la arquitectura se cultive desde la base, en armonía con la naturaleza y sin generar residuos. Por otro lado, el micelio de hongos tiene la capacidad de crecer a través de desechos orgánicos, actuando como un adhesivo natural, y es biodegradable, lo que permite su cultivo en un invernadero con las condiciones adecuadas. Los hongos que surgen de estas estructuras no solo son comestibles, sino que también pueden utilizarse en la preparación de alimentos. Esta versatilidad del micelio abre la puerta a la creación de estructuras temporales y comestibles para eventos y festivales, transformando nuestro entorno espacial en una fuente potencial de alimentos.

Figura 4

Exhibición de Mycelium Mockup



Notas. Tomada de *Mycelium Mockup* [Fotografía], por Frid-Jimenez, 2015, amberfj (<https://amberfj.com/projects/myceilum-mockup/>)

Mycelium Mockup

Mycelium Mockup es una instalación temporal que utiliza ladrillos vivos de hongos para crear una experiencia visceral de biocompuestos de micelio, explorando la posibilidad de edificios comestibles que crecen a partir de recursos biológicos regionales. En contraste con enfoques convencionales de construcción, estos ladrillos continúan creciendo después del ensamblaje, convirtiéndose en una única pared monolítica gracias a una capa de quitina producida por el hongo. La instalación también presenta video proyecciones que investigan la tensión entre el control de procesos naturales y el deseo de hacerlo. De esta manera plantea la descomposición orgánica

como parte de su estructura básica y una oportunidad para devolver materiales valiosos a los ecosistemas locales, imaginando un futuro en el que los materiales arquitectónicos sean dinámicos y regenerativos. El proyecto se trasladó a diferentes entornos para adaptarse a las necesidades de crecimiento de los hongos, demostrando cómo las condiciones del lugar pueden influir en la producción de materiales arquitectónicos. El proyecto cuestiona la relación tradicional entre arquitectura y naturaleza y sugiere una nueva con procesos naturales y temporales, en lugar de resistirlos.

Figura 5

Exhibición de Breeding Space



Notas. Tomado de *Breeding space* [Fotografía], por Pulupa, MariaMallo (<https://mariamallo.com/filter/2019/Breeding-Space>)

Breeding Space

El proyecto "Breeding Space" de María Mallo, creado para la bienal de Rabat en 2019, se desarrolla a partir de un enfoque orgánico inspirado en la naturaleza y la estructura de los radiolarios. La instalación, de 3,7 metros de diámetro y 2,5 metros de altura, combina materiales vivos, como el micelio de seta de ostra y biomateriales, para crear

una arquitectura que crece y se desarrolla naturalmente. La forma resultante es única y paramétrica, similar a la singularidad genética en la naturaleza. Además, el proyecto involucra procesos de fermentación con kombucha y explora la interacción con contaminaciones ambientales, lo que da como resultado paisajes sorprendentes documentados en fotografías. Esta aproximación experimental al diseño y la construcción arquitectónica se narró a través de las redes sociales, desafiando las narrativas arquitectónicas tradicionales y abriendo nuevas posibilidades en el campo de la arquitectura. De este proyecto destaca su enfoque orgánico, el uso de materiales vivos, la inspiración en la naturaleza, la singularidad paramétrica, y los procesos experimentales de fermentación y contaminación ambiental.

2.5. Creación artística y realidad aumentada.

En este último apartado se aborda la convergencia de los conceptos anteriores en la creación de la obra artística propuesta. Con respecto a los aspectos narrativos de la obra están divididos en las visiones positivistas y negativas o desafíos de integrar estructuras arquitectónicas hechas comúnmente de micelio, a ser posible vivo, así como de las posibles interacciones que tendrían con aquellos que pueblan los espacios en sí, siempre con un punto de vista de ciencia ficción y expandiendo de forma fantástica, pero fundamentada en los avances científicos ya descritos, el futuro de lo posible.

El punto narrativo y elemento parte de la ficción que tenemos como partida de la instalación artística es el de la singularidad que supone que un organismo se encuentre en los albores de generar inteligencia. Como antecedentes tenemos la posibilidad de un desarrollo de consciencia por parte del micelio y una similitud ya citada a las redes neuronales de impulso a la que se le suma según varios autores la increíble capacidad del micelio de detectar y responder a elementos presentes en el ambiente como: Nutrientes, glucosa, nitrógeno. agentes quelantes provenientes de metales pesados, temperatura, pH, CO₂, iluminación, gravedad, campos eléctricos, feromonas, hormonas, microbios y patógenos entre otros elementos más (Braunsdorf et al., 2016)

Contribuyendo a la narrativa de una posible singularidad con respecto al desarrollo de una especie, el micelio es uno de los organismos más antiguos actualmente vivo, así como un miembro de esta especie es el organismo más grande del planeta tierra. Según Maheshwari (2005) “Un hongo, perteneciente a la especie *Armillaria ostoyae*, fue descubierto en Oregón, EE. UU., con una extensión de aproximadamente 890 hectáreas

y una antigüedad de 2400 años” (p. 4). Convirtiéndose esta maravilla de la biología en un testafarro de lo masivas que pueden llegar a ser las estructuras de micelio y que, bajo las condiciones adecuadas, su extensión puede llegar a abarcar bosques o pequeñas ciudades.

Esta gran capacidad, combinada con el gran conocimiento y respuesta a su entorno nos hace imaginar las posibilidades y eficacia de gestión que el micelio puede tener sobre sus dominios y como nos puede beneficiar en caso de que estos no solo estén en una zona urbana, sino que sean la zona urbana en sí. La eficacia y capacidades de los hongos fueron probadas en el caso expuesto por varios autores donde:

Se utiliza el hongo *Physarum polycephalum* para desarrollar un modelo biológicamente inspirado en el desarrollo de redes adaptables...

Observamos al hongo *Physarum* conectando una plantilla de 36 fuentes de comida que representaban ubicaciones geográficas de ciudades en el área de Tokio y comparamos el resultado con la red ferroviaria real en Japón (Tero, et al., 2010, p 439).

Dicho resultado coincidió en una gran similitud con la red ferroviaria actual de Tokio y sirvió como un precedente más para impulsar el diseño de redes adaptativas inspiradas en la biología y, por tanto, instar a encontrar soluciones a problemas tecnológicos, logísticos y sociales por medio de la observación de los procesos biológicos de otros organismos.

Con respecto a las características de la realidad aumentada, según Caudell (1992) una de las definiciones de la realidad aumentada es que combina elementos reales y virtuales, es interactiva en tiempo real. Esta combinación se compone de gráficos proyectados y/o animados como, líneas, mallas, texto, imágenes y demás clase de información superpuestas a la realidad aún visible y apreciable con respecto a estas proyecciones. Ampliando la definición y categorización de la realidad aumentada, según Mozas (2016) una clasificación para las aplicaciones de realidad aumentada basada en los siguientes seis niveles:

- Nivel 0. Relacionando el mundo físico. Son enlaces representados a través de una simbología, por ejemplo, mediante códigos QR. Es el nivel más básico. El funcionamiento para aumentar la realidad en este nivel se basa en enlazar

información a través de dichos códigos mediante hipervínculos que redireccionan al usuario a otro tipo de información.

- Nivel 1. Realidad aumentada basada en marcadores, son imágenes en blanco y negro, normalmente cuadradas, con unos dibujos sencillos y asimétricos. Es la forma más utilizada. Se basa en el uso de marcadores, estas figuras una vez escaneadas extraen la información 3D contenida mostrándola a través de la pantalla del dispositivo.

- Nivel 2. Realidad aumentada sin marcadores, haciendo uso de GPS y la brújula de los dispositivos electrónicos para conseguir localizar las situaciones o puntos de interés en las imágenes del mundo real.

- Nivel 3. Visión aumentada. El ejemplo más claro para definir este nivel son las gafas de Google Glass y las HoloLens de Microsoft.³⁷ La realidad aumentada visualizada a través de pantallas se convierte en visión aumentada gracias a dispositivos tecnológicos que permiten que el entorno real se convierta en mundo virtual inmersivo. Para el efecto se utilizan diferentes aparatos tecnológicos; gafas de VR, proyectores, lentillas y cascos.

- Nivel 4: Sistema de Posicionamiento Global. Te encuentras en un lugar con unas coordenadas que son reconocidas por el GPS y se despliegan contenidos en Realidad Aumentada.

- Nivel 5: Se pretende que toda superficie se convierta en táctil, así con el calor que desprende nuestros dedos podemos interactuar con el ambiente.

Con respecto a su catalogación como realidad aumentada, encaja en el concepto debido a que tiene una base real en la que se sustenta (el hongo); sin embargo, por medio de lo digital nos permite ver una nueva dimensión de la realidad, permitiendo, mediante su manipulación, la transmisión de mensajes y comunicación más allá de obras musicales y espacios artísticos. Puede tener un desarrollo totalmente funcional y formar parte de los sistemas de comunicación de una ciudad, como podrían ser alarmas, signos de tráfico auditivos como los semáforos, o incluso despliegues de información acerca de un punto en específico o de interés desencadenados por medio del rastreo del sonido de los muros y mediante una comparativa en bases de datos, la correcta localización del individuo. Estas propuestas que requieren más investigación al respecto y a las que se aspiran inspirar modestamente por medio de esta obra.

3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Figura 6

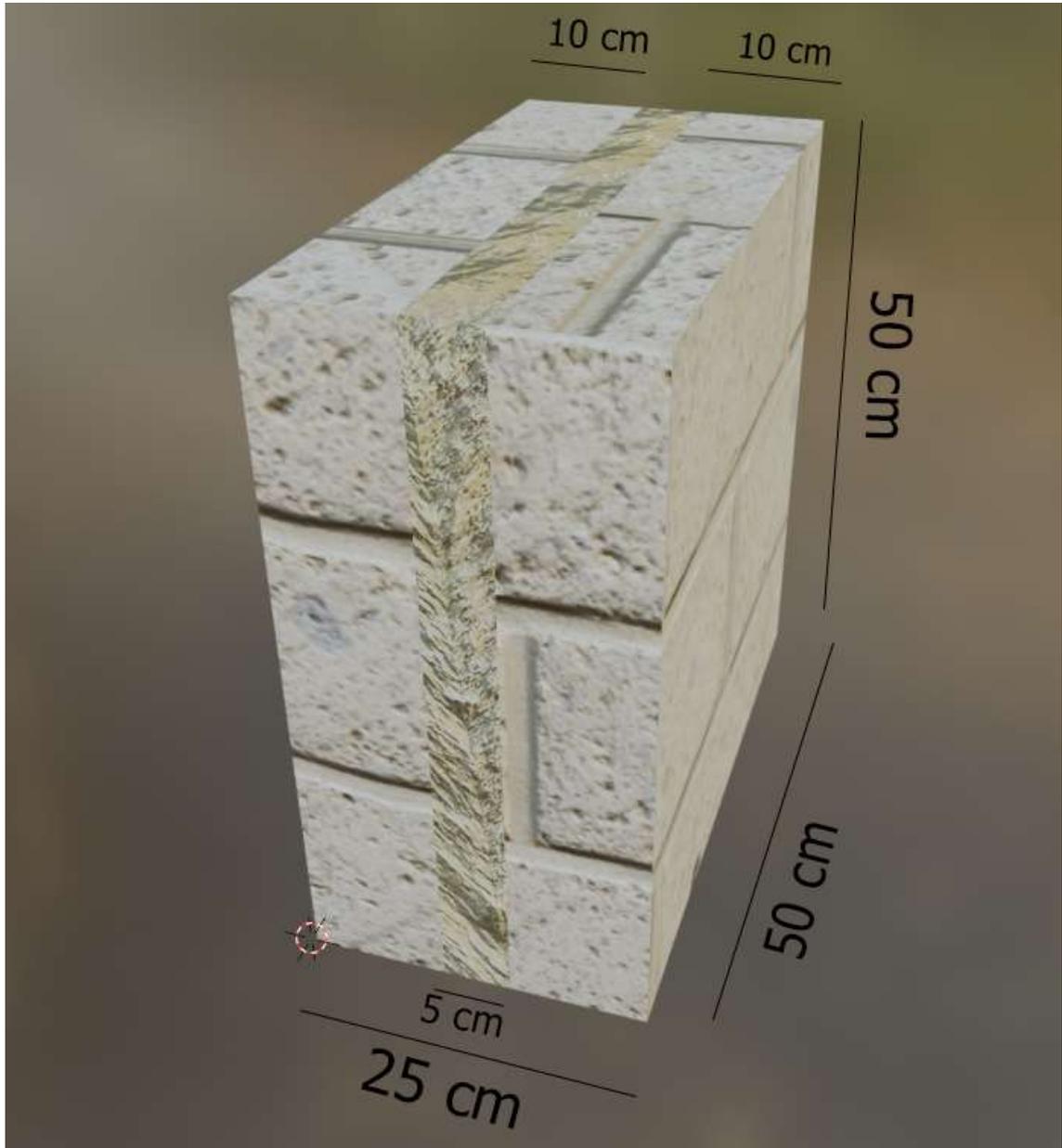
Diseño tentativo de la instalación



Notas. Elaboración propia

Figura 7

Modelo 3D con dimensiones para la obra



Notas. Elaboración propia

Las dimensiones totales del diseño han sido escogidas deliberadamente para simular las medidas estándar aproximadas de una torre de ordenador de sobremesa. En especial, para dar la sensación de un único módulo computacional operando y acercar al espectador, en cuanto a símbolos y similitudes se refiere, con algo tan cotidiano como

un ordenador. Además, este tamaño permite la fácil transportación de la obra para ser expuesta en donde sea necesario, por lo que es bastante práctica.

Los dos tabiques del muro, posterior y anterior, están compuestas también por ladrillos de micelio que serán unidos por mortero de cal. Esta solución se ha dado al intentar encontrar un agente menos contaminante que el cemento para dicha unión. Estos tabiques ocuparan la mayor parte de la obra y se dejaran sus lados expuestos para que se pueda ver que en el interior del muro se halla más micelio en una presentación diferente.

Con respecto al tipo de hongo elegido para que su micelio ocupe el interior de la estructura, se elige la variedad *Pleurotus ostreatus* ya que es sobre la que más se ha encontrado documentación de pruebas y cultivo a lo largo de esta investigación. Además, es un hongo comestible, por lo que, en caso de que el micelio dé frutos se puede aprovechar.

Con respecto a los dispositivos que se vayan a emplear en la obra se necesitará un ordenador, para hacer una muestra de los valores a lo largo de un periodo de los impulsos eléctricos utilizando por ejemplo el programa nativo que venga con el ADC que reciba la señal analógica del micelio, acompañado de una pantalla, (y si se desea un proyector para proyectar video), unas tiras led, que se pueden programar para emitir diferentes colores en base a esta lectura y un sintetizador.

El sintetizador modular empleado más allá del arreglo que se confiera con respecto a los diferentes efectos y módulos por los que puede pasar la señal de entrada, es indispensable que pase primero por un módulo amplificador para poder aumentar el voltaje de la señal y hacer que las diferencias que se vayan produciendo en esta cualidad del hongo emitan una variedad de notas mayor debido a que según Phillips et al. (2023) se estima un resultado con unos picos medios de +- 0,39 mV y 0,4 mV de amplitud dependiendo de su frecuencia. La entrada se dará por el acople de uno de los cables que contienen los electrodos empalmado a un Conector de audio analógico de 6,35 mm, de manera que permita la conexión con el sintetizador. Con respecto a la elección del sintetizador nos decantamos por el Eurorack simplemente por ser un estándar en este aspecto junto a moog y plantear ese 1V/octava que permitirá darle un sonido con amplias notas en la escala.

tal manera que se pueden utilizar un número inferior de módulos para la cantidad de efectos requeridos. La presentación de los mismos es tentativa y podrá ser modificada según las necesidades para con la obra.

En primer lugar, pasamos por un amplificador, que al aumentar voltaje a la señal tiene un porcentaje de distorsión también, lo cual genera que la señal auditiva finalmente abarque muchas más frecuencias, pero a la vez fomenta la aparición de ruido. Para dicho ruido tenemos un elemento de control como puerta de ruido, que capa la señal en determinados umbrales y permite su descarte. Una vez está la señal más o menos procesada por estos dos primeros módulos generales, se busca un efecto con bandas ecualizadoras, que pueden potenciar o anular la señal en determinadas frecuencias y hacemos tres distinciones con tres canales para su posterior procesamiento, agudos, medios y graves. La ecualización de los graves y de los agudos en particular anula de manera suave ciertas frecuencias debido a que según nos aclara Martínez (2008) “Una persona con capacidades auditivas normales es capaz de percibir sonidos que están entre 20 Hz y 20 kHz (20,000 Hz)” (p. 7). Al ser las señales por encima y debajo de estas frecuencias son inaudibles para el oído humano, por lo que, se toma esta decisión básica ya que, además, al conservar los sonidos en estas frecuencias, con los efectos y procesamientos siguientes, cabe la posibilidad de que se conviertan en ruido.

En la parte de que efectos elegir para cada uno de los 3 buses que manejamos la elección es más arbitraria y estaría fundamentada en un efecto de reverberación para los graves y así genere una base que envuelva toda la composición, de manera constante y como ambiente, al ser las frecuencias menos dañinas para el oído. Con respecto a los agudos, preventivamente se colocará un módulo de coro, que nos permitirá replicar la señal que lleve las frecuencias agudas varias veces y así poder crear armonías o cuanto menos hacer ajustes tonales y que no derive así en altas frecuencias constantes y dañinas para el oído. Por último con los medios para su simple acentuación colocamos una puerta de fase, que replica la señal con un desfase a elegir y se puede experimentar y digerir la señal en varios tiempos. Cada una de estas señales puede pasar por secuenciadores, que le otorgarán a la señal un patrón rítmico ajustable, con el fin de coincidir o diferenciarlas, facilitando la distinción e interpretación de las señales. Por último un tratamiento post producción de la señal en la que se vuelve a un solo bus y se comprime con el fin de deshacernos de sonidos en frecuencias que tengan demasiada

intensidad. Además, se incluye un limitador que baja la ganancia cuando la frecuencia pasa de un umbral.

3.2 Cultivo y mantenimiento.

Con respecto a los métodos para conseguir el micelio para los materiales tenemos dos rutas obvias, la adquisición frente a la creciente oferta de empresas que aplican su propia fórmula tanto para sustratos como para ladrillos ya hechos. La segunda y más atrayente por su menor costo y más acorde con los principios de sostenibilidad que pretende promover la obra, sería cultivarlo nosotros mismos. Los pasos para el cultivo del micelio son reparación del sustrato, inoculación, incubación y producción, según Sánchez (2010). Además, especifica en este primer paso de escoger la clase de sustrato que se usará para un primer cultivo que tiene que ser molido en un grosor de 2 a 6 cm resultantes, así como nos aporta una mezcla que no se valoraba inicialmente en el diseño que consiste en mezclar la paja que compondría el sustrato inicialmente con cascaras de semilla de algodón (p. 1325). Otro sustrato posible que se considera son los posos de café, cuya validez es principalmente fundamentada, según da Silva et al. (2012), “por el bajo contenido de selenio, así como de demás nutrientes en las cascaras de los granos de café, los cuales han sido un residuo agroindustrial eficiente para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*” (p. 561). Además, al referirse el anterior autor a las cascaras del grano de café y no al poso del café generado después de hervirlo para su consumo, habría que realizar unos ajustes en el sustrato, debido principalmente a que puede resultar un poco más denso que su contraparte. Una solución rápida para ello sería añadir otro elemento que se use en el sustrato del micelio que permita airear el mismo; en este caso, podríamos añadir aserrín, de tal manera que forme una mayor ventilación debido a su composición y aporte al sustrato por colonizar. Siguiendo con los pasos marcados por Sánchez (2010) el siguiente paso al cultivo sería la inoculación, que se realiza una vez se haya pasteurizado el sustrato al calentarlo a 60° C por 1 o 2 horas en el caso de la paja y el algodón, como caso aparte para los posos de café es necesario un proceso idéntico de pasteurización, sin embargo, para generar el poso, este proceso ya se puede haber llevado a cabo y con mayor temperatura incluso para la elaboración de nuestro café, por lo que, si se siguen procedimientos correctos de recolección, conservación y congelación del poso de café en caso de no ser inoculado inmediatamente después de su generación, se puede saltar el paso de pasteurización.

Como extra antes de la pasteurización, se puede emplear el lavado con cal para el primer caso de sustrato compuesto por paja y cascara de semilla de algodón, ya que según Khan, et al. (2013) ayuda a mantener niveles de pH deseados en el cultivo y mantener un uso del 2% de cal en la producción del hongo ayuda en su producción, además de ser un uso viable de la cal que pudiera sobrar en la producción de mortero de cal para la obra, así como generar un agua residual con alto nivel de pH que en otros casos es difícil de desechar, sin embargo, tener este recurso puede ayudar al mantenimiento del pH posterior al cultivo. Siguiendo con la inoculación, la semilla o micelio para inocular los sustratos, aunque también se puede conseguir a partir de esporas, de un fragmento del hongo específico creciéndolo en grano de cereales o sorgo o de varios proveedores de germoplasma en el mercado. (Sánchez, 2010). La tasa de inoculación se decide en un 5% de lo que pesa el sustrato mojado, llevado a cabo en bolsas de polietileno transparentes u oscuras y se incuban durante 12 a 14 días a 25 °C (Sánchez, 2010), por lo que hay que tener en cuenta también la iluminación a la hora de cultivar según el tipo de bolsa que utilicemos, pero según todos los estudios revisados en el trabajo siempre es recomendable un ambiente oscuro, a pesar de que por ejemplo, la bolsa sea oscura y no veamos tanta necesidad de mantener el ambiente en tanta penumbra. La razón principal por la que se plantean estos dos tipos de sustratos y sus métodos de esterilización y lavado es debido a un intento de ser realistas en cuanto la adquisición de los materiales, ya que dependen mucho de la localización en la que se desarrolle el proyecto y por tanto, puede ser que contemos con una cal que no tenga las propiedades adecuadas para el trabajo o que no se disponga de alguna asociación o colaboración de cafeterías y bares en los que se sirva café para la obtención de tanto poso de café y aun así, que nos podamos asegurar que el poso de todo el día haya sido congelado y así no lo tengamos que someter a calor de nuevo.

Con respecto al mantenimiento, se pretende hidratar periódicamente el micelio para mantener unos niveles de humedad estables mientras dure su exposición, también se proveerá al mismo de material biodegradable rico en nutrientes como grano, más café o desechos biodegradables para su nutrición y continua expansión.

3.3. Statement y material adicional.

“Men in their arrogance claim to understand the nature of creation, and devise elaborate theories to describe its behavior. But always they discover in the end that God was quite a bit more clever than they thought...”

Will we next create false gods to rule over us? How proud we have become, and how blind.” Hermana Miriam Godwinson en Firaxis Games (1999)

“¿Y si cambiamos la forma de relacionarnos con nuestro entorno? ¿Y si el entorno también estuviera vivo?” Resuena el eco en cada rincón de los porosos muros de la colonia consciente, como si aquella pregunta del pasado todavía resonara en nuestro interior acariciando partes de nuestro ego y un falso sentido de protección de la ciudad hacia nosotros, sus “padres”. En nuestra arrogancia, pensamos que creamos a uno de los organismos vivos más antiguos de la tierra, cuando solo nos limitamos a ver su inevitable crecimiento. Si bien es cierto que lo nutrimos y nosotros fuimos quienes los pusimos dentro de nuestras ciudades, de nuestras casas, de nuestros muros, este destino era inevitable, con nosotros poblando la tierra o con nosotros alimentando el sustrato, donde, eventualmente llegaría de nuevo a esta tierra la singularidad.

Nuestra ciudad, no solo está viva, no solo es consciente, también es omnipresente, no entiende nuestros pensamientos individuales pero si nuestros comportamientos, y nos lo buscamos... nos lo buscamos por confundir su abrazo por uno benevolente en vez de uno predatorio, ya que su protección, aunque respaldada por la gestión de la ciudad y sus gentes, ocasiona en todos el pensamiento intrusivo de que lo que protege es su ganado, ya que “es el deber de cada ciudadano, cuando se acerca el fin de su ciclo vital, ir hacia los tanques de reciclado y volverse uno con todos nosotros.” Mientras nos recreamos en nuestra mísera actualidad, la ciudad ha decidido regalarnos un monumento, algo fuera de la implacable eficacia e intransigencia con la que rige esta ciudad, algo que pensamos inservible, pero que quizás ella ha estimado que necesitábamos un pequeño correctivo, un recuerdo de aquel pequeño proyecto, lo que alguna vez fue, el germen de nuestra desdicha.

Este extracto de ficción con el que presentar la obra está fuertemente inspirado en uno de los puntos de partida para este proyecto, la experiencia obtenida al jugar al título *Sid Meier's Alpha Centauri*, de donde incluso, se sacan dos textos para su composición, la primera cita presente en el texto y la paráfrasis de los deberes de los ciudadanos con los tanques de reciclados. Con este se pretende crear una pequeña narrativa que llame la atención con respecto al proyecto y a las capacidades que actualmente sabemos del micelio de cara al público general.

4. CONCLUSIONES

Muchos de los avances de 2022 y 2023 en cuanto a la investigación de los impulsos eléctricos del micelio es lo que ha hecho posible siquiera la teorización y diseño de la instalación artística, jugando con el avance científico fundamentado y la provocación artística de explorar, exagerar y resaltar las múltiples formas en las que nuestro conocimiento puede afectar en nuestros modos de vida y maneras de pensar.

Si bien el micelio como material parece bastante prometedor y hay múltiples empresas haciendo sus propias mezclas patentadas de sustratos, ladrillos y en especial materiales de empackado, este es aún un gran desconocido para nosotros en cuanto iconos de la cultura general se refiere y por muy eficiente o bueno que sea una tecnología, material o medio, lo que marca su historia es una combinación de estos atributos y su uso, ya que somos nosotros los que decidimos.

La capacidad de comunicación del micelio es un factor importante para la gestión y simbiosis de varias plantas en un hábitat, por lo que, este paralelismo es una de las constantes que podríamos erigir para hacer de nuestro paso por la tierra algo menos nocivo para la misma, incluso hablando de forma egoísta, poner a trabajar el micelio para nosotros y aprovecharnos de sus capacidades sensitivas y de gestión para nuestro bienestar y disfrute en las ciudades, abriendo nuevas posibilidades en cuanto que información nos puede ofrecer la ciudad si acuñamos e insistimos en la forma de entender como el micelio se comunica, dándonos las llaves a una nueva forma de vivir en comunión con la naturaleza, sin desechar los medios del hombre moderno.

Una de las mayores inquietudes de mantener el micelio vivo es nuestra incapacidad de mantener su estado vital mientras no dejamos que afecte a otros organismos como nosotros mismos por medio de sus esporas o a otros recursos como alimentos cercanos,

sin embargo, parte de la gracia es que a cambio nos da un cultivo sostenible de alimento.

Todo el esfuerzo de diseño y teorización de la obra está dispuesto para inspirar a otros proyectos e investigaciones, así como de formar un desglose detallado de los aspectos teóricos y técnicos que conllevaría esta instalación con el fin de poder entrar a programas de subvenciones y financiación para hacer realidad el proyecto.

BIBLIOGRAFIA

Adamatzky, A., Gandia, A. *Fungi anaesthesia*. Sci Rep 12, 340 (2022).

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-04172-0>

Adamatzky, A., Vallverdu, J., Gandia, A., Chiolerio, A., Castro, O., & Dodig-Crnkovic, G. (2022). Fungal States of Minds. BioRxiv, 2022.04.03.486900.

<https://doi.org/10.1101/2022.04.03.486900>

Adamatzky, A., Schunselaar, E., Wösten, H.A.B. et al. Multiscalar electrical spiking in *Schizophyllum commune*. Sci Rep 13, 12808 (2023).

<https://doi.org/10.1038/s41598-023-40163-z>

Adamatzky, A., & Gandia, A. (2022). *Living mycelium composites discern weights via patterns of electrical activity*. Journal of Bioresources and Bioproducts, 7(1), 26-

32. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.09.003>

Alencar, M. H., Priori Jr., L., & Alencar, L. H. (2017). *Structuring objectives based on value-focused thinking methodology: Creating alternatives for sustainability in the built environment*. Journal of Cleaner Production, 156, 62-73.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.221>

Braunsdorf, C., Mailänder-Sánchez, D., & Schaller, M. (2016). *Fungal sensing of host environment*. Cellular Microbiology, 18(9), 1188-1200.

<https://doi.org/10.1111/cmi.12610>

Camargo-Ricalde, S. L., Montaña Arias, N. M., De La Rosa Mera, C. J., & Montaña Arias, S. A. (2012). *Micorrizas: una gran unión debajo del suelo*. UNAMX.

<https://ru.tic.unam.mx/handle/123456789/2038>

Caudell, T., & Mitzell, D. W. (1992). *Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes*. System Sciences, 2, 659-669.

- https://www.researchgate.net/publication/303803052_Augmented_reality_an_application_of_heads-up_display_technology_to_manual_manufacturing_processes
- Dahmen, J. (2016). *Soft matter: Responsive architectural operations*. *Soft Matter*, 14, 113-125. <https://doi.org/10.1386/tear.14.1-2.113-1>
- Dias, P. P., Jayasinghe, L. B., & Waldmann, D. (2021). *Investigation of Mycelium-Miscanthus composites as building insulation material*. *Results in Materials*, 10, 100189. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2021.100189>
- Elsacker, E., Søndergaard, A., Van Wylick, A., Peeters, E., & De Laet, L. (2021). Growing living and multifunctional mycelium composites for large-scale formwork applications using robotic abrasive wire-cutting. *Construction and Building Materials*, 283, 122732. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122732>
- Firaxis Games. (1999). *Sid Meier's Alpha Centauri* (Edición Digital) [Videojuego].
- Frid-Jimenez, A. (2015) *Mycelium Mockup* [Fotografía]. Amberfj. <https://amberfj.com/projects/myceilum-mockup/>
- Fuentes-Cantillana, I. (2020). Bio Fabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/63507/>
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C. et al. Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Sci Rep* 7, 41292 (2017). <https://doi.org/10.1038/srep41292>
- Hoffmann, A. (2001). Artificial and Natural Computation. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 777-783). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/00551-9>.
- Jiang, L., Walczyk, D., Mooney, L., & Putney, S. (2013). *Manufacturing of mycelium-based biocomposites*. International SAMPE Technical Conference, 1944-1955. https://www.researchgate.net/publication/289663184_Manufacturing_of_myceliu_m-based_biocomposites
- Kishan, Rahul Kashyap, Rohan Tyagi, Anshul Jain, INDRAJEET, AJEET RATHI, (Volume. 3 Issue. 4, April- 2018), "Production of Mycelium Bricks ", International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT), <https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2018/05/Production-of-Mycelium-Brick.pdf> ISSN - 2456-2165 , PP:-484-518.

- Kalia, S., Dufresne, A., Cherian, B. M., Kaith, B. S., Avérous, L., Nassiopoulos, E. (2011). *Cellulose-Based Bio- and Nanocomposites: A Review*. International Journal of Polymer Science, 837875. <https://doi.org/10.1155/2011/837875>
- Khan, M. W., Ali, M., Khan, N., Khan, M., Rehman, A., & Javed, N. (2013). *Effect of different levels of lime and pH on mycelial growth and production efficiency of oyster mushroom (Pleurotus spp.)*. Pakistan Journal of Botany, 45, 297-302. [https://pakbs.org/pjbot/PDFs/45\(1\)/43.pdf](https://pakbs.org/pjbot/PDFs/45(1)/43.pdf)
- Mallo, M. (2019). *Breeding Space*. Mariamallo. <https://mariamallo.com/filter/2019/Breeding-Space>
- Maheshwari, R. (2005). The Largest and Oldest Living Organism. Resonance, 10(4), 4-9. <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/010/04/0004-0009>
- Muth, A., Miller, M., & Vishwanadha, T. (2008). Modular Synthesizer. Massachusetts Institute of Technology. http://web.mit.edu/6.111/www/f2008/projects/mrmiller_Project_Final_Report.pdf
- Mozas Fenoll, Edgar (2016). “TIC 4.1 Qué es la realidad aumentada”. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=jpd5E_Dh9PU
- Martinez-Zorrilla, D. (2008). Synthesizers: A Brief Introduction. https://www.researchgate.net/publication/317746236_Synthesizers_A_Brief_Introduction
- Pavel, C. C., & Blagoeva, D. T. (2018). Competitive landscape of the EU’s insulation materials industry for energy-efficient buildings (EUR 28816 EN). Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-96383-4. <https://dx.doi.org/10.2760/750646>
- Phillips, N., Gandia, A. & Adamatzky, A., (2023) *Electrical response of fungi to changing moisture content*. Fungal Biology and Biotechnology, 10, 8. <https://doi.org/10.1186/s40694-023-00155-0>
- Pulupa, W. (2019). *Breeding space* [Fotografía]. MariaMallo. <https://mariamallo.com/filter/2019/Breeding-Space>
- da Silva, M. C. S., Naozuka, J., da Luz, J. M. R., de Assunção, L. S., Oliveira, P. V., Vanetti, M. C. D., Bazzolli, D. M. S., & Kasuya, M. C. M. (2012). Enrichment of *Pleurotus ostreatus* mushrooms with selenium in coffee husks. Food Chemistry, 131(2), 558-563. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.023>

- Sánchez, C. (2010). *Cultivation of Pleurotus ostreatus and other edible mushrooms*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1321–1337
<https://doi.org/10.1007/s00253-009-2343-7>
- Trappe, J.M. (1996): What is a mycorrhiza? en Azcon, C. & Barrea J.M. (eds.): *Mycorrhiza in integrated systems—from genes to plant development* (pp, 3–6). Proceedings of the 4th European Symposium on Mycorrhizae, EC Report EUR 16728, Luxembourg. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b6908c19-435d-4de5-8478-6d4f071a8cbc>
- United Nations Environment Programme. (2009). *Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/32152>
- Vesaluoma, A. (2017). *Grown Structures* [Fotografía]. Mandin.
<https://www.mandin.earth/work#/grown-structures/>
- Villarreal, L. A. (2004). *Uso de lodo de papel y arena silica para la fabricación de ladrillos y tabla roca*. Universidad de las Américas Puebla.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/villarreal_j_la/
- Zeitoun, L. (2020). *Shell Mycelium: a Degradation Movement Manifesto in Architecture* [Fotografía]. Designboom,
<http://www.designboom.com/architecture/shell-mycelium-degradation-movement-manifesto-07-25-2017/>.

©2023 Diego Gianfranco Sotil Barrantes

Algunos derechos reservados

Este documento se distribuye bajo la licencia "Atribución 4.0 Internacional" de Creative Commons,

disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>