



TEMA: DISEÑO DINAMICO DE MATERIA BIO-INTEGRADA.
CASO: PRÓTESIS BIOMATERIAL REHABILITADORA CON PROGRAMA FLEXIBLE.
LUGAR: EDIFICACIONES EN RUINA, BARRIO INDEPENDENCIA.

POR: JORGE IGNACIO SOTO PAREJAS

**Tesina presentada a la Facultad de Arquitectura y Arte de la Universidad del Desarrollo para
optar al grado académico / título profesional de ARQUITECTO
con mención en Diseño generativo.**

PROFESOR GUÍA
Arquitecto, Catalina Millán.

Julio, 2019
SANTIAGO

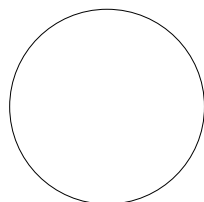
Resumen Evaluación Proyecto de Título

Nombre Proyecto: _____

Nombre Alumno: _____

Fecha: _____

Nota Final Examen:



Nota final con 1 décima (Aproximar)

Nombre y Firma
PRESIDENTE COMISIÓN

Nombre y Firma
COMISIÓN 1

Nombre y Firma
COMISIÓN 2

Nombre y Firma
COMISIÓN 3

Nombre y Firma
PROFESOR GUÍA

AGRADECIMIENTOS

Imaginar es quizás el aspecto más significativo de la agenda creativa de un arquitecto. Mucho trabajo construido y muchos artefactos de diseño ocupan nuestro entorno, pero pocos revuelven y barajan los dominios del conocimiento de una manera tan fundamental para la reordenación cultural. Sin imaginación, la innovación no puede ser alimentada. Primero quisiera agradecer en mi tesis, el profesor Alvaro Parraguez, quien sin conocerme me enseñó que lo que no está rodeado de incertidumbre no puede ser genuino y verdadero; No puedo mencionar a Alvaro, sin dejar atrás a Catalina Millan, quien me animó a tomar riesgos al definir mi búsqueda en cuanto cuestiono las ideas preconcebidas de una era. Gracias, Alvaro y Catalina, por guiarme en un viaje tan cargado de curiosidad, y gracias por su aportación desde su perspectiva tan perspicaz.

Fue difícil encontrar quien apoyara un proyecto tan desligado, para muchos, del área arquitectónica, pero mi proceso de crecimiento y evolución como diseñador jamás hubiese sido posible sin el apoyo de tutores como Alexandros Kallegias del Architectural Association Visiting School Athens, quien me dio conocimientos esenciales en el mundo de la programación y desarrollo de algoritmos; A Alexandros y a todo su equipo, Daniel Zaldivar, Dimitris Mairopoulos, Efstathios Damtsas, Brigilda Deda y Sevasti Pantou.

Al momento de necesitar de herramientas con las cuales no podría continuar esta tesis, es cuando aparecen académicos que siendo de otras instituciones, confiaron en mi investigación y me permitieron trabajar con ellos; Karina Olivos, y su tutor de maestría Michael G. Handford, del departamento de biología de la Universidad de Chile, a quienes les debo todas esas horas de trabajo en el laboratorio.

Quisiera extender también, un fuerte agradecimiento a quien fuese mi tutor de práctica profesional, Juan E. Subercaseaux, por mostrarme que la tecnología y la arquitectura están cada día más asociadas al mundo real que al virtual, y permitirme trabajar con él para aprender del desarrollo de estructuras con una base algorítmica y paramétrica.

Gracias también a Carolina Soto y Cesar Soto, que si bien son parte de mi familia, sus conocimientos en microbiología y regeneración sintética me ayudan todos los días para poder desarrollar un proyecto que los haga sentir orgullosos de todo lo que me aportan.

Por parte de dos instituciones que me entregaron las herramientas digitales que hoy en día tengo, muchas gracias a todos mis tutores del Tecnológico de Monterrey en Ciudad de México, en especial a Xavier Fonseca, con quien aprendí las bases de la investigación y confió en mí para instruirme en la escritura investigativa. También a Sejin Kim, Daniel Oh, de Korea University quienes fueron mis primeros profesores de estructuras complejas y me llevaron a derribar todos los límites del conocimiento y empujarme a diseñar lo que otros temen.

También me gustaría agradecer a Consuelo Guiñez, quien amiga desde la universidad, siempre está dispuesta a ayudarme en lo que pueda; su habilidad con los modelos físicos y completa entrega de su tiempo no puede más que hacerme sentir sumamente agradecido de tenerla.

Finalmente a mi familia, quienes han estado conmigo desde mis primeros inicios y me han apoyado en cada paso de mi carrera, desde que deje la escuela de odontología y encontré la verdadera pasión en el mundo de la arquitectura.

AGRADECIMIENTOS

ABSTRACT

Tabla de contenidos

Diseño dinámico de materia bio-integrada

- 1 **OBJETOS COMPUTABLES EN LA ERA DEL ALGORITMO**
 - 1.1 *Extraño Formalismo*
 - 1.1.1 *Lógica CAD*
 - 1.1.2 *Modelado algorítmico*
 - 1.2 *Morfología y Matemáticas*
 - 1.2.1 *Propiedades mecánicas*
 - 1.2.2 *Anisotropía*
 - 1.2.3 *Teselado*
 - 1.2.4 *Triangulación de Delaunay*
 - 1.2.5 *Agregación limitada por difusión*
 - 1.3 *Estructuras evolutivas*
 - 1.3.1 *Algoritmo de evolución*
 - 1.3.2 *Inteligencia de enjambre*

- 2 **SOSTENIBLE POR NATURALEZA**
 - 2.1 *Estrategia de diseño natural: Principios*
 - 2.1.1 *Campos y acercamientos relacionados*
 - 2.1.1.1 *Bio-technique*
 - 2.1.1.2 *Biomimetica*
 - 2.1.1.3 *Biogenesis*
 - 2.2 *Sistemas biológicos*
 - 2.3 *Estructura de la materia orgánica*

- 3 **DISEÑO DINAMICO DE MATERIA BIO-INTEGRADA**
 - 3.1 *Tema I Diseño dinámico de materia bio-integrada*
 - 3.2 *Lugar I Edificaciones en ruina*
 - 3.3 *Caso I Prótesis biomaterial rehabilitadora con programa flexible*
 - 3.4 *Definición de metodología: Desarrollo de diseño*
 - 3.4.1 *Caso de estudio 1: (β)acteria*
 - 3.4.2 *Caso de estudio 2: (φ)ungi*
 - 3.4.3 *Caso de estudio 3: (α)lgae*

- 4 **DESARROLLO PROYECTUAL**
 - 4.1 *Diseño bio-integrado.*

BIBLIOGRAFIA

ANTECEDENTES ACADEMICOS

ABSTRACT

La separación entre forma, estructura y material avalada por el modernismo, que hoy por hoy, bajo los imperativos y el reconocimiento cada vez mayor de los fallos y las responsabilidades ambientales; y cuya repercusión se ve directamente en la partición entre el modelado, el análisis y la fabricación; requiere que la cultura del diseño contemporáneo esté experimentando un cambio hacia un diseño consciente de los materiales.

La generación del diseño se presenta bajo una priorización del material sobre la forma, donde la forma es impulsada por un rendimiento máximo con un uso mínimo de recursos a través de una variación de propiedades materiales locales. Terminando así en una innovadora plataforma de investigación de diseño que combina arquitectura, biología e ingeniería.

Explorar nuevos modos de simulación y producción en arquitectura, así como los avances actuales en los campos de la biología sintética, la biotecnología, la ingeniería molecular y las ciencias de los materiales; y como estos temas conducen a un enfoque multidisciplinario.

Como resultado, una nueva materialidad, nuevas tecnologías híbridas y formas de vida que están redefiniendo no solo el diseño de edificios, si no que todo nuestro entorno construido; así como producir trabajo entre el estudio y el laboratorio, donde nuevos sistemas de construcción son desarrollados con la ayuda de computación avanzada; herramientas de modelado y simulación son implementadas en paralelo con testeo de material y crecimiento orgánico, proporcionando retroalimentación y datos para la fabricación de prototipos y componentes de construcción.

La potencial contribución de este trabajo, se presenta con tres casos de estudio particulares y específicos en barrio Independencia, que con un enfoque dinámico de la materia y el material, pretenden salvar estructuras deterioradas o ruinas, regenerar elementos perdidos, y recuperar la funcionalidad de dichas construcciones mediante una prótesis material que se desarrolla de forma tanto digital como local.

OBJETOS COMPUTABLES EN LA ERA DEL ALGORITMO

Una introducción

1.1 Extraño formalismo

A través de la larga trayectoria en la historia de la arquitectura, el diseño y producción de artefactos, se ha caracterizado por la creciente separación entre la generación de la forma y sus fundamentos naturales en condiciones materiales. Forma, estructura y material han sido profundamente separados gracias al pensamiento modernista, en el cual la modelación, análisis y la fabricación como sistema metodológico actúan como, muchas veces único, método de generación de la forma geométrica.

El crecimiento de la forma para la arquitectura, se ha desarrollado de tal manera que en el proceso de diseño, el punto en que la forma precede la materialización se ha transformado en normativo y virtualmente intuitivo. La implementación de herramientas digitales para el diseño en la práctica de la arquitectura, desde los 90's a motivado a una ola de proyectos formalistas; las formas geoméricamente complejas se transformaron en emblemas de creatividad en ambientes de diseño digital y soportan la idea de geometrizar en la generación de la forma.

1.1.1 Lógica CAD

La priorización de la forma ante el material fue llevado en el desarrollo y diseño de la lógica CAD¹.

Lo que fue diseñado en una primera etapa como un sustituto digital para el dibujo manual técnico, en el campo de la arquitectura es una gran herramienta para la investigación en campos computacionales como geometría computacional, gráficos por computadora y geometría diferencial discreta. Ayudando a la reformulación de la forma preconcebida, tales herramientas no llegan a incorporar propiedades materiales y restricciones de comportamiento. En efecto, la capacidad de las herramientas computacionales, para soportar los procesos de la generación de la forma; son motivadas por el objetivo no otro que la generación formal por si misma. Como resultado de esto, en el diseño mundial arquitectónico, ahora saturado con una excesiva expresión formal, lleva consigo un favoritismo de la forma por sobre el material, con las subsecuentes implicaciones en el ambiente construido y su entorno natural.

A pesar de que esta generación formal es estudiada y permite al diseñador actuar sobre el proceso de geometrización, hay herramientas mucho mas básicas, propias de los procesos naturales y sistemas matemático - biológicos que cultivando un proceso de diseño inspirado por la naturaleza, donde empleamos un lenguaje computacional alternativo que soporte la generación formal basada en la interacción entre el material y el entorno; que ayuda al diseñador - en este caso arquitecto - direccionar hacia el material y condiciones ambientales, es decir, permitir lograr formas de naturaleza material-ecológica.

1.1.2 Modelado algorítmico

¿Qué es un algoritmo? Un algoritmo es un proceso usado para devolver una solución a una pregunta - o para realizar una tarea en particular - a través de una lista finita de básicas y bien definidas instrucciones. Por ejemplo, una receta de cocina puede ser considerada algo parecido a un algoritmo, podemos establecer un proceso para cocinar unos huevos basado en una lista simple de instrucciones:

0. Romper los huevos;
1. Esparcir en un sartén;
2. Cocinar al fuego;
3. Agregar sal;
4. Dejar enfriar.

Ahora bien, este proceso no puede considerarse propiamente un algoritmo, ya que sus instrucciones están lejos de ser bien definidas y contienen ambigüedades: “Romper los huevos” ¿donde, cuantos? ¿cuanto tiempo debería estar el sartén al fuego, cuanta sal debo añadir? Estos ejemplos básicos apuntan algo sumamente relevante en las propiedades de los algoritmos: (Tedeschi, 2014)

- Un algoritmo son un conjunto de - propiamente definidas - instrucciones sin ambigüedades.
- Un algoritmo espera un establecido conjunto de “*input*”
- Un algoritmo genera un bien definido “*output*”

Si una receta ambigua conduce a unos huevos incomedible, en el mundo digital:

- Un algoritmo puede producir mensajes de error y advertencias con el editor específico usado.

¹ CAD Computer aided-design Diseño ayudado por computador

Un diseño algorítmico, como se definió en párrafos anteriores, requiere de un conjunto establecido de “entradas”, lo que conlleva a un abanico más amplio de posibilidades al momento de la búsqueda integral en el diseño arquitectónico. Búsqueda, simulación y procesos físicos, son parte de un termino llamado *Natural Computing* (De Castro, 2006), para abarcar tres enfoques en la relación entre la naturaleza y la computación llevado a la finalidad material-formal. En estos enfoques, los modelos de procesos naturales -basados en una estructura numérica - se utilizan como fuente de inspiración para el desarrollo de herramientas, técnicas y tecnologías para resolver problemas complejos en diversos ámbitos morfológicos, desde la ingeniería de estructuras hasta la biología de los materiales

1.2 Morfología y Matemáticas

Para este acercamiento - el planteado en la tesis - los algoritmos son desarrollados con inspiración natural, cuya función es ofrecer soluciones a problemas complejos que no podrían ser resueltos si no, usando procesos lineales, no lineales y dinámicos; tales bio-inspiradas, o biológicamente motivadas técnicas computacionales son diseñadas para imitar características particulares y mecanismos desde la biología y su expresión algorítmica representada por factores vectoriales y numéricos. (figura 1.1)

Creando patrones, formas, comportamientos y organismos que se asemejan a la vida tal como la conocemos, donde el computo con materiales naturales pertenece principalmente a un entendimiento físico-matemático de estos. Teniendo en cuenta la heterogeneidad del material orgánico, hay ciertas propiedades y ecuaciones que nos facilitan el proceso de diseño.

1.2.1 Propiedades mecánicas

Una hermosa manifestación del proceso evolutivo de millones de años, la habilidad de diagnosticar y reparar el daño localizado a sus estructuras; el estudio de estas soluciones a problemas en el mundo natural, son potencialmente relevantes para el diseño contemporáneo y la ingeniería.

Las maderas tienen una fuerza por unidad de peso comparable con la de los aceros más fuertes; el caparazón, el hueso y la asta tienen dureza en un orden de magnitud mayor que la cerámica de ingeniería; y los tallos maduros de bambú tienen proporciones de esbeltez que son notables incluso para los estándares de la ingeniería moderna. Todas estas propiedades naturales del material son las que, en conjunto con el entorno, generan la morfología de estas estructuras.

En *The Mechanical Properties of Nature Materials*, Gibson explora varias clases de materiales naturales en donde examina la relación entre su compuesto y estructura micro celular y su excepcional altos valores entorno a su rendimiento mecánico (Gibson, 1995).

1.2.2 Anisotropía

La Anisotropía se define como dependencia direccional. Se expresa como una diferencia dada en la propiedad física de un material (absorbanza, índice de refracción, etc) cuando es medida a lo largo de sus diferentes ejes (Bar-Cohen, 2006).

Usualmente, clasificamos materiales entorno a sus variadas propiedades, tanto estructurales como funcionales. Materiales estructurales son mayormente explotados por sus características mecánicas, cuando los materiales funcionales tienen otro propósito, en relación a sus propiedades eléctricas, térmicas y ópticas, o combinación entre ellas. En la naturaleza, mientras tanto, es un tanto difícil definir o distinguir entre materiales estructurales o funcionales, esto por que la mayoría de los materiales biológicos como la madera por ejemplo, puede ser ambos, estructural (soportando las ramas del árbol) y funcional (llevando agua de raíces hasta las hojas), con diferentes escalas para sus diferentes roles (Oxman, 2010).

1.2.3 Teselado

El teselado es un algoritmo simple de síntesis de textura; cuya transformación matemática resuelta es:

$$I'(x, y) = I(x \bmod w, y \bmod h) \quad \forall x \in \{1, 2, \dots, w\}, y \in \{1, 2, \dots, h\}$$

En donde la fórmula, I es el imagen original con ancho w y altura h , I' el imagen nuevo con ancho w' y altura h' , y \bmod la función módulo.

Para efectos prácticos y diseminados al diseño; el teselado puede ser usado para un análisis; en el cual racionalizamos complejas formas rompiéndola en partes mas pequeñas, pero de componentes continuos. Un teselado basado en la curvatura y un teselado basado en el material es un ejercicio simple asignado a las propiedades físicas que llevarían a elementos geométricos usando entidades como el estrés, la tensión, el flujo de temperatura, etc. (figura 1.2)

1.2.4 Triangulación de Delaunay

La triangulación de Delaunay se define como una red de triángulos conexa y convexa que cumple la condición de Delaunay. Esta condición dice que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo. (figura 1.3).

La triangulación da paso a un diagrama de Voronoi, en este sentido, los circuncentros de los triángulos de Delaunay coinciden con los vértices de las regiones del diagrama de Voronoi. Siendo entonces formaciones triviales una a partir de la otra. Por ultimo, queda entendido entonces que dos vértices del diagrama de Voronoi estarán conectados si sus triángulos de Delaunay correspondientes son vecinos entre sí. (figura 1.4)

1.2.5 Agregación limitada por difusión

Estudiando estas construcciones matemáticas que derivan en imágenes similares a la formación de la vida, se encuentra la agregación limitada por difusión, o DLA en inglés, que describe, entre otras cosas, la difusión y agregación de iones de zinc en una solución electrolítica sobre electrodos. "Difusión" porque las partículas que forman la estructura deambulan aleatoriamente antes de unirse ("agregando") a la estructura. "Limitado a la difusión" porque se considera que las partículas están en bajas concentraciones por lo que no entran en contacto entre sí y la estructura crece una partícula a la vez en lugar de por trozos de partículas. Este tipo de crecimiento DLA se ha utilizado para modelos de crecimiento de corales, esponjas o raíces y ramas, la formación de rayos o incluso el crecimiento de ciudades; es decir, estructuras que van creciendo. (figura 1.5)

1.3 Estructuras evolutivas

El acercamiento de esta tesis es el diseño de procesos sintéticos ayudado por la creación de patrones, formas, ambientes y organismos que se asemejen a la vida que conocemos; se han creado sistemas de vida artificial para procurar entender el ambiente de un sistema sintéticamente biológico (Ray, 1994) donde su mayor preocupación está orientada hacia modelos de vida artificial que se construyen en base a elementos del mundo natural.

Enmarcándonos en esta premisa, y para este caso de estudio en particular, se detallan dos sistemas de comprensión de patrones matemáticos, pero que tienen una fuerte base biológica.

1.3.1 Algoritmo de evolución

Las analogías tempranas entre el mecanismo de la selección natural y un proceso de aprendizaje (optimización) dan paso al desarrollo de los algoritmos de evolución, en los cuales la finalidad es simular los procesos de evolución naturales en un computador.

El problema que existe hoy en día radica en que la mímica de esta naturaleza (procesos de evolución representados en elementos naturales), son trasladadas (no traducidas) en los materiales de construcción puramente como formas, y en muchos casos, sin entender la lógica estructural o material inherente en estas manifestaciones. Es por esto, que un estudio previo donde una síntesis, tenga por detrás un fuerte análisis, nos permite un mejor desarrollo e implementación en nuestras estrategias de construcción.

Dentro de los algoritmos de evolución se encuentran varios escenarios, unos del mundo de la computación, otros del mundo natural, genético, neuronal, etc; según De Castro, estos deberían clasificarse en tres grandes grupos: Estrategias de evolución, Programación evolutiva y algoritmos genéticos (De Castro, 2006)

Para facilitar el entendimiento de estos algoritmos, un ejemplo practico es:

Etapa uno: Generar una población inicial de “individuos” aleatoriamente (primera generación)

Etapa dos: Evaluar la condición de cada “individuo” en esa población

Etapa tres: Repetir las siguientes pasos de regeneración hasta finalizar

0. Seleccionar los mejores individuos para la reproducción
1. Cría nuevos individuos a través de operaciones de cruce y mutación para dar crías.
2. Evalúa individualmente las condiciones de los nuevos “individuos”
3. Reemplaza a los “individuos” con menos condiciones con nuevos individuos

Lo mismo se aplica entonces, al crecimiento de las bacterias, la formación de tejidos, la adaptación de los arboles e incluso el crecimiento de las ciudades.

Entendiendo esto, y para el desarrollo de un estudio que haga hincapié en el desarrollo de estrategias útiles para la finalidad de este proyecto, es que un análisis de la colonia y su comportamiento es de extrema relevancia.

1.3.2 Inteligencia de enjambre

Como técnica relacionada a la estructura evolutiva, esta la inteligencia de enjambre, cuyo estudio radica en el comportamiento colectivo de sistemas descentralizados, autoorganizados, naturales o artificiales. Dentro de estos, los mas representativos y conocidos son el comportamiento de colonia de hormigas o de abejas, el comportamiento de patrones humanos, el movimiento de las bandadas de pájaros, entre otros. Una de las finalidades de este estudio y aplicación, es la optimización en base al comportamiento propio de los “individuos” (organismos que componen un sistema) , en la cual decisiones que podrían ser consideradas aleatorias, tienen un por que mas intrigante que el simple azar.

Böckenhauer en *Algorithmic aspects of bioinformatics*, después de presentar los conceptos básicos de la biología molecular y los algoritmos, en la primera parte explica los algoritmos de las cadenas y las alineaciones; la segunda detalla el campo del mapeo físico y la secuencia del ADN; y la tercera parte examina la aplicación de algoritmos al análisis de datos biológicos (Böckenhauer, 2007). Esto, si bien parece un poco alejado del mundo de la construcción, se debe entender que el trabajo de este proyecto explora las micro estructural ante que las macro, y la aplicación se fundamenta en la predicción de la estructura espacial de los elementos y el cálculo de posibles escenarios a partir de datos genotípicos.

La íntima relación entre el material, la estructura y la forma y los caminos por los cuales se logra dicha integración derivados de principios naturales enhebran el siguiente capitulo en el cual los mismos principios de la forma natural en función del rendimiento se revisan y se consideran como potenciales guías de diseño.

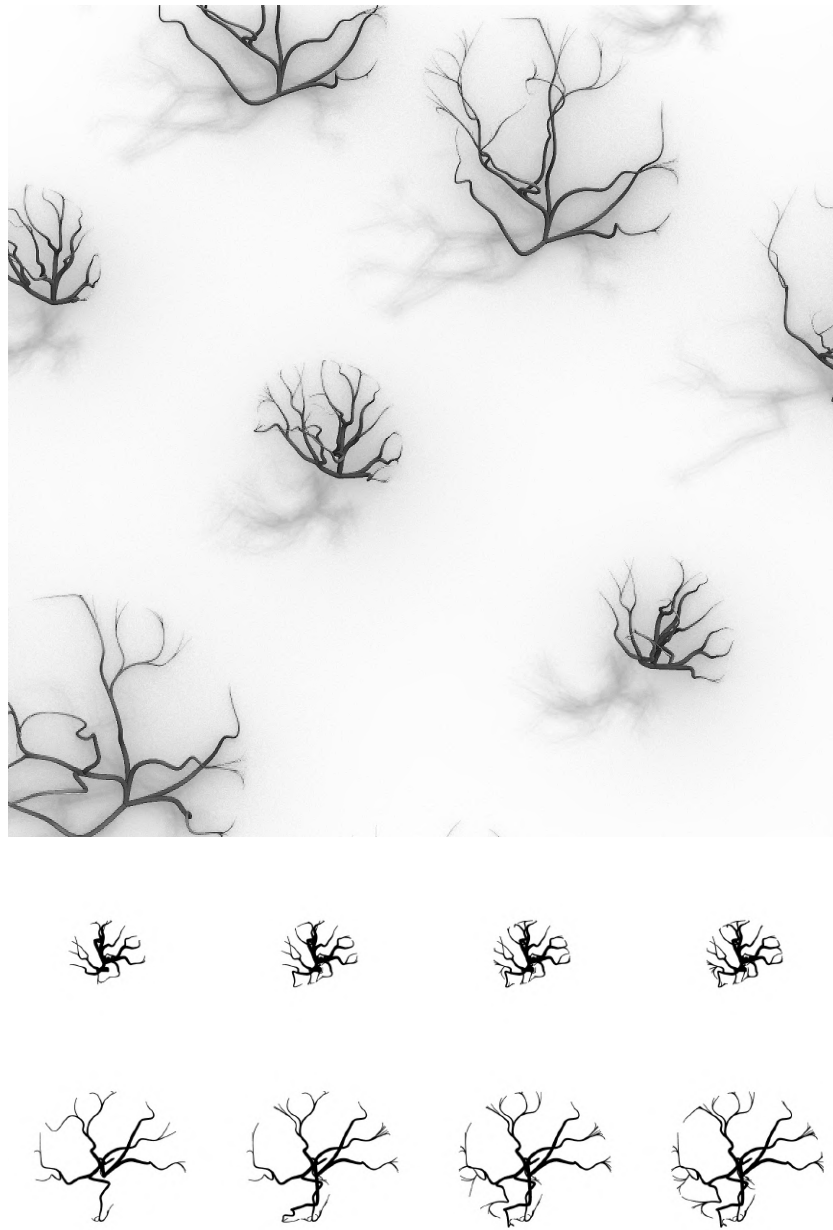


Figura 1.1: La imagen fue generada desde Rhinoceros con Grasshopper como *plug-in*. Usando algoritmos de crecimiento y desarrollo se define una función colonial minimizada en el diagrama. La morfología de la estructura incluye en su código factores mecánicos y físicos tanto así como representación de materia heterogénea.

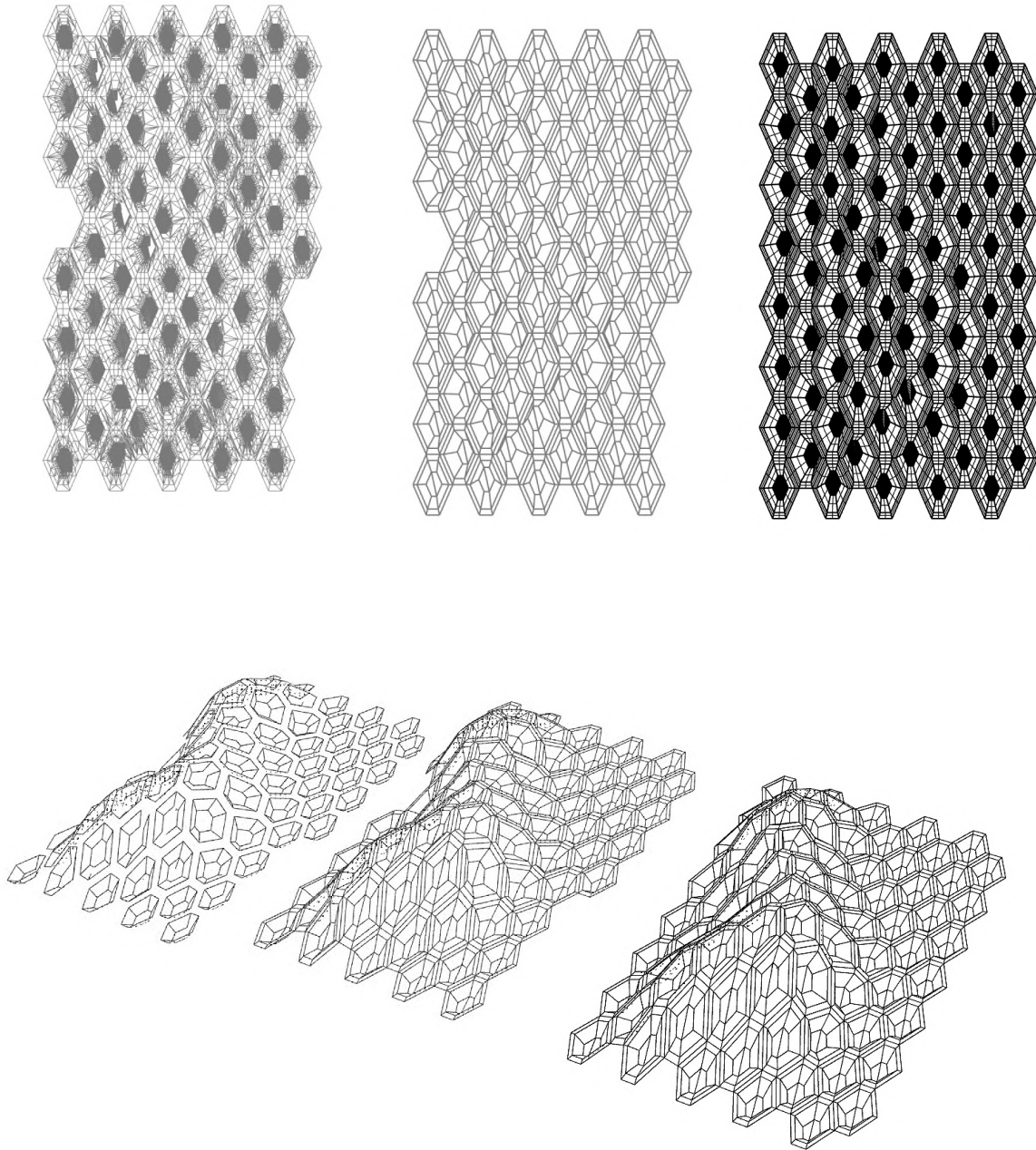


Figura 1.2: Ejercicio de teselado basado en curvatura, 2018. Una superficie doblemente curvada se tesela según su curvatura siguiendo las líneas de malla U y V. El tamaño de cada celda hexagonal definida por la malla corresponde a los grados de curvatura local. El análisis; eventualmente, evalúa la mecánica de la curvatura con relación a su propiedad osmótica como membrana.

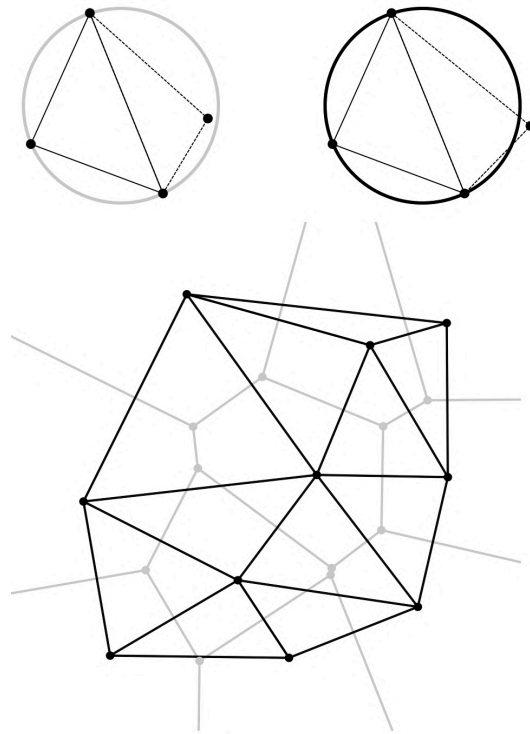


Figura 1.3: En la primera circunferencia, vértice completamente en el interior de la circunferencia circunscrita. No se cumple la condición de Delaunay; en la segunda circunferencia, vértice en el exterior de la circunferencia circunscrita. Se cumple la condición de Delaunay. Ahora bien, conectando los centros de las circunferencias circunscritas se produce el diagrama de Voronoi.

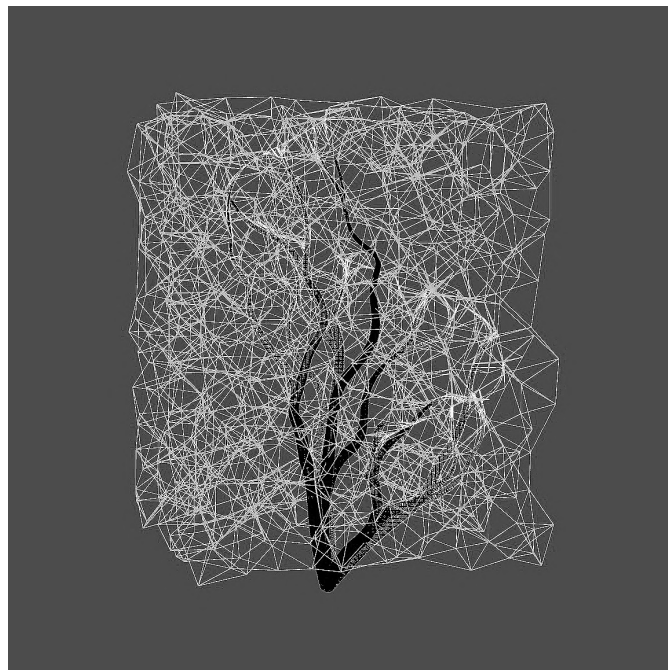


Figura 1.4: La imagen fue generada desde Rhinoceros con Grasshopper como *plug-in*. Usando vectores de triangulación Delaunay y conectores con puntos de diagrama Voronoi se logra ramificar una estructura similar a un coral.

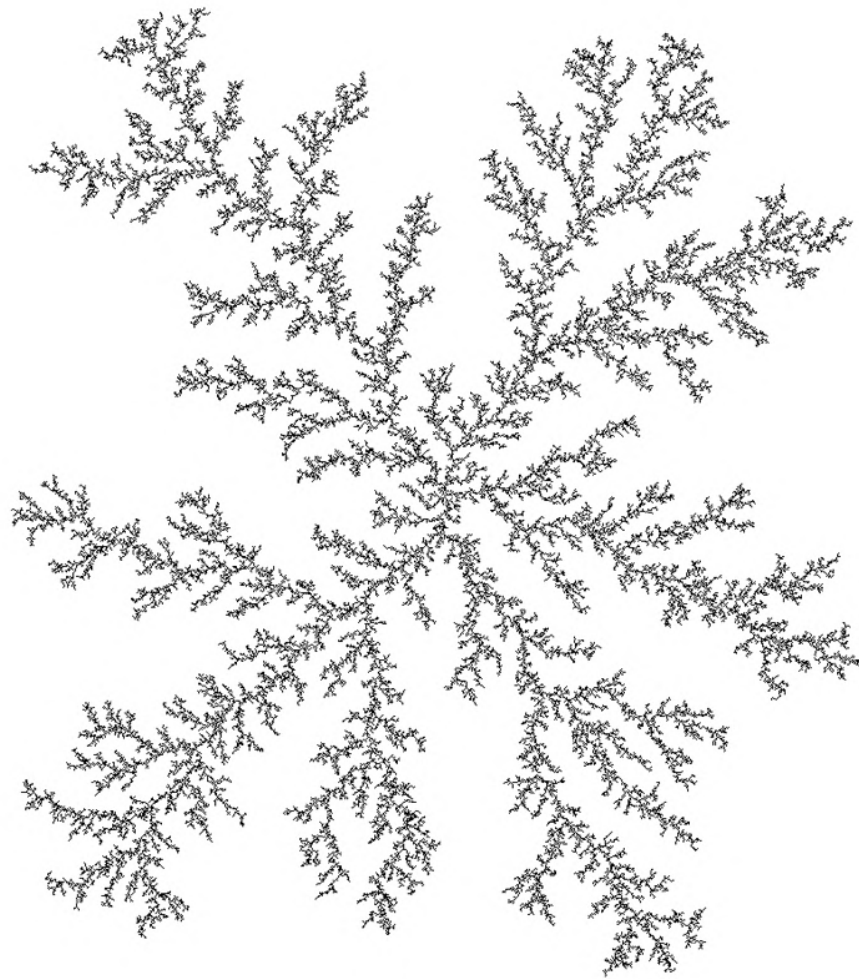


Figura 1.5: Crecimiento de estructura por DLA desarrollada con parámetros de crecimiento en Rhinoceros con *plug-in* Grasshopper. Viscosidad de 0.05 y expresión $(1-z^2/2) + c$

MARCO TEÓRICO SOSTENIBLE POR NATURALEZA

Como los sistemas naturales inspiran el diseño

2.1 Estrategia de diseño natural: Principios

Encontrar las soluciones con un máximo rendimiento usando un mínimo de recursos es para esta tesis, el componente mas fuerte de la naturaleza; en este capítulo se hablara sobre el estudio de los materiales naturales y de como podrían aplicarse a un diseño de ambiente sintético. Las aspiraciones por ahora no son crecer un edificio, pero si examinar las creaciones naturales para demostrar que siempre existe una fuerte relación entre materia y energía, entre forma y ambiente, y entre organismo y función (figura 2.1)

Hay muchas formas por las cuales considerar las estrategias del material natural. Para el diseñador, hay un interés particular en tres rasgos que serán definidos en las siguiente sección

2.1.1 Campos y acercamientos relacionados

En el mundo (material) natural es difícil diferenciar entre lo que es estructura y piel, considerando que muchas formas naturales asimilan entre varias funciones y sus relativos materiales y propiedades. Un ejemplo muy fácil de entender es mirar a tu propia piel, el órgano mas grande del cuerpo humano, que actúa tanto como barrera y como filtro; de hecho, la piel tiene unas mas que significantes propiedades estructurales que le permiten cumplir varias funciones (figura 2.2).

Un determinado rasgo de los diseños naturales es la capacidad en el mundo biológico de generar fibras estructurales complejas de compuestos orgánicos, inorgánicos y multifuncionales como conchas, perlas, corales, dientes, madera, seda, cuernos, colágeno, y fibras musculares. Combinados con matrices extra celulares, estos materiales estructurales formas microestructuras diseñadas para adaptarse a restricciones externas preestablecidas, que generalmente incluyen combinaciones de criterios de rendimiento estructural, ambiental y corporal. Una de las cualidades únicas del mundo natural es la de diagnosticar y reparar daño localizado en sus estructuras, lo que es claramente, un atributo deseado por la mayoría de los objetos diseñados por el hombre.

Sigue siendo nuestra misión aquí entender la relación entre la generación, análisis y la fabricación, para eventualmente especular sobre como estos acercamientos pueden ser implementados en el diseño.

2.1.1.1 Bio-technique

Partiendo con Raoul Francé², quien fundara la ciencia de la bionica con la motivación y el reclamo sobre que los humanos deberían aprender como copiar las invenciones naturales para sobrevivir en la tierra, es que inicia la ciencia de la bio-technique.

Ver la naturaleza como un modelo de construcción, y buscar por prototipos en la naturaleza en el orden de determinar un diseño de mejoramiento funcional; se propone que todas las tecnologías humanas tienen una base en las tecnologías naturales. Es entonces que el estudio de estos parámetros naturales sirvieron para generar propios principios, técnicas y procesos que podrían aplicarse al diseño del hombre. Moholy-Nagy³ en el film *In the cradle of the deep* 1936, documenta el crecimiento de langostas y la dificultosa tarea del pescador para cazarlas. En este documental, el argumenta que “ el caparazón de este animal prehistórico esta construido de forma tal que nosotros podemos inmediatamente adaptarla a una fina bakelita⁴ o otro plástico moldeado. El punto de este documental era mostrar a los diseñadores que observar la vida de los animales puede instruir a los diseñadores como la forma sigue la función.

2.1.1.2 Biomimetica

La biomimetica puede definirse como una metodología interdisciplinaria en la que convergen distintos conocimientos orientados a transferir, desde la naturaleza, lecciones formales, lógicas productivas o fenómenos físicos para disminuir el impacto de la producción humana en el medioambiental natural. Se describe una metodología gruesa para desarrollar una transferencia biomimetica, constituida por cuatro fases, desde la observación de un fenómeno natural hasta la construcción de un producto de diseño (objetos, edificios, etc)

² Botanico, microbiologo austro-hungaro del 1874/1943

³ Fotógrafo y pintor húngaro quien desarrollo estudiantes en la Bauhaus

⁴ De los primeros plásticos formado a partir de moléculas de fenol y formaldehído

El mundo natural es tratado como una biblioteca de ideas. Vincent, uno de los pocos expertos reconocidos en el campo, lo define simplemente como "la abstracción del buen diseño de la naturaleza". Aunque esto parece obvio, de hecho, involucra procesos intelectuales y relacionados con la investigación mucho más complejos (Vincent, J., 1990).

2.1.1.2 Biogenesis

Hacia un diseño natural, en esta tesis consideramos nuevos enfoques para la generación de formas inspirados en la naturaleza desde una perspectiva de los materiales. Dentro de los estudios realizados posteriormente a este trabajo, en los cuales diseñadores e ingenieros han desarrollado aún más la fascinación por la biología y la naturaleza viva en el contexto de la búsqueda de formas. Entre ellos se encontraban Frei Otto y su grupo en el Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart durante la década de 1970 (Otto, F., 1995). En este capítulo revisamos las relaciones estructural-mecánicas en varios niveles jerárquicos de organización, destacando siempre que sean posibles vías significativas en la generación y estructuración de formas sintéticas.

Los materiales biológicos son, de hecho, muy versátiles: pueden cambiar sus propiedades materiales para adaptarse a la edad o la función de su condición fisiológica inmediata. Por lo tanto, el comportamiento mecánico de cualquier material biológico individual se define por múltiples propiedades, y no todas pueden maximizarse. Cada material se utiliza de acuerdo con sus cualidades particulares y los tipos y magnitudes de las fuerzas mecánicas que debe soportar.

2.2 Sistemas biológicos

Los materiales biológicos exhiben un exquisito control estructural jerárquico diseñado para condiciones de carga específicas, incluido el uso recurrente de constituyentes fundamentales, cristalografía controlada, anisotropías y / o isotropía, orientación de elementos estructurales, gradientes, interfaces duraderas entrelazadas mecánicamente entre materiales diferentes (obediente/dúctil y rígido/duro), formas / geometrías complejas, porosidad, etc (Ortiz, C., 2008).

Un sistema biológico es conocido como un conjunto sobre todo, de órganos y estructuras similares que en conjunto trabajan para realizar una función (fisiológica) de un ente vivo. Se deja en claro que los sistemas son un nivel de organización biológico, entre el nivel de órgano y el de aparato, que está constituido por la concurrencia funcional de varios sistemas. Si traducimos esto a pura arquitectura, estamos hablando de elementos estructurales que ayudan a la conformación del total edificado. Como ejemplo está una planta, cuyos órganos/estructuras con a) raíz, b) tallos, c) hojas; los cuales cumplen diferentes funciones desde la nutrición, la irrigación y la fotosíntesis. En una edificación existen los cimientos, los circuitos de agua/gas, elementos estructurales como vigas y pilares, elementos de apertura como puertas y ventanas, sistemas de escaleras, y así sumando. La diferencia entre un sistema biológico y uno arquitectónico no parece tan compleja al momento de igualar sus confortantes estructurales o funcionales.

2.2 Estructura de la materia orgánica

Como en la Naturaleza, cuando la creación comienza con la materia, la morfogénesis o la generación de forma, es un proceso engendrado por las fuerzas físicas del entorno. De manera similar, en el marco de esta tesis, el material no se considera como un atributo subordinado de la forma, sino más bien como su progenitor. Tal es la historia de la forma contada desde el punto de vista de la materia, y comienza, como era de esperar, con la crisis de la forma.

Parafraseando a Darwin: hay más en el origen de la forma que la preservación de las expresiones favoritas en la lucha por el estilo. A modo de práctica, somos educados para aplicar la materia de manera oportunista a cualquier forma dada. Esta metodología de diseño inherente asume implícitamente el predominio de la forma sobre la materia en los procesos de generación de formas. Sin embargo, cuando el orden se invierte, encontramos que comenzar con la materia no es un proceso tan sencillo como podríamos anticipar. Forma, parece, (aún) las reglas sobre la materia.

Aun no podemos crear un diseño completo, como lo hace la naturaleza, pero lo ensamblamos. El ensamblaje de los materiales se ha usado desde el siglo XVIII (con la revolución industrial como lógica de componentes para la producción en masa), lo que hoy por hoy sigue siendo un problema, pues se mantienen las consecuencias de la estandarización, homogeneización, modulación, redundancia y repetibilidad. Los materiales por sí mismos, requieren una aplicación de tecnologías innovadoras, herramientas y técnicas de ensamblaje; como también mano de obra quien las aplique (aunque hoy por hoy la robótica es parte de nuestro proceso desde el diseño hasta la producción). Los recientes avances en la ciencia de los materiales compuestos le ha dado la habilidad al diseñador para influenciar y controlar el desarrollo del material. Esta es, sin duda la era de los materiales.

La función de estos materiales naturales explota sus excepcionales propiedades estructurales: las maderas y las palmas resisten la flexión y el pandeo, la seda almacena energía de tensión elástica, los músculos almacenan y liberan energía de tensión elástica durante la locomoción, y así sucesivamente.

Gibson revisa cuatro clases de materiales naturales: maderas, palmeras y bambú, tallos y plumas. Los resultados de los análisis sugieren nuevas microestructuras para materiales de ingeniería mecánicamente eficientes para la rigidez a la flexión y la resistencia de pandeo elástica logradas al optimizar la organización microestructural para cumplir con los requisitos de rendimiento de modo que la estructura celular pueda mejorar el rendimiento para la carga paralela al grano (Gibson, L., 2005) (figura 2.3).

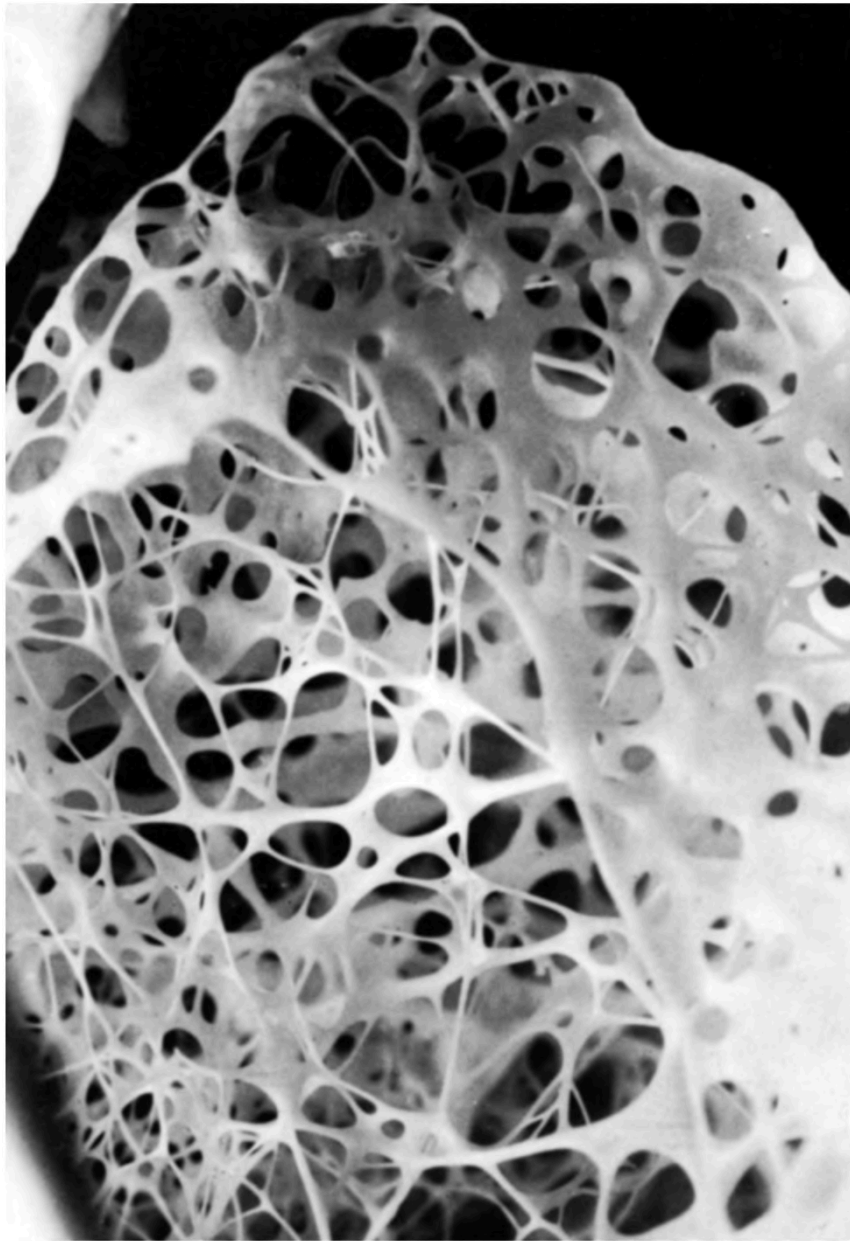


Figura 2.1: Imagen de cerca del hueso esponjoso del fémur humano (aunque la mayoría del hueso femoral es típicamente más denso). @ Klaus Bach, IL-archive. Nosebone of a saddle stork preparation: Paul Böhler, University of Hohenheim. Source: Otto F. et al. (1995).

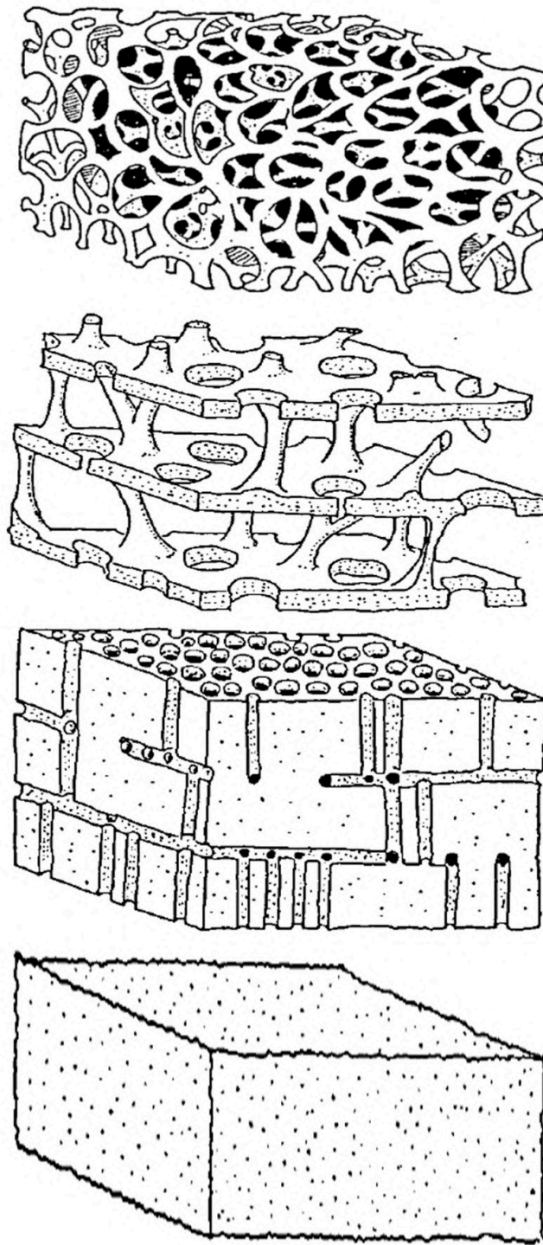


Figura 2.2: Esquemas de variadas microestructuras dentro del cuerpo humano. Principios de organización y diferenciación de funciones desde arriba hacia abajo; laberíntica, microíerforada, no perforado @ Smith 1980; Carnaval, Bonasoro et al. (1991)

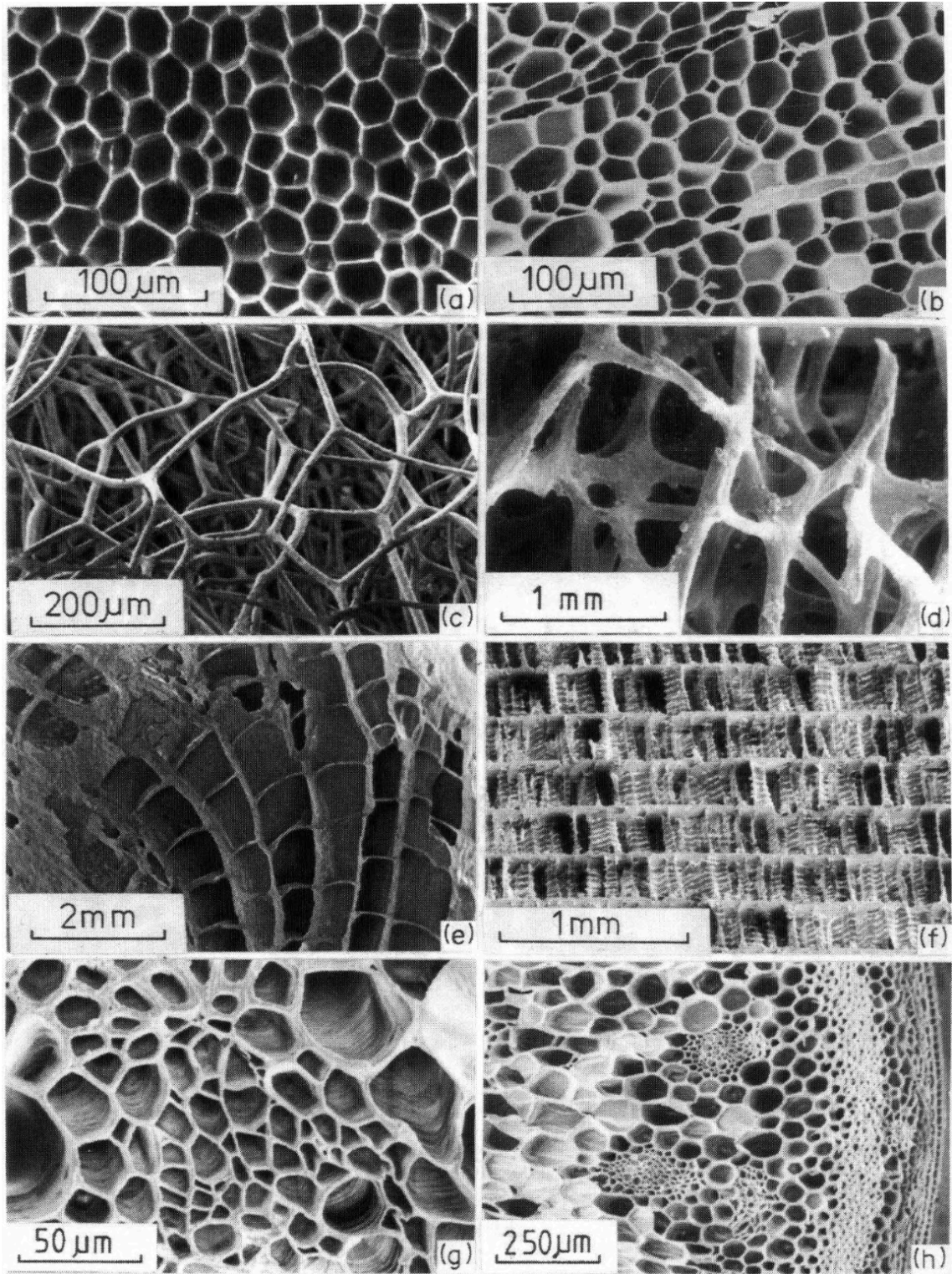


Figura 2.3: Materiales celulares naturales incluidos (desde la izquierda a la derecha, desde arriba hacia abajo): (a) corcho (b) madera de balsa (c) esponja (d) hueso trabecular (e) coral (f) hueso de calamar (g) hoja de iris (h) tallo de planta @ Gibson and Ashby (1997).

DISEÑO DINAMICO DE MATERIA BIO-INTEGRADA

“Nada está construido sobre piedra; todo está construido sobre arena, pero debemos construir como si la arena fuera piedra.”

— Jorge Luis Borges

3.1 Tema

Diseño dinámico de materia bio-integrada

En "Sobre el crecimiento y la forma", D'Arcy Thompson postula los principios generales según los cuales la forma de un organismo está informada por un fenómeno complejo denominado "crecimiento". Este proceso incluye las acciones directas de ciertas fuerzas moleculares y otros procesos complejos más lentos, resultantes indirectamente de las fuerzas químicas, osmóticas y otras, mediante las cuales el material se introduce en el organismo y se transfiere de una parte a otra (Thompson, D., 1952).

Si pudiéramos especular que el crecimiento es para la naturaleza lo que la fabricación es para el diseño, entonces la noción de conformación y fabricación incluye más que la manifestación directa de la forma. En la naturaleza, la forma es informada por la interacción de materia y energía; y es debido a la distribución de la materia y sus propiedades que tal interacción es posible en el ámbito físico (figura 3.1).

El crecimiento del material orgánico, o biológico, pero desde un punto de vista e interés arquitectónico, se sustenta en variables antes descritas

Es así que, en capítulos anteriores, en donde se habla de las lecturas matemáticas de la forma, los componentes algorítmicos de todo proceso, las ecuaciones en torno a una función; y sobre el mundo natural, la capacidad de regenerar tejidos, la heterogeneidad material, lo sustentable y viable de lo orgánico, etc. Todo esto estipulado anteriormente, define el marco teórico del proyecto.

Motivado por la idea de que la forma arquitectónica puede generarse por la interacción entre materia y energía, es bastante sencillo imaginar cómo los conceptos desarrollados en esta tesis pueden aplicarse potencialmente a objetos dinámicos que responden y se adaptan a su entorno en tiempo real. Sin embargo, dado que el tema de esta investigación se centró en los procesos de generación de formularios que se basan en las propiedades y el comportamiento del material antes de la materialización, se ha optado por centrar el desarrollo del proyecto en la generación de materiales compuestos y explorar estas formas emergentes como plantillas de su entorno. Otra motivación ha sido el deseo de examinar los materiales naturales, específicamente los sólidos celulares y la forma en que sus organizaciones micro y mesoestructurales han sido informadas por la carga y otras restricciones. Esto ha permitido sortear dominios de estructuras cinéticas activadas por dispositivos complementarios y centrarse en procesos, estructuras y materiales naturales.

Una de las inquietudes primordiales de este proyecto, es la creación de materiales bio-integrados; es decir, que elementos biológicos (ya sean organismos o llamados anteriormente individuos) interactúen con elementos inertes para así responder de mejor forma al ambiente construido. La nueva biogenesis material entonces, engloba una serie de análisis matemáticos y experimentales biotecnológicos que eventualmente darían forma al futuro de nuestras ciudades en pos de un equilibrio material.

Dentro de todas las capacidades anteriormente descritas de los materiales biológicos, dos de ellas son más que aplicables a la arquitectura contemporánea, siempre en búsqueda de un uso óptimo de los recursos. La primera, es la capacidad de crecimiento que estos materiales poseen y que podría aportar significativas ganancias a la forma en que diseñamos y construimos. Siguiendo con la segunda habilidad de estos (bio materiales) está la regeneración de tejidos y membranas, cuya integración y adaptación a nuestras edificaciones aportaría una solución más que eficiente al desarrollo de una ciudad más sustentable y ecológica.

Por último, al seleccionar el material óptimo para una función dada, el diseñador debe sopesar categorías tales como estado, estructura, técnicas de procesamiento, condiciones ambientales y aplicaciones (Addington, D., 2005).

3.2 Lugar

Edificaciones en ruina

Barrio Independencia

Las cualidades materiales (crecimiento y regeneración entre otras) explicadas en párrafos y capítulos anteriores, en conjunto con la necesidad de recuperar y salvaguardar el patrimonio, de ser conscientes con las generaciones futuras y de establecer el proyecto a un contexto real, es que se definen las estructuras en deterioro o ruina como escenario a trabajar mas que un lugar en específico.

Existen varias formas de clasificar los materiales. Las clasificaciones de ciencia e ingeniería de materiales típicamente tratan con la composición y propiedades del material. En dichas clasificaciones se reflejan los conocimientos que proporcionan una forma de describir propiedades o cualidades específicas, como la dureza, la conductividad eléctrica, etc., que caracterizan diferentes materiales. En este caso, una de las clasificaciones que diferencian a los biomateriales de los materiales industriales comunes, es la regeneración y el crecimiento; pero de la misma forma, la capacidad de adaptabilidad y de mutación con el medio.

A partir de la observación de la ruina, desde pinturas como las de Hubert Robert (figura 3.2) en las cuales se presenta una instancia de habitar la ruina, la edificación se muestra viva y cumpliendo una función, un programa. Dentro de la ciudad contemporánea la ruina pasa a ser una edificación quemada, abandonada, deteriorada, rota o simplemente en el limbo del patrimonio, donde nadie sabe que hacer con ella. En muchos casos, estas edificaciones dejan de tener un programa o poseer actividad por que les hace falta parte de su estructura o fachada, techos o muros divisores, etc.

Hay diferentes clasificaciones o escalas de daño; en la cual podemos definir dos grandes ramas:

- A) Daño estructural
- B) Daño superficial

Dentro de estas dos, se engloban una serie de tipologías; pero antes, es necesario definir y delimitar un area de trabajo.

El estudio material que se presenta, tiene limitaciones escalares y espaciales, que se explicarán mas adelante dentro de las definiciones de metodología de estrategias proyectuales, pero por ahora se establece que reparar o regenerar un daño estructural no entra dentro de las posibilidades de este estudio, es por esto, que el rango de estudio del escenario/lugar, se adapta solamente a las de segunda clase, edificaciones con daño superficial (figura 3.3).

Desde iglesias, edificios comerciales, mercados, casas unifamiliares, villas, torres, galpones, etc; de concreto, de acero, de ladrillo, de madera, y otros materiales. Las posibles combinaciones del uso que tenían y de la materialidad con la cual fueron construidas son muy grandes; esta tesis trata de que la relevancia de estas características no sea tan importante al momento de regenerar. Por otro lado, la regeneración está pesquisada de dos puntos, el primero es claramente material, con la idea de recuperar a modo de prótesis la cualidad espacial de la edificación, y luego, regenerar las actividades de estos lugares (figura 3.4).

Para esta etapa se revisan tres sectores en los cuales la cantidad de edificaciones en deterioro es contundente. Santiago centro, barrio Franklin y barrio Independencia. Eventualmente, se plantea que el proyecto prótesis, puede comenzar en cualquiera de estos con la promesa que luego los otros dos serán las siguientes etapas del proceso.

3.3 Caso

Prótesis biomaterial rehabilitadora con programa flexible

Este caso se desprende del marco teórico, del tema y del lugar, dando así como resultado la prótesis biomaterial, con el fin de poder recuperar y regenerar tanto parte de la edificación como darle un nuevo uso. De esta manera, recuperar patrimonio, disminuir huella de carbono, reutilizar espacios, promover los usos flexibles, restauración del habitat construido, etc.

Una vez diseñada y aplicada a la estructura (la prótesis), el programa pasa a ser flexible y fluido, priorizando actividades de indole recreativas y de dispersion no así del uso residencial; por otro lado, la prótesis biomaterial promueve una nueva especialidad temporal y dinámica, ya que aplica a patrones de crecimiento natural y que dependerán del medio en que se inserten.

La creación de esta prótesis material, depende de factores específicos para cada edificación, pero los métodos de diseño se basan en formulaciones matemáticas antes descritas y en ejercicios de cultivos biológicos cuyas propiedades también han sido habladas en capitulo anteriores. Para esto, el proyecto en general tiene dos aristas, una digital, que es la que se encarga de la representación y del análisis, y otra análoga, que es la del modelado físico y crecimiento del material. Como ejemplo de los primeros, una definición de tensores en lienzo.

Los tensores en lienzo, una representación física de las propiedades del biomaterial. Luego de que se delimitan los espacios a restaurar, el material (en una plataforma digital) se crea, edita y optimiza utilizando métodos constructivos de alto nivel que se basan en operaciones de conjuntos *booleanos* parametrizados y técnicas basadas en características específicas (Biswas, A., 2004). Las aplicaciones posteriores a menudo requieren la optimización de medidas de desempeño de valor integral sobre modelos que incluyen las propiedades de volumen, masa y energía, así como campos distribuidos más generales (estrés, temperatura, etc.). Dichas propiedades, junto con datos geométricos adicionales, pueden incorporarse potencialmente en el proceso de generación de la forma para apoyar la descripción de la forma como sustancia material utilizando índices de tensor. (figura 3.5)

Con la introducción de materiales compuestos, los diseñadores pueden finalmente priorizar el diseño de materiales sobre la selección de materiales. En la siguiente sección revisamos los precedentes del mundo biológico y los diseños de tecnología computacional que demuestran la capacidad del diseñador para controlar las propiedades de los materiales y relacionarlos con alguna función global. De esta manera, se puede promover un nuevo enfoque de diseño en el que las propiedades del material puedan variar continuamente para que se correspondan con los requisitos estructurales o ambientales externos.

La elección de los programas que trabajan en conjunto a la prótesis se ven sumamente ligados al contexto socio-cultural y urbano de las edificaciones a regenerar. En el caso de la ruta en barrio Independencia, la cual cuenta con una serie de intervenciones, pero son solo tres (3) las cuales se presentan en este proyecto; la programática va de lo siguiente.

Prótesis 01

Feria y Mercado

En el radio cercano (10-15 cuadras) de la primera prótesis, se encuentran 7 ferias libres (de las 10 que hay legalmente y establecidas en la comuna de Independencia); Las ferias Enrique Soro, Maruri, El Pino, Cronista Góngora, Las cañas, Colon, y Guanaco. La densidad de puestos, comerciantes, y afluentes es diferente, pero lo relevante es que son en diferentes días, habilitando solo dos (2) de los siete (7) días que tiene la semana. Claramente en las situaciones mas favorables, los feriantes logran vender todos sus productos, de carácter orgánico, es decir, frutas, verduras y flores; pero en la mayoría de las ocasiones estos quedan con existencias. Se abre entonces en la prótesis 01 un lugar para todos estos sobrantes y que tanto feriantes como público, puedan gozar del beneficio.

Sala de danza

Con respecto a la cultura en el barrio independencia, se registran diferentes clubes y/o agrupaciones, en este proyecto se vincularon las organizaciones vecinales y la sección otros (con un 14% y 27% respectivamente de representación) para saber mas de sus actividades. Sorprendentemente, la mayoría de las actividades que realizan las organizaciones vecinales van de la mano con clases de zumba, salsa y otros para mantener activos a los vecinos; pero a la vez, hay clases de danza contemporánea, salsa, reggae, danza del vientre y folklore que se organizan como medio de dispersion para jóvenes (parte de un programa ministerial de cuidado juvenil) Una de las sedes de estos ejercicios era exactamente la edificación que estaba al costado de la prótesis 01, pero hoy ya es parte de un proyecto inmobiliario PAZ y los programas de baile y danza se han ido re-acomodando a lo largo de la comuna.

Prótesis 02

Cafeteria y workshop

Ubicada frente a la nueva atracción comercial del barrio Independencia (Mall Barrio Independencia), hoy por hoy el movimiento de peatones y trabajadores es aún mayor, sumado a esto, aparece en los registros del INE un 57% de micro empresarios en la comuna. Muchos de estos no tienen un lugar para hacer reuniones o juntas comerciales y discutir con sus posibles clientes. En un radio de 8 cuadras a la redonda, solo se encontró un (1) café local (fuera del Mall Barrio Independencia) y el cual atiende solo por las tardes.

Sala de exposición

Dentro de Independencia, barrio que ha sido relegado al comercio de telas e industrias textiles, el arte solo sabe expresarse en las calles, en los muros y en centros culturales dependientes del gobierno. Galeria Casa Amalia es el único centro independiente que reivindica el arte en barrio independencia, comentando que la comuna necesita urgente mayor visibilidad y espacios de exposición. Buscando rescatar espacios del barrio y también entregar visibilidad a diferentes artistas emergentes de la comuna mediante exposiciones y conversaciones es que se plantea una sala de exposición justo en frente de hoy por hoy, una de las areas mas concurridas de la comuna.

Prótesis 03

La prótesis 03 es diferente a las anteriores, los vecinos aún recordaban a quienes vivían ahí hace unos años antes del incendio que derrumbo parte del ala norte de la edificación. Don Roberto Diaz y su esposa Clara (quien administraba la pension) eran conocidos dentro de las cuadras circundantes. Don Roberto es parte de la asociación chilena de paleontología y docente de filogenia y clasificación biológica de la facultad de ciencias de la Universidad de Chile.

Botanica popular y Taller de semillas y plantas

Por otro lado, doña Clara tenía una tienda de plantas, que sacaba todos los sábados y domingos al frente de la tienda para ser exhibidas. El termino “popular” surge de los programas gubernamentales de farmacias, librerías y otro tipo de tiendas que fomentan el comercio económico de existentes para los miembros de una comunidad. A forma de mantener la historia de la casa, de la cuadra, del barrio, se plantea un programa relacionado con actividades pasadas; y que integren a toda la comunidad.

Plaza Paleontológica

Si bien don Roberto no tenía una conexión directa con algún tipo de taller o simposio dentro de la comunidad, bien sabido era que dejaba entrar a su pieza de estudio los sábados y domingos a padres con niños interesados en los esqueletos o modelos paleontológicos. Realizar una plaza interna, con esta temática es una oda a la comunidad e identidad de barrio.

Librería popular y Biblioteca

La biblioteca publica Pablo Neruda de Independencia ubicada a tres cuadras es la única librería pública que tiene la comuna, todas las otras son privadas y dependientes de universidades. Fomentar la lectura en niños, especialmente dentro del rango de la educación básica (9.194 estudiantes) genera un cambio en su futuro. Por otro lado, el mismo sentido de comercio económico se plantea para esta edificación.

Nota: El proyecto prótesis tiene una vida útil variable, dependiendo de cada edificación, cada ruta, y cada barrio. El biomaterial, al ser un compuesto orgánico es sustentable y biodegradable, y puede ser absorbido por la tierra sin problemas. En cambio, los componentes propios de cada programa son transportados a una siguiente ruta de prótesis, una vez terminado el tiempo dispuesto; generando así un programa itinerante cíclico y responsable con el presente y futuro de las comunidades.

3.4 Definición de metodología: Desarrollo de diseño de estrategias

Para definir las estrategias proyectuales de esta tesis, es necesario dividir la mitad del trabajo entre el laboratorio y el estudio; pues la finalidad es la aplicación del material en un sistema real *in-situ*, desde la arquitectura y la biotecnología se presentan tres casos de estudio con los cuales se pretende llegar a un material para poder diseñar la prótesis final.

3.4.1 Caso de estudio 1: (β)acteria

El control de los sistemas vivos como parte de las interfaces de diseño es de interés tanto para las comunidades científicas como para las comunidades de diseño debido a la capacidad de los organismos vivos para detectar y responder a sus entornos. Pueden, por ejemplo, detectar y descomponer agentes ambientales dañinos, o crear productos beneficiosos cuando los niveles ambientales caen por debajo de un cierto umbral. Sin embargo, también es importante que estos sistemas sean reversibles, de modo que los componentes biológicos solo estén activos cuando su funcionalidad sea necesaria, y el sistema puede permanecer inactivo de otra manera.

Este esfuerzo pone de manifiesto la compleja relación entre los materiales dinámicos y los sistemas vivos. Mientras que otros métodos de intervención celular a menudo dependen de la luz, los productos químicos o la temperatura, aquí exploramos las propiedades del material del sustrato como insumos para los organismos. Esta biblioteca puede permitir una investigación más dirigida de procesos como la durotaxis de células colectivas, la mecanotaxis general y la detección activa. Esto marca una incursión inicial en el establecimiento de métodos de diseño candidatos para aplicaciones receptivas a las edificaciones. (figura 3.6, 3.7)

3.4.2 Caso de estudio 2: (ϕ)ungi

¿Cómo podemos diseñar relaciones entre las formas de vida más primitivas y más sofisticadas?
¿Podemos diseñar dispositivos portátiles incrustados con microorganismos sintéticos que puedan mejorar y aumentar la funcionalidad biológica? ¿Podemos diseñar elementos portátiles que generen energía consumible cuando se exponen al sol?

Desde la ciencia de materiales que desarrolla una nueva clase de biocompuestos de composición doméstica basados en micelio, un organismo vivo. Los materiales de hongos son alternativas de alto rendimiento y responsables con el medio ambiente al respecto del tradicional material industrial, el aislamiento y otros materiales sintéticos. (figura 3.8,3.9,310)

3.4.2 Caso de estudio 2: (α)lgae

A diferencia de los otros dos elementos, en este caso se presenta un hidro gel capaz de consumir y redistribuir el agua del ambiente para usarla en su proceso de fotosíntesis. Se presenta una mayor facilidad de medición para condiciones naturales (temperatura, humedad, radiación, etc) y se espera poder reducir el hidro gel a un compuesto mineralizado, cuyas aplicaciones incluyen la fabricación de productos totalmente reciclables o componentes arquitectónicos temporales, como estructuras de carpa con propiedades mecánicas y ópticas graduadas. (figura 3.11)



Figura 3.1: Modelo físico de prototipo de teselado. Hidro plástico de Quitosano y PLA. ref. Ver figura 1.2. Los cambios locales de grosor corresponden a zonas estratégicas a través del área de la superficie de la piel para amortiguar y protegerla de las superficies duras, además de permitir una función de membrana osmótica. Estas protuberancias engrosadas también aumentan la flexibilidad, mejoran la circulación y alivian la presión, ya que actúa como un mecanismo de remodelación de tejidos blandos.

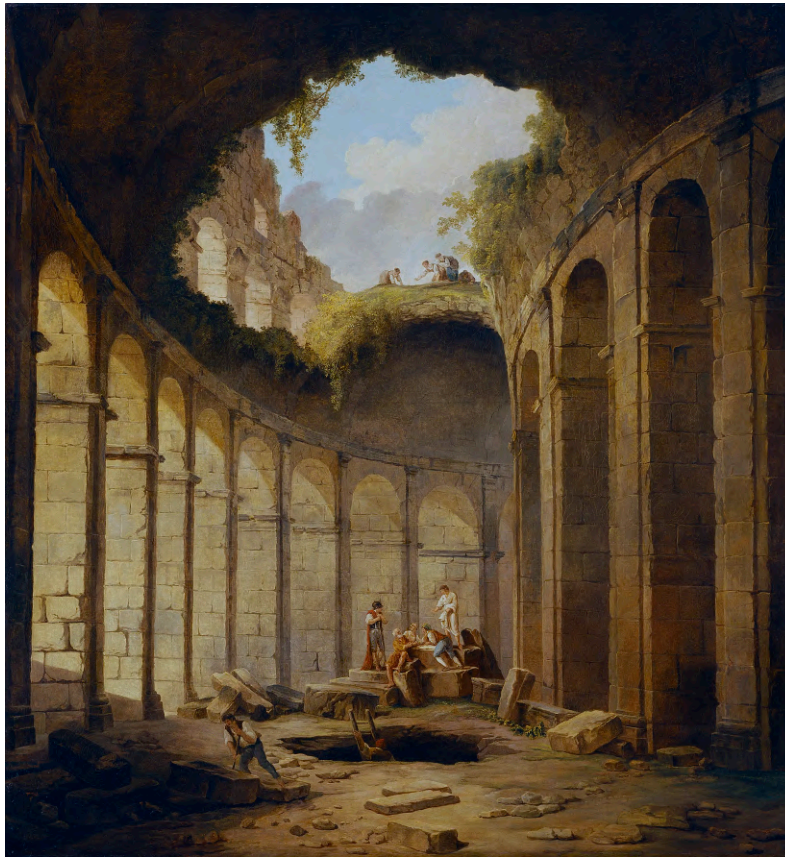


Figura 3.2: (Arriba) El coliseo de Roma, pintura, Hubert Robert 1780/1790. (Abajo) Washerwomen in the Ruins of the Colosseum , pintura, Hubert Robert 1733/1808 @Brooklyn museum

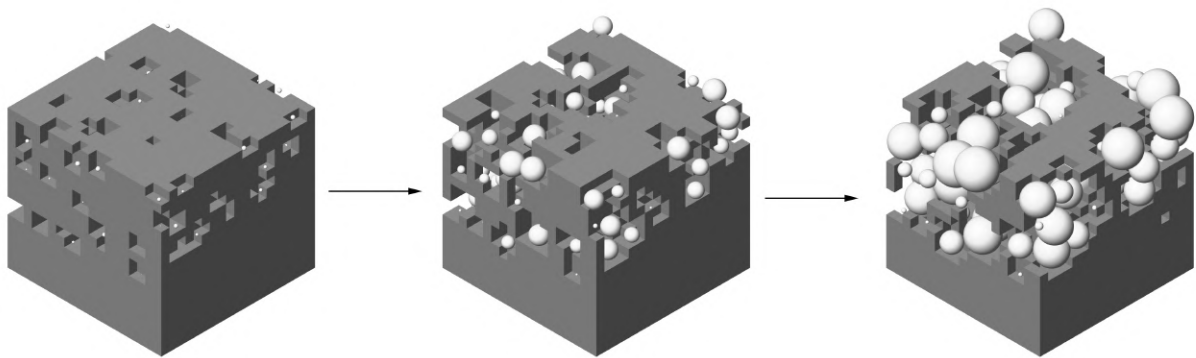


Figura 3.3: Estudio de regeneración digital. La anisotropía digital basada en la distribución, considera la asignación de píxeles como análoga a la de la materia física homogénea (edificación). En este caso, cada píxel contiene propiedades iguales (representadas por el cubo gris), sin embargo, la organización heterogénea de grupos de píxeles (blancos) en una escala más pequeña, define su rendimiento general, dependiendo de la propiedad en cuestión. En este caso, el cubo está estructurado de forma heterogénea debido a la distribución no homogénea de "unidades de píxeles".



Figura 3.4: (Desde arriba hacia abajo, de izquierda a derecha) Restaurant abandonado, Cocholgue; ex fabrica de gomas, Linares; edificio uso mixto, Valparaiso @ Bio bio chile ; casa de la cultura, Los Angeles. Estas y muchas otras edificaciones son observadas en la etapa de investigación, ya que forman parte del patrimonio arquitectónico y cultural; y tienen características estructurales que habilitan su re-utilización (de los edificios)

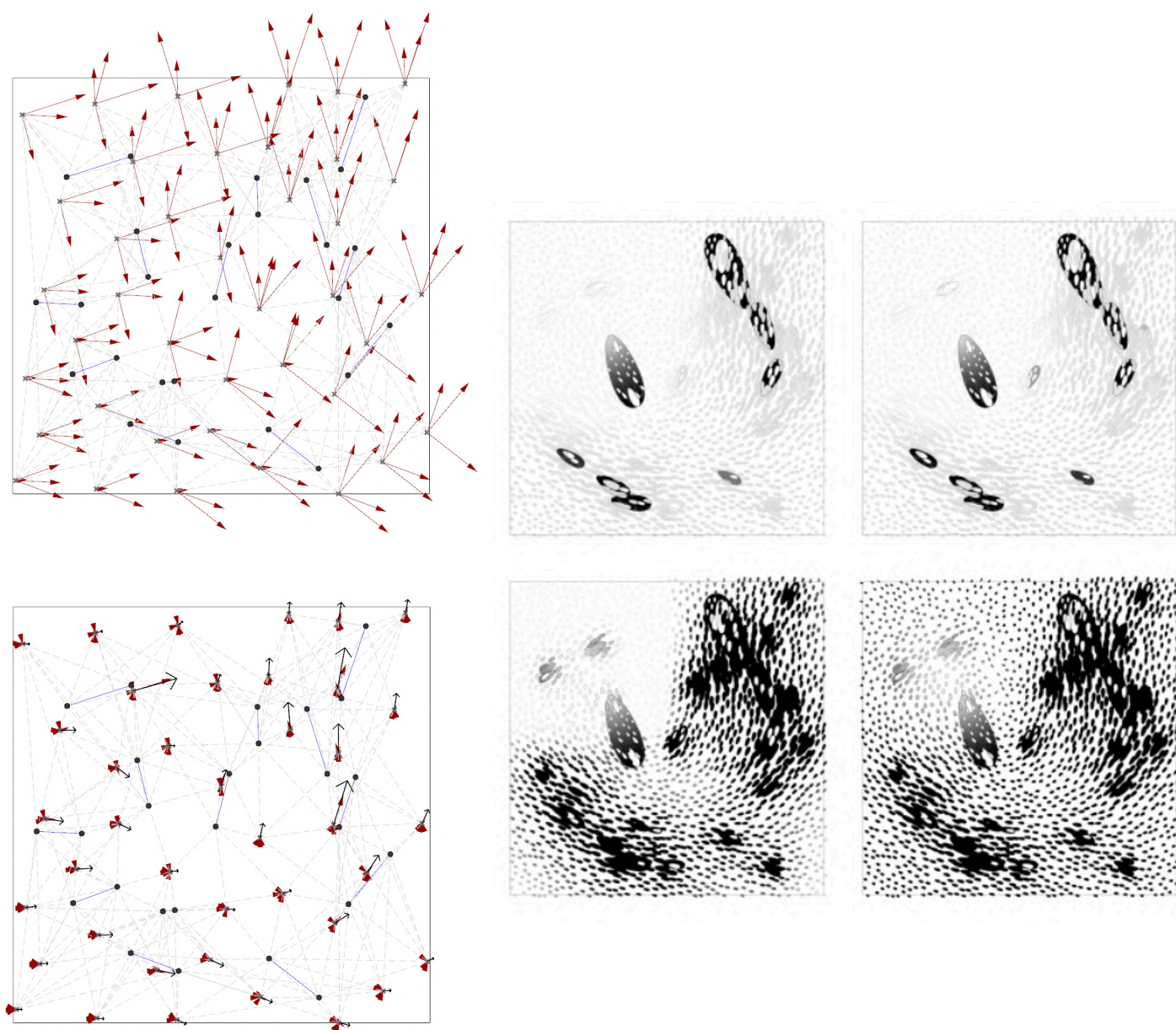


Figura 3.5: Trabajo de vectores escalares para definir diferentes densidades de prótesis. A la izquierda, la configuración de puntos y magnitudes asociadas a la inteligencia de enjambre. A la derecha el resultado de visualizar estos puntos con sus respectivas magnitudes (fuerzas del vector)

proceso de agregación _____ capturas de animación dinámica en proceso DLA simulado en grasshopper desde una partícula inicial, otras partículas se irán agregando para ir creciendo la estructura

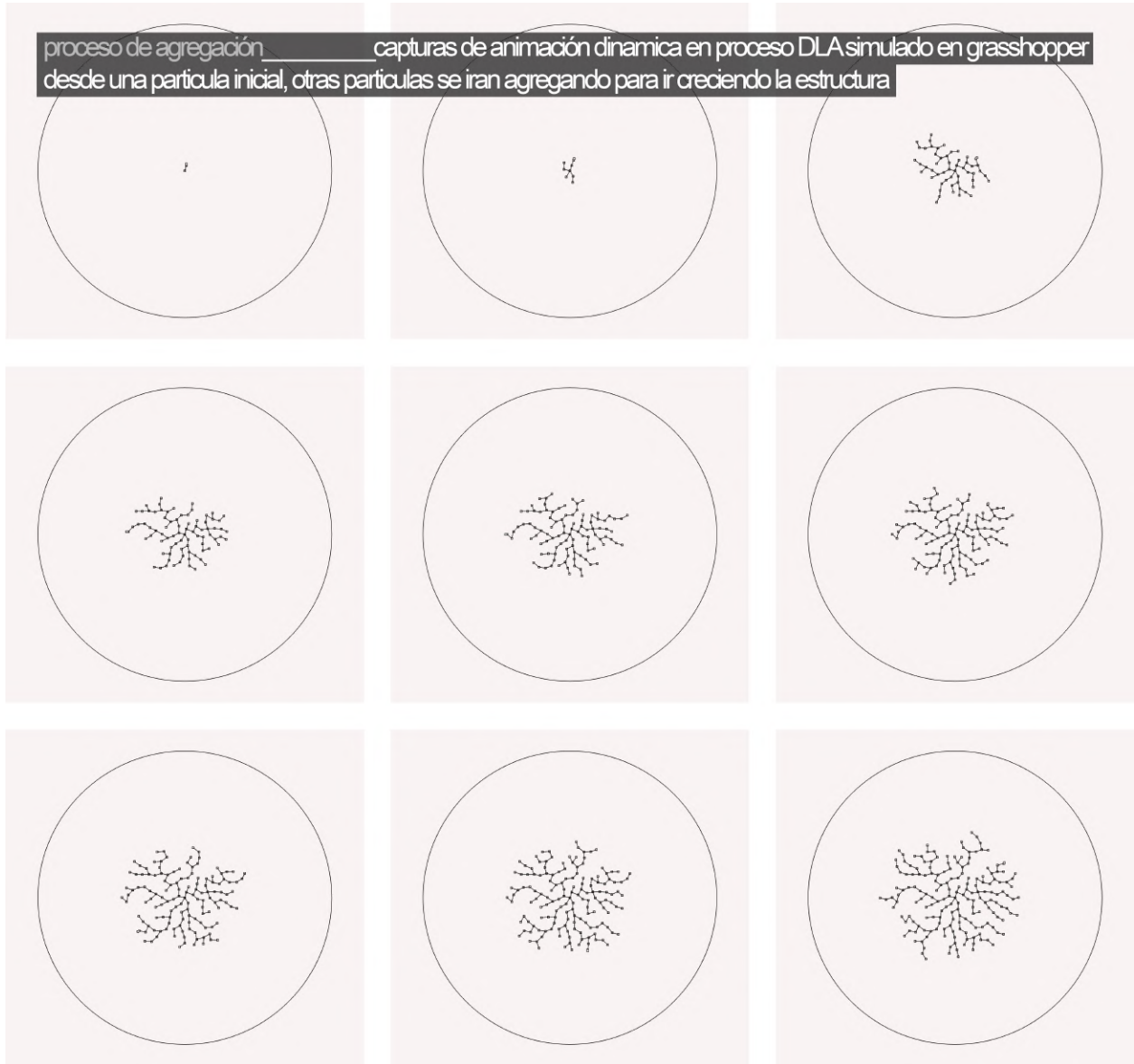


Figura 3.6: Proceso de *diffusion limited aggregation* en el cual se “cultiva” una partícula para eventualmente crecerla con iteraciones estocásticas; a modo de primera estrategia para el crecimiento material.



Figura 3.7: Los objetos interactivos integrados con organismos como levaduras, bacterias, mohos, etc; utilizan signos semióticos de hongos tóxicos, sangre, agua nebulizada y flor marchita para comunicar mensajes de toxicidad, dolor, refresco y error. De esta forma, (β)*acteria* es el primer acercamiento a nuestro material

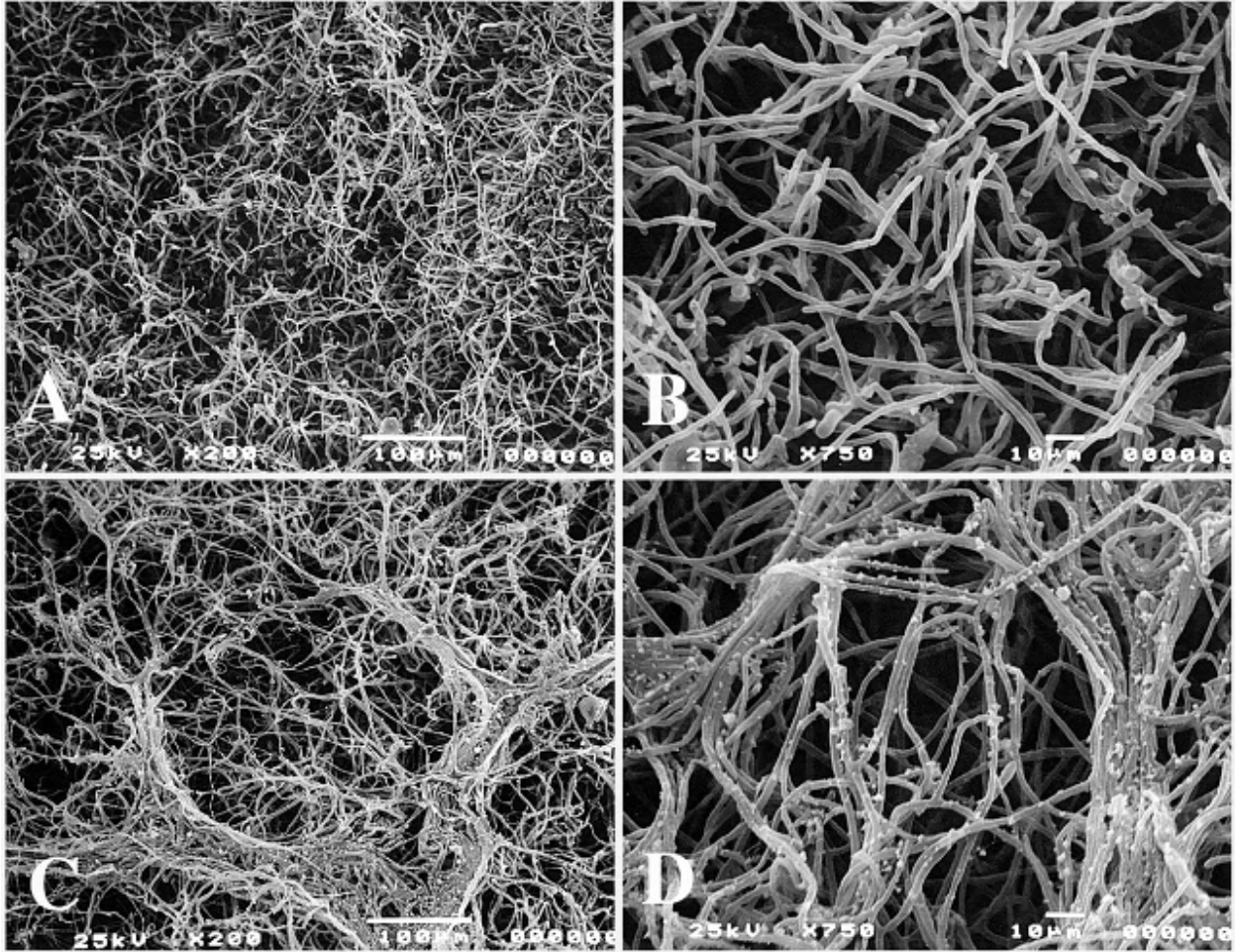


Figura 3.8: Material candidato para el sustrato de material sensible (microgramo de *pleurotus ostreatus*, hongo ostra) @ Laboratorio Universidad de Chile

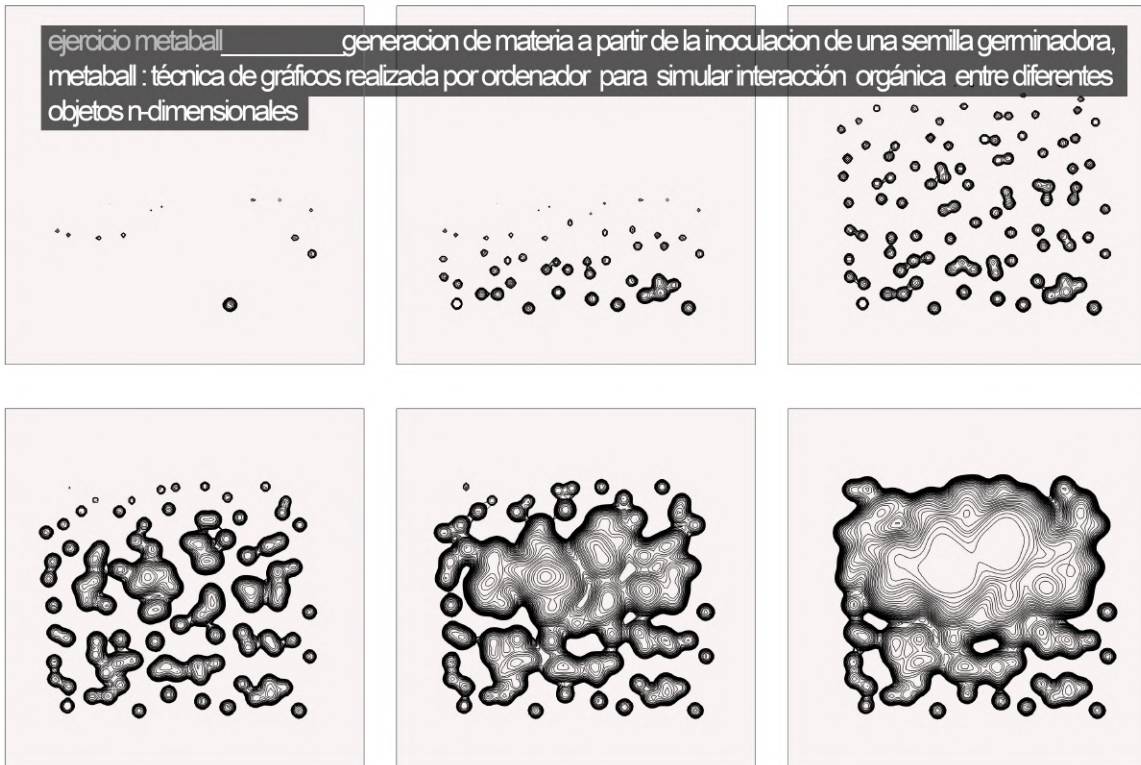


Figura 3.9, 3.10.: Generación de materia por método de metaball, estructuración de un elemento de mayor escala que (β)acteria y de cualidades materiales superiores. En la imagen 3.10 se muestra una imagen cercana al compuesto material del micelio.

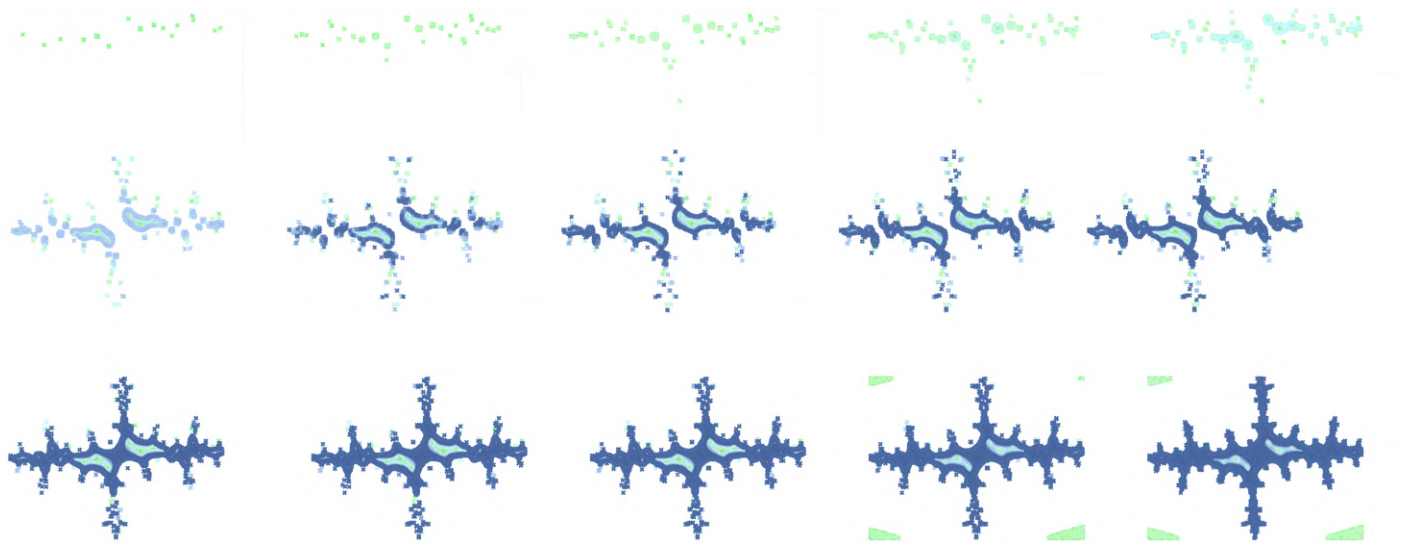


Figura 3.11.: Generación formal a partir de un conjunto de Julia de números complejos para materializar virtualmente el crecimiento fotosintético del hidrogel de alga. El coloreado indica la densidad y el tiempo de cada elemento.

DESARROLLO PROYECTUAL

4.1 Diseño Bio-Integrado

El modelo comúnmente aceptado de la estética arquitectónica se basa en la equivalencia entre la función de la razón y la relación con los programas, la observación cognitiva y la axiomática reductiva. Aquí, la estética significa el conocimiento de la belleza y la comprensión matemática de las estructuras de datos. Pero, como se argumentó en las secciones anteriores, los objetos algorítmicos son más que axiomática finita y menos que formas perceptivas; son datos reales presiles que impulsan el procesamiento computacional de estructuras físicas y plausibles. La relación de la computación, las matemáticas y la biología, termina siendo no más que una expresión de diseño sostenible en el tiempo, relacionado a las situaciones particulares, preocupado del presente como así del futuro; para aquellos que están igualmente fascinados por la tecnología avanzada y las cosas que crecen: la arquitectura y la ingeniería bioquímica. Trabajar para construir y aplicar el conocimiento interdisciplinario y desarrollar ideas complejas, prototipos, proyectos y planes que integren la naturaleza, la ciencia y la arquitectura de nuevas maneras.

Entonces, se presenta a continuación el desarrollo proyectual desde el prototipo y ejercicio biológico, computacional y matemático, para finalizar en el desarrollo arquitectónico del proyecto prótesis.

Los sistemas biológicos se pueden caracterizar como entidades que "computan" la organización del material de acuerdo con criterios de desempeño externos. Para esta exploración utilizo microorganismos, especialmente bacterias y hongos.

El crecimiento bacteriano es un proceso complejo que involucra numerosas reacciones anabólicas y catabólicas, que resultan en la división celular. En hongos, funciona de forma similar. Ahora, ¿cuál es la relación entre este crecimiento orgánico y una nueva materialidad en la arquitectura?

Lo anterior, junto con los patrones de desarrollo algorítmico, pueden dar las primeras indicaciones de un dinamismo material que lo hace mucho más sostenible, ecológico y sin desperdicios.

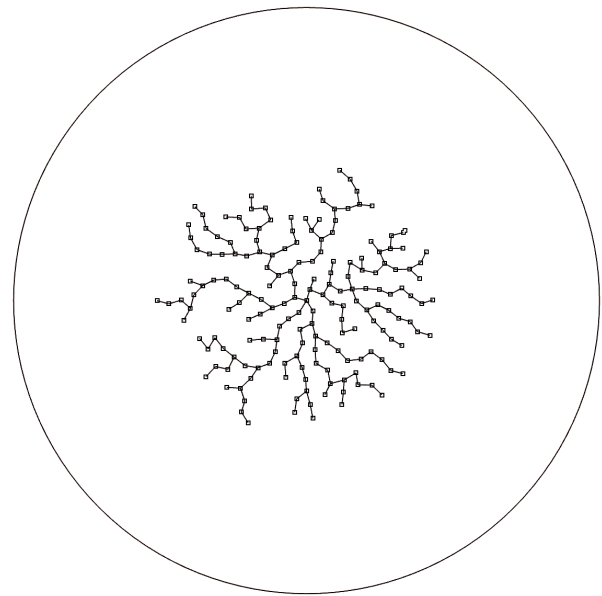


Figura 4.1: Simulación de agregación limitada por difusión. Grasshopper.

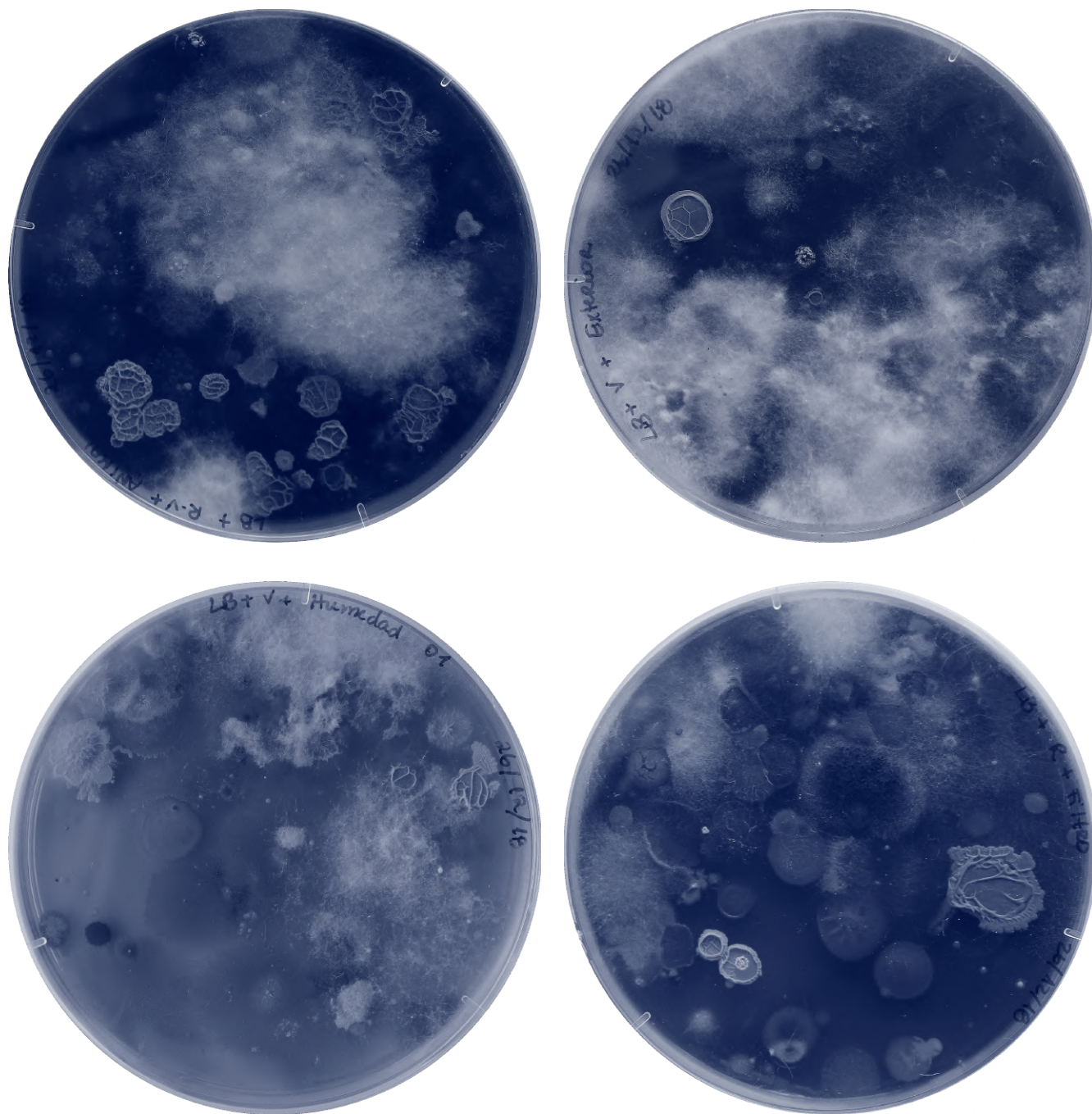


Figura 4.2: Cultivo de hongos y bacterias del medio en placas petri para análisis de crecimiento. Diciembre 2018, Laboratorio de biotecnología Universidad de Chile.

```

--
-- walk a single particle
--
walk_particle :: DLAParams -> Vec3 -> DLANode -> Int
              -> DLAMonad (Maybe (DLAParams, DLANode))
walk_particle params pos kdt n = do
  -- 1\. generate a random vector of length step_size
  step <- randVec (step_size params)

  -- 2\. walk current position to new position using step
  pos' <- return $ vecAdd pos step

  -- 3\. compute norm of new position (used to see if it wandered too far)
  distance <- return $ vecNorm pos'

  -- 4\. check if the move from pos to pos' will collide with any known
  -- particles already part of the aggregate
  collide <- return $ kdtCollisionDetect kdt pos pos' (epsilon params)

  -- 5\. sample to see if it sticks
  doesStick <- sticks params

  -- 6\. termination test : did we collide with one or more members of the
  -- aggregate, and if so, did we stick?
  termTest <- return $ (length collide) > 0 && doesStick

  -- 7\. have we walked into the death zone?
  deathTest <- return (distance > (death_rad params))

  -- check termination test
  case termTest of
    -- yes! so return the updated parameters and the kdtree with the
    -- new particle added.
    True -> return $ Just (update_params params pos',
                          kdtAddPoints [(pos',n)] kdt)

    -- no termination... check death test
    False -> case deathTest of
      -- wandered into the zone of no return. toss the particle,
      -- return nothing and let the caller restart a new one.
      True -> return Nothing

      -- still good, keep walking
      False -> walk_particle params pos' kdt n

```

Figura 4.3: Algoritmo base del crecimiento y expansion orgánica en formato *DLA Diffusion-limited aggregation*. Desarrollado en Dubai, Emiratos Arabes Unidos con la tutela de docentes de The Bartlett, UCL

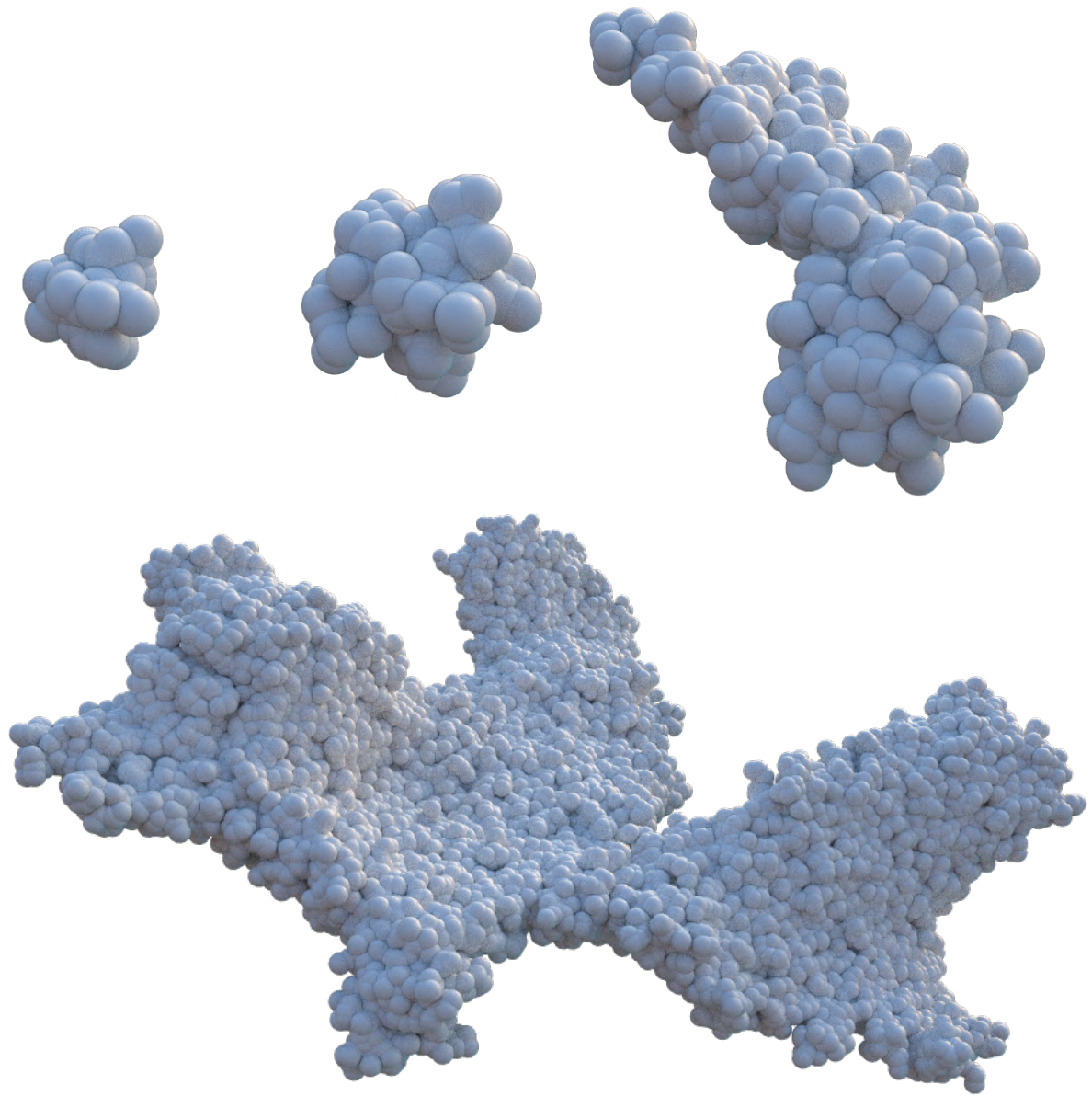


Figura 4.4: Simulación en 3d del crecimiento orgánico en base a algoritmo 4.3. Houdini Fx

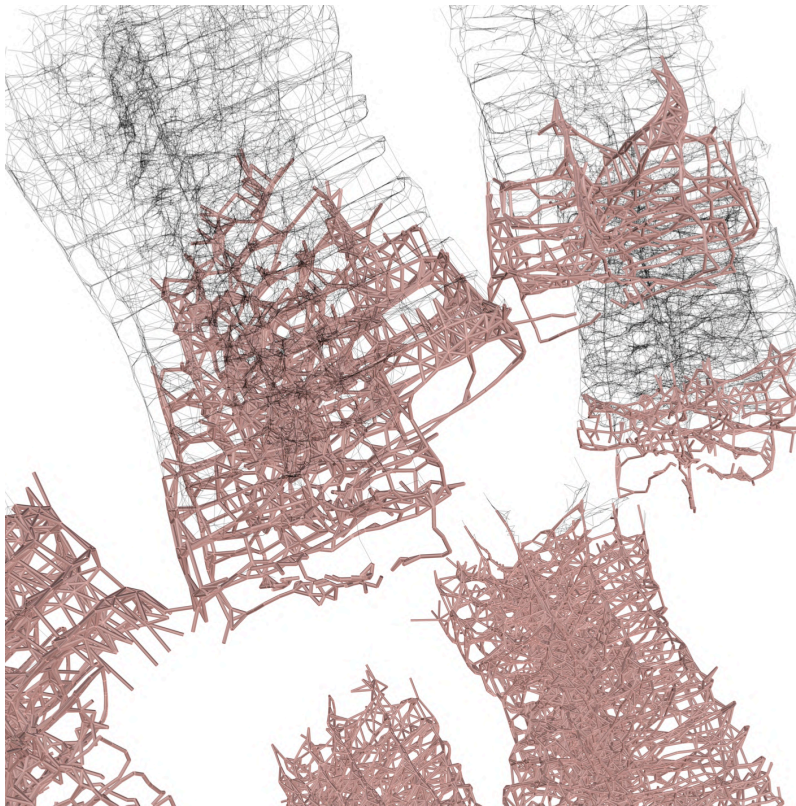
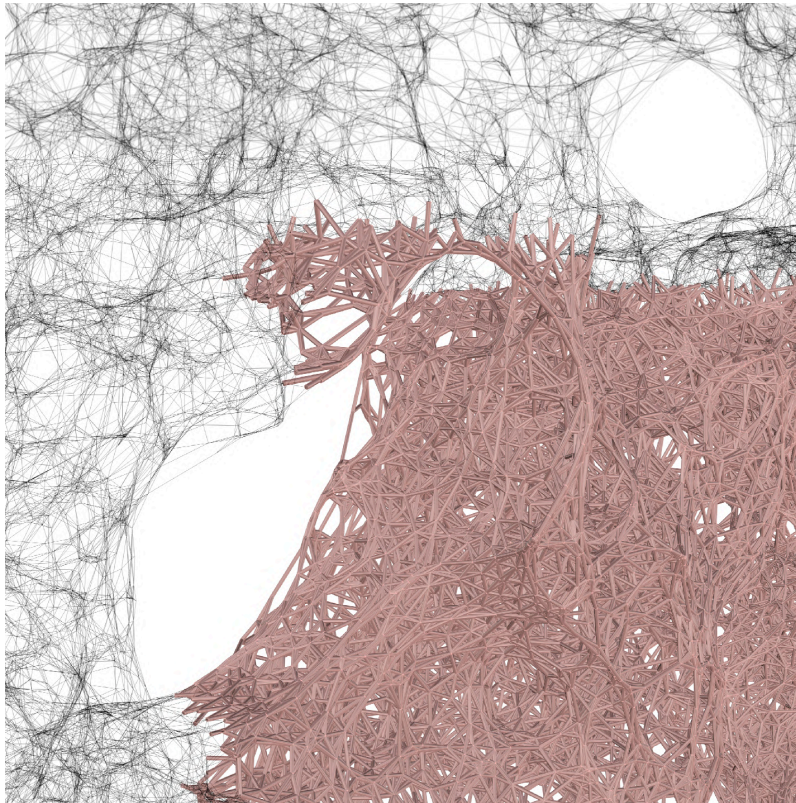


Figura 4.5: Simulación y modelado 3d de fibras orgánicas para la construcción de estructuras. Houdini Fx, Rhinoceros 3d

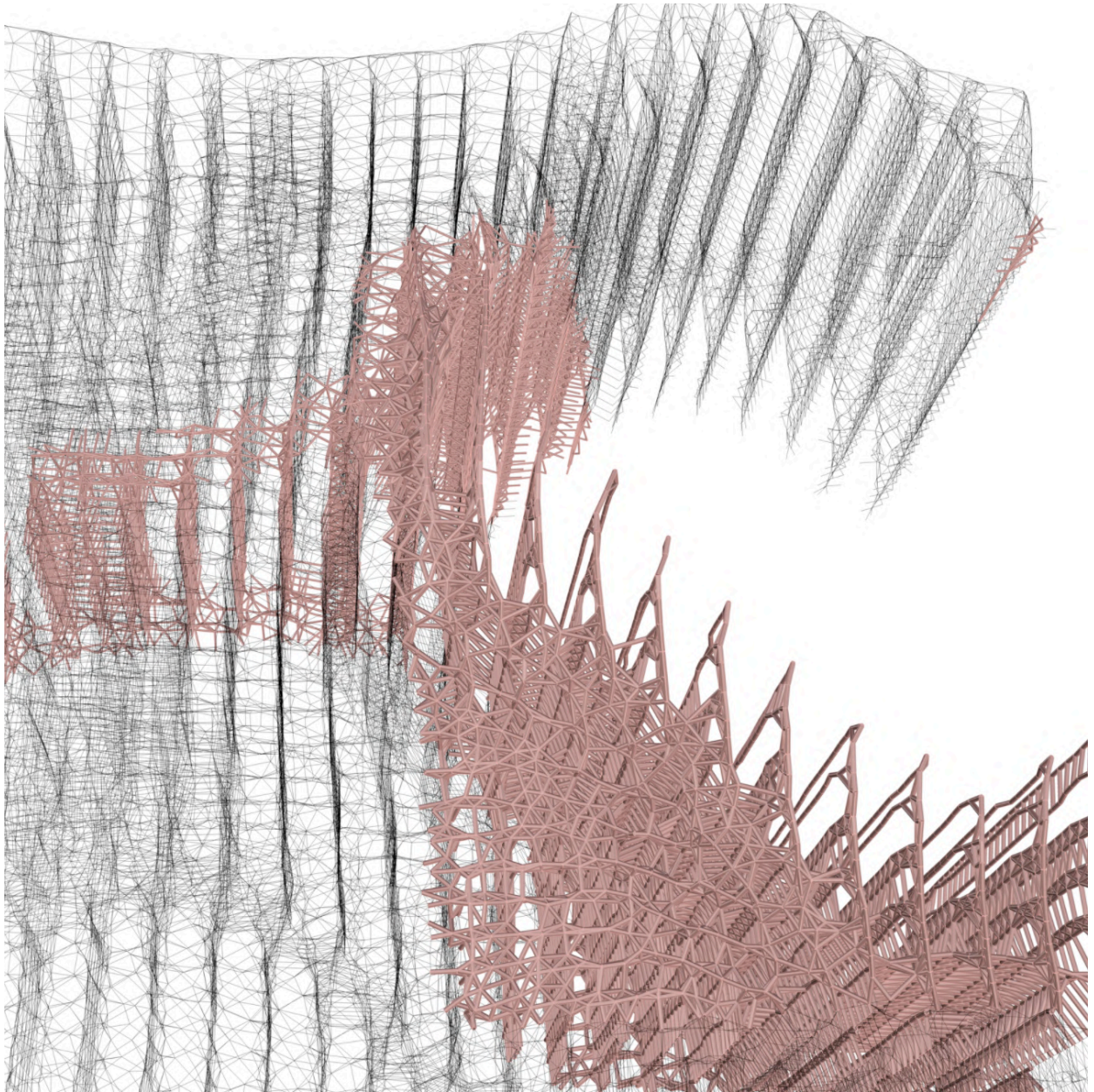


Figura 4.6: Simulación y modelado 3d de fibras orgánicas para la construcción de estructuras. Houdini Fx, Rhinoceros 3d

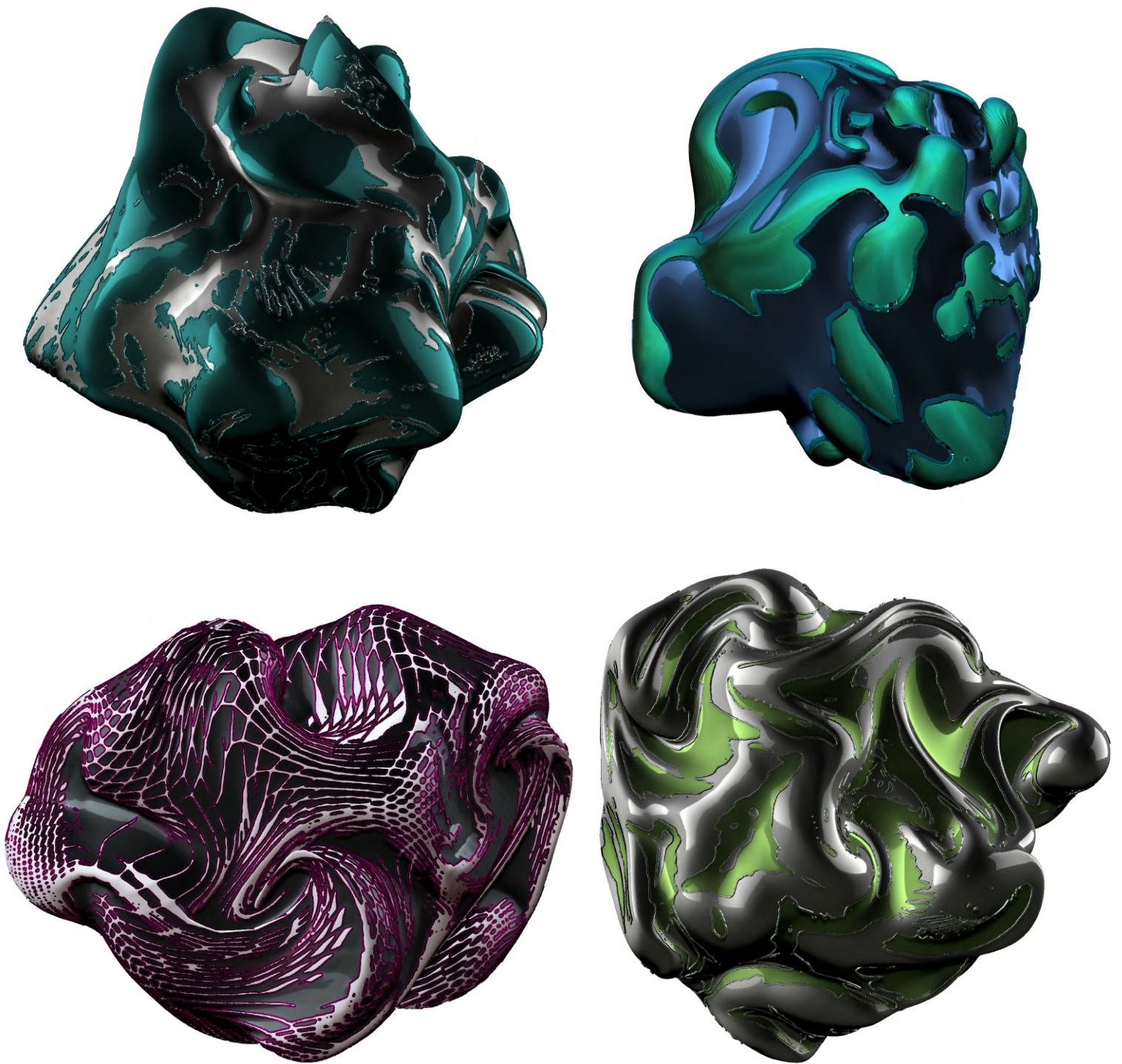


Figura 4.7: Maquetas en 3d de crecimiento y colonización orgánica. Zbrush

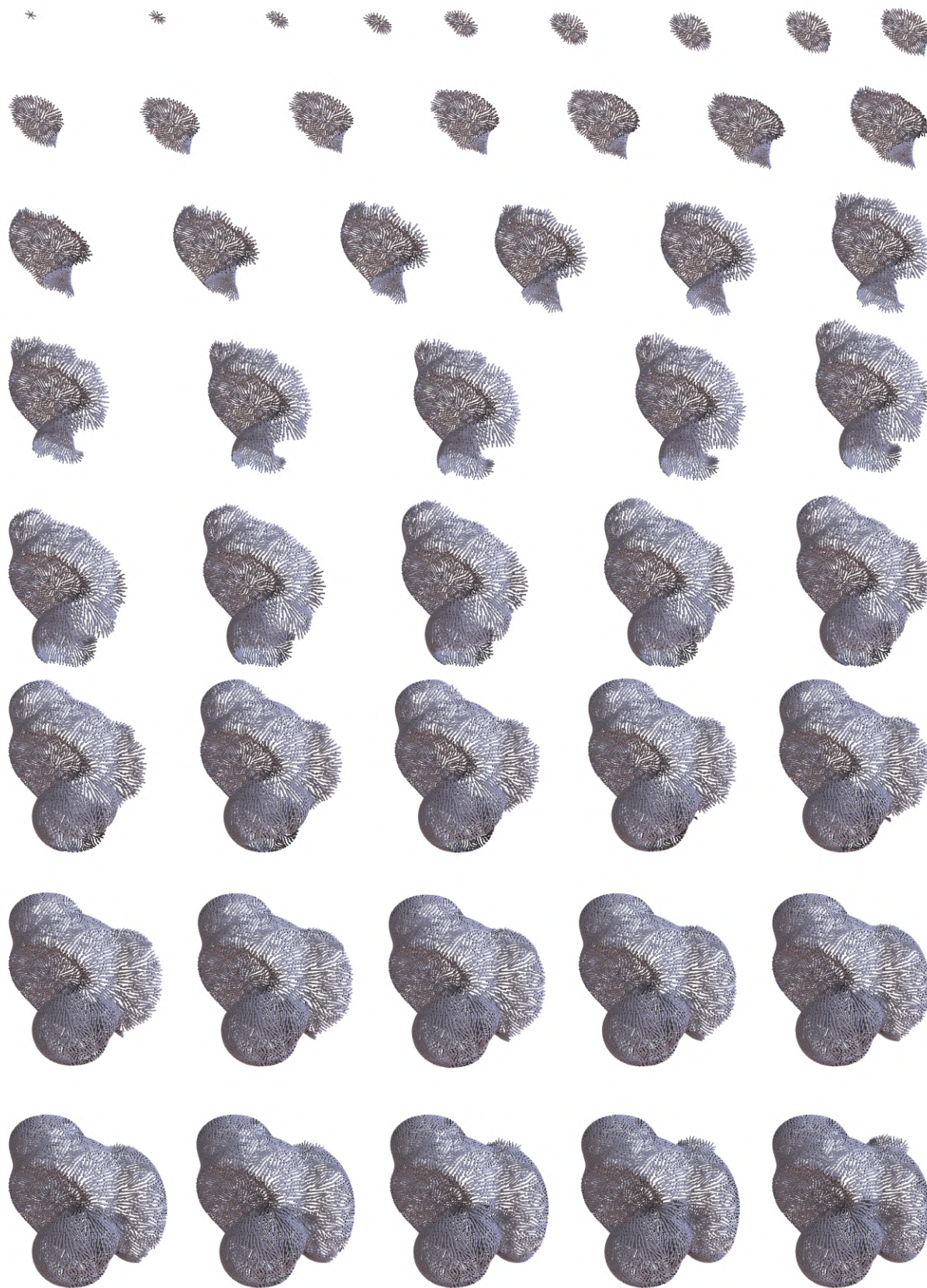


Figura 4.8: Simulación y etapas en 3d de crecimiento orgánico en formato de fibras. Houdini Fx

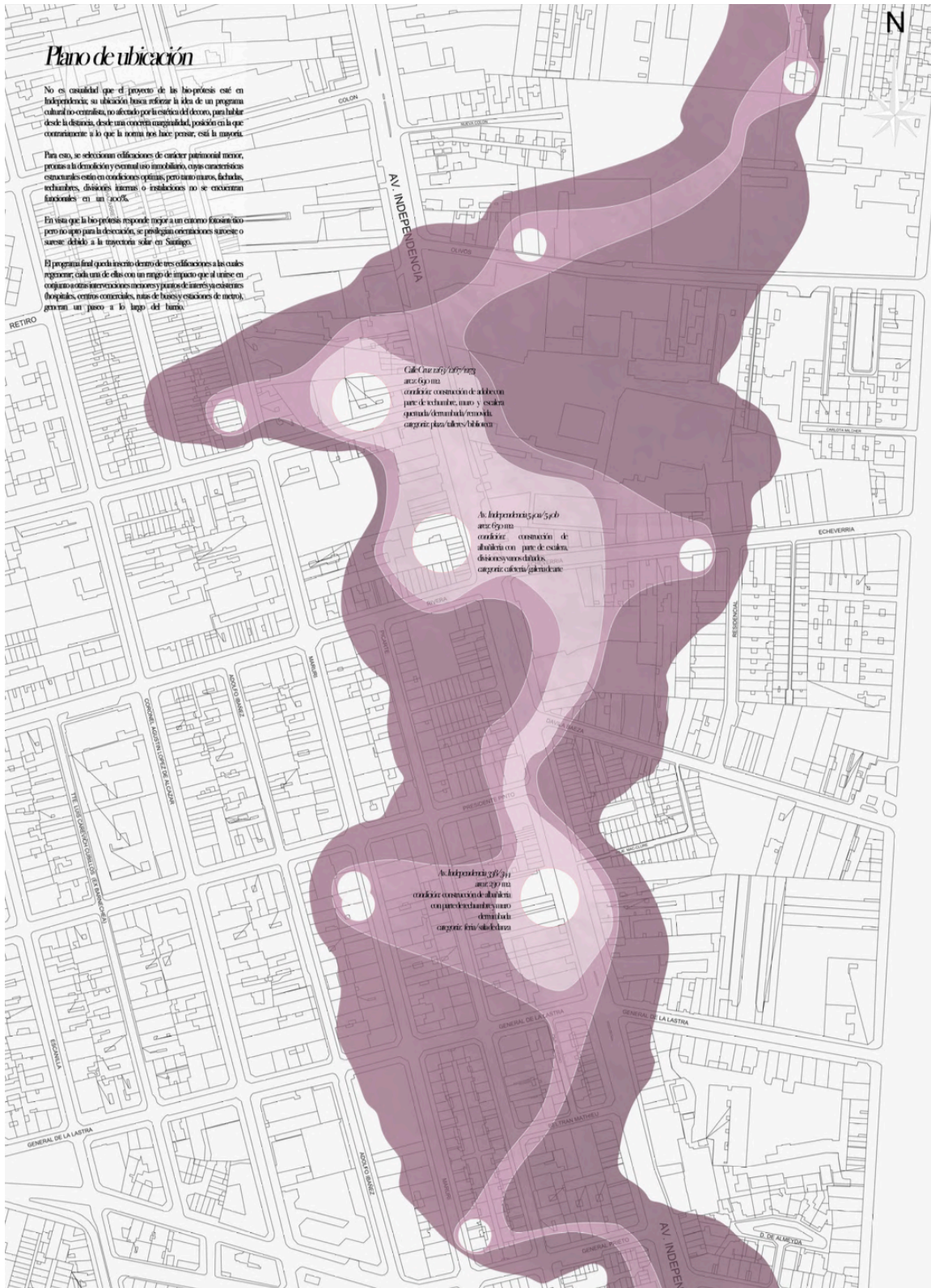


Figura 4.9: Diagrama de ubicación, barrio Independencia. La mancha púrpura indica el área investigada, la mancha interior indica el área de efecto de las intervenciones; y por último, la mancha rosada indica la ruta que generan las tres (3) estructuras regeneradas. Los círculos pequeños, ubican intervenciones menores, y los círculos grandes, ubican las tres (3) estructuras a regenerar en esta etapa del proyecto.



Figura 4.10: Plano de emplazamiento de las prótesis.

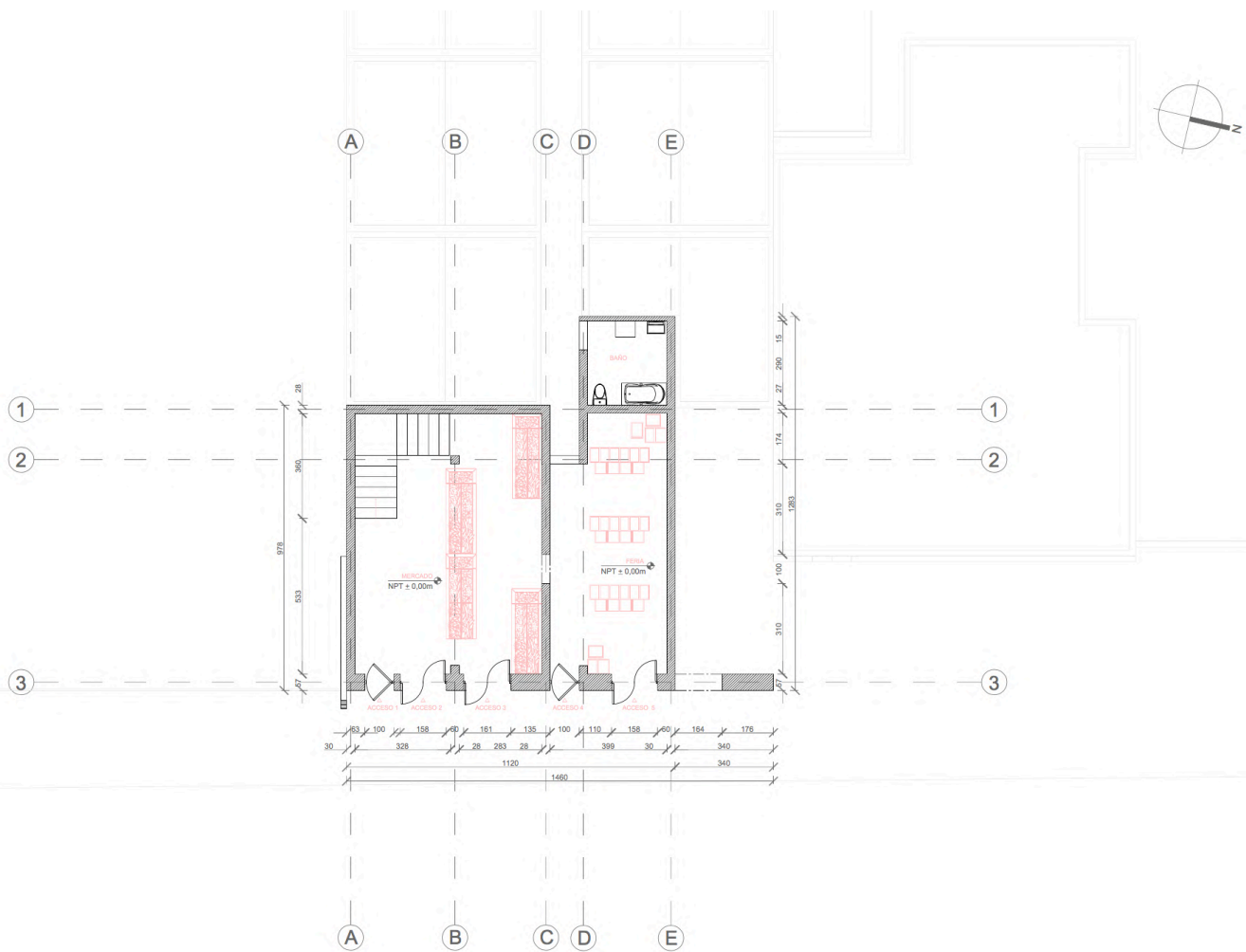


Figura 4.11: Prótesis 01, planta primer piso. En rosa, la intervención de la prótesis, en gris lo existente.

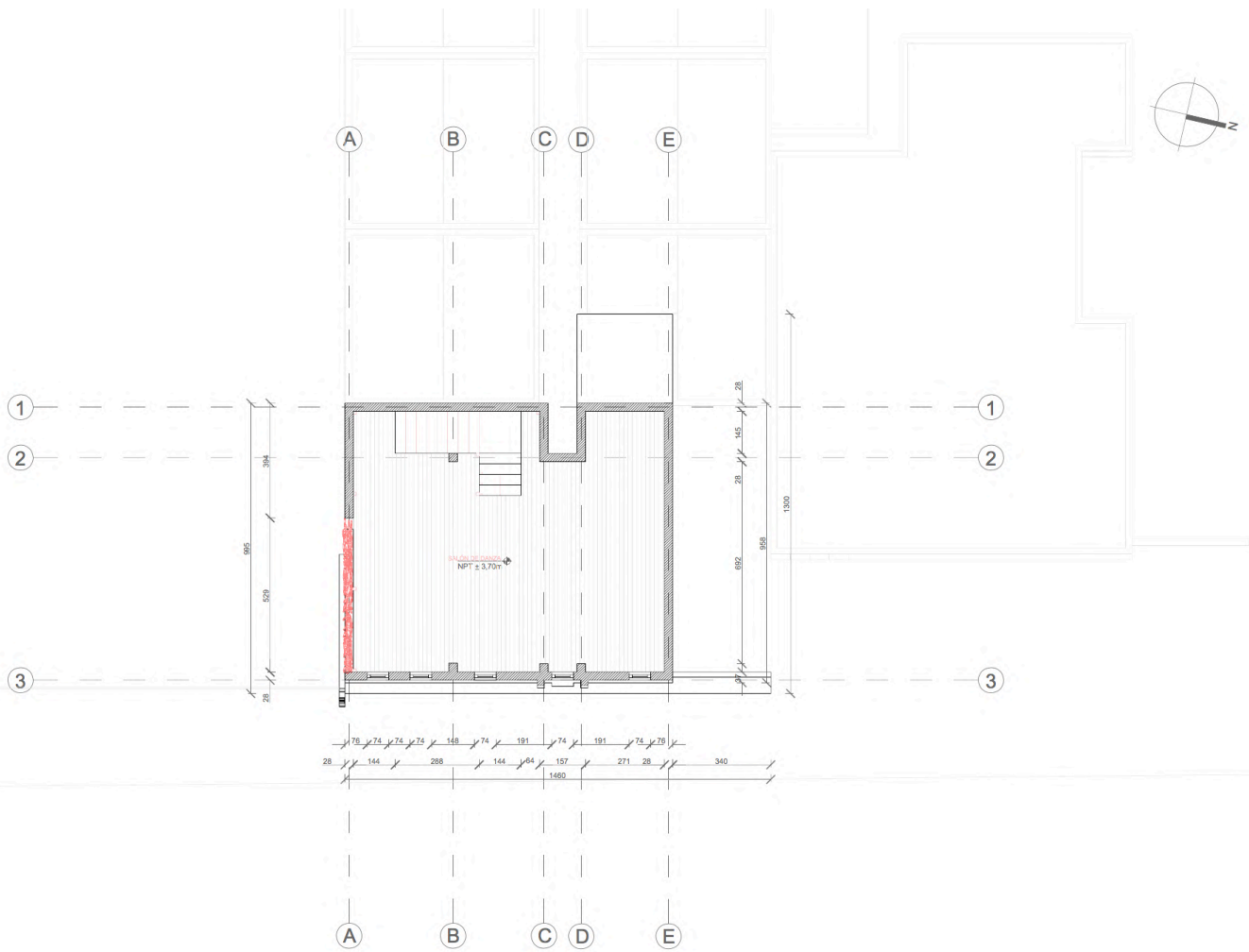


Figura 4.12: Prótesis 01, planta segundo piso. En rosa, la intervención de la prótesis, en gris lo existente.



Figura 4.13: Prótesis 02, planta primer piso. En rosa, la intervención de la prótesis, en gris lo existente.



Figura 4.14: Prótesis 02, planta segundo piso. En rosa, la intervención de la prótesis, en gris lo existente.

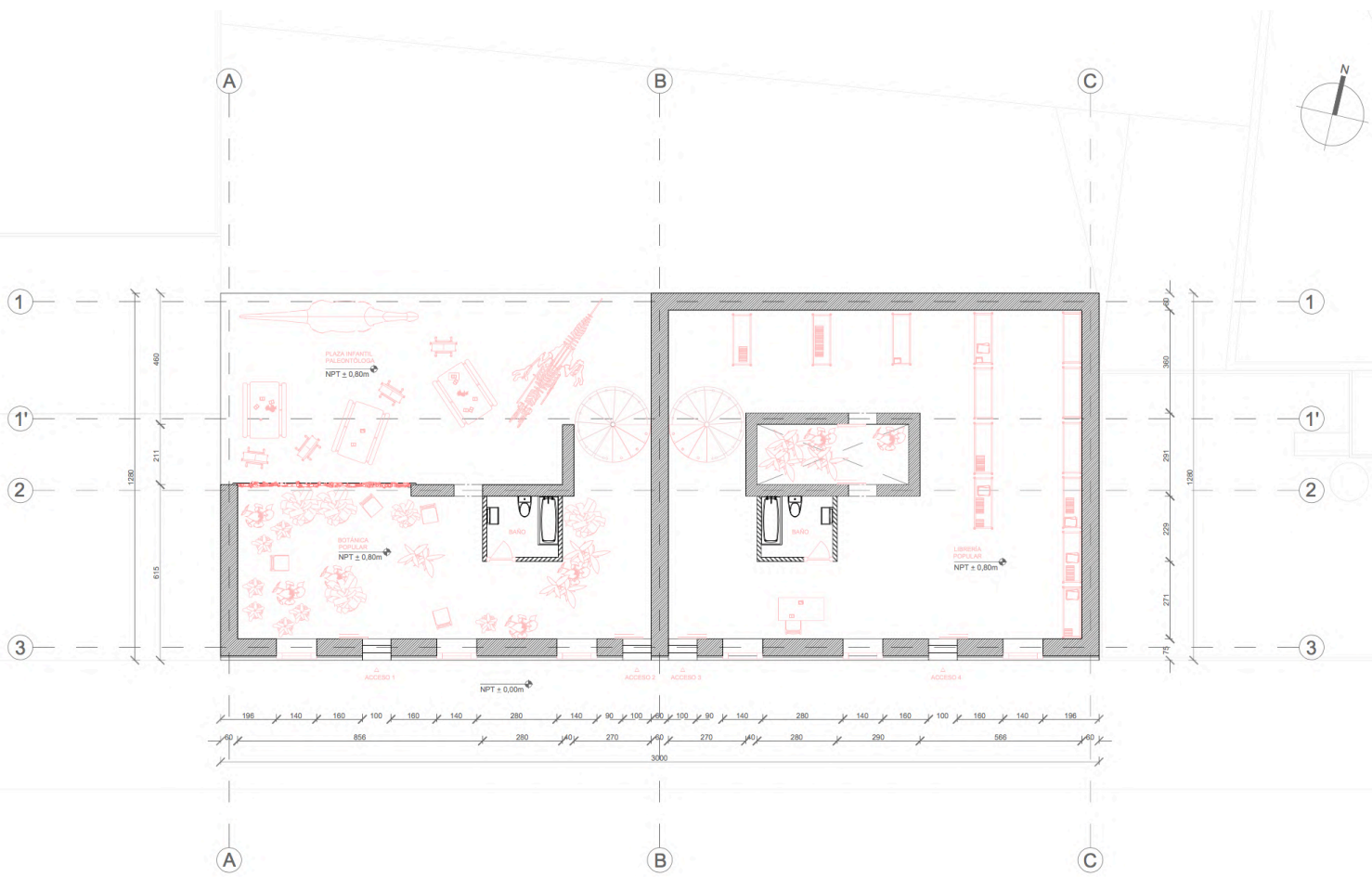


Figura 4.15: Prótesis 03, planta primer piso. En rosa, la intervención de la prótesis, en gris lo existente.

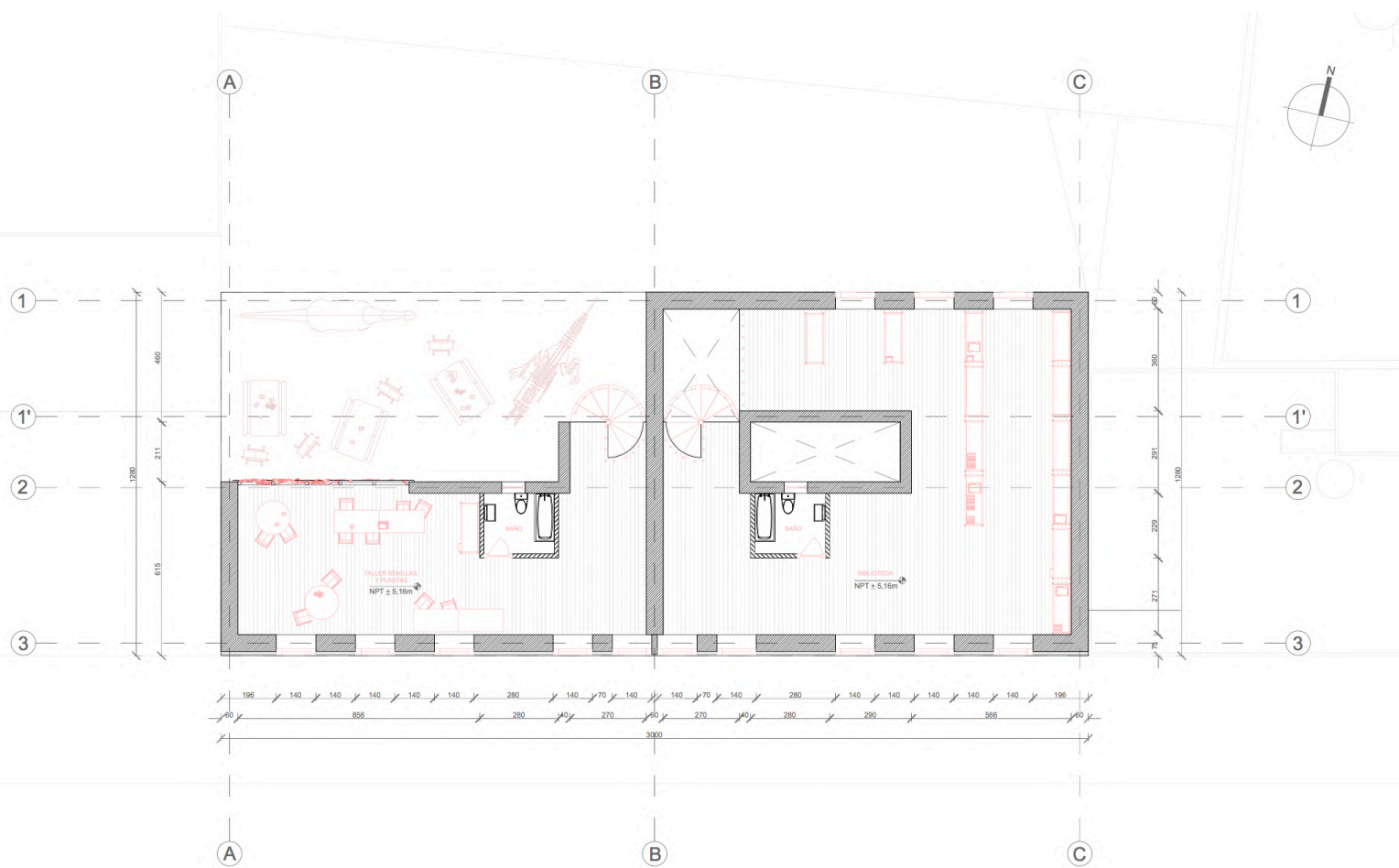


Figura 4.16: Prótesis 03, planta segundo piso. En rosa, la intervención de la prótesis, en gris lo existente.

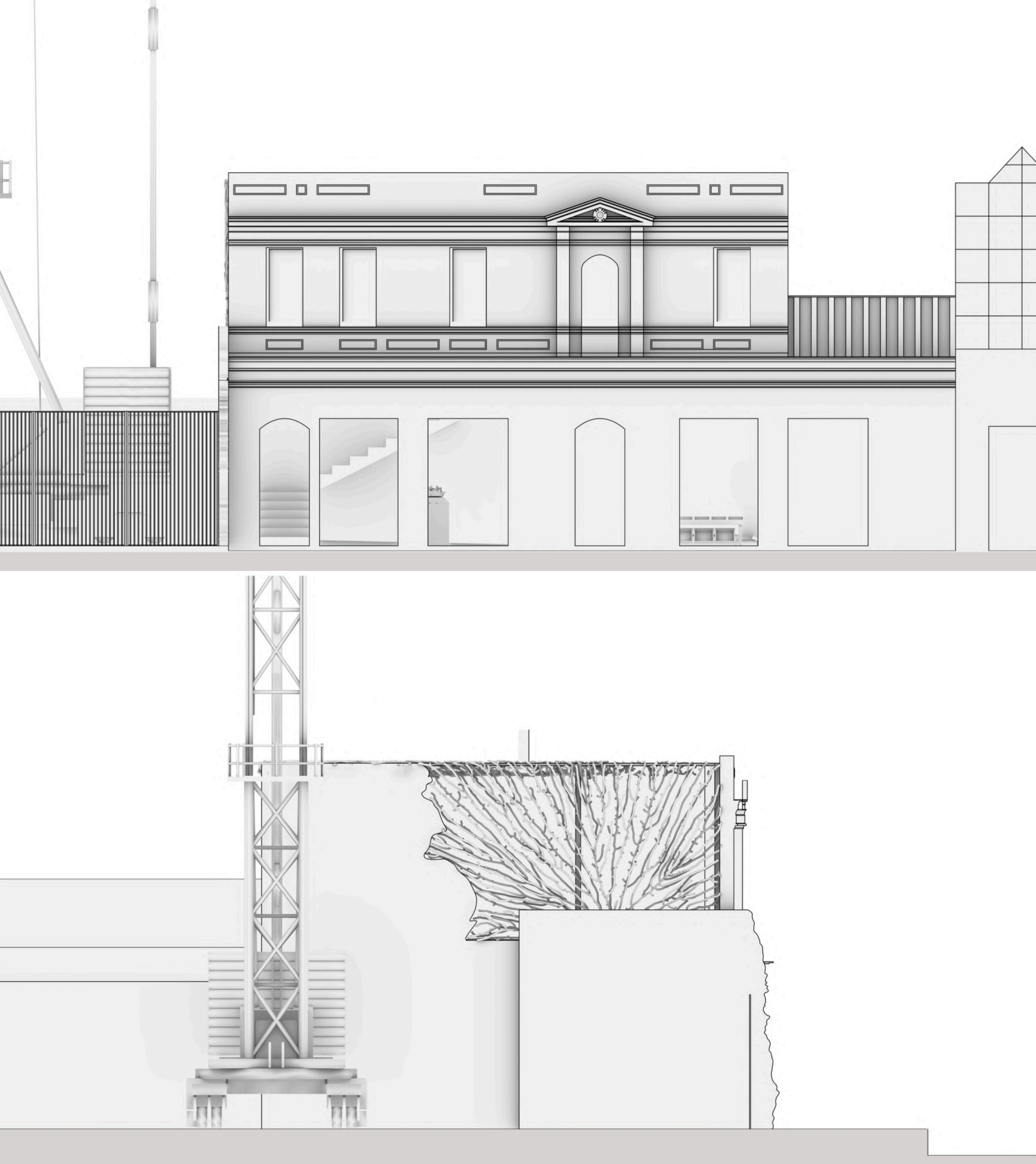


Figura 4.17,4.18: Prótesis 01, (arriba) elevación frente (E), (abajo) elevación costado (S)



Figura 4.19: Prótesis 02, elevación frente (E)

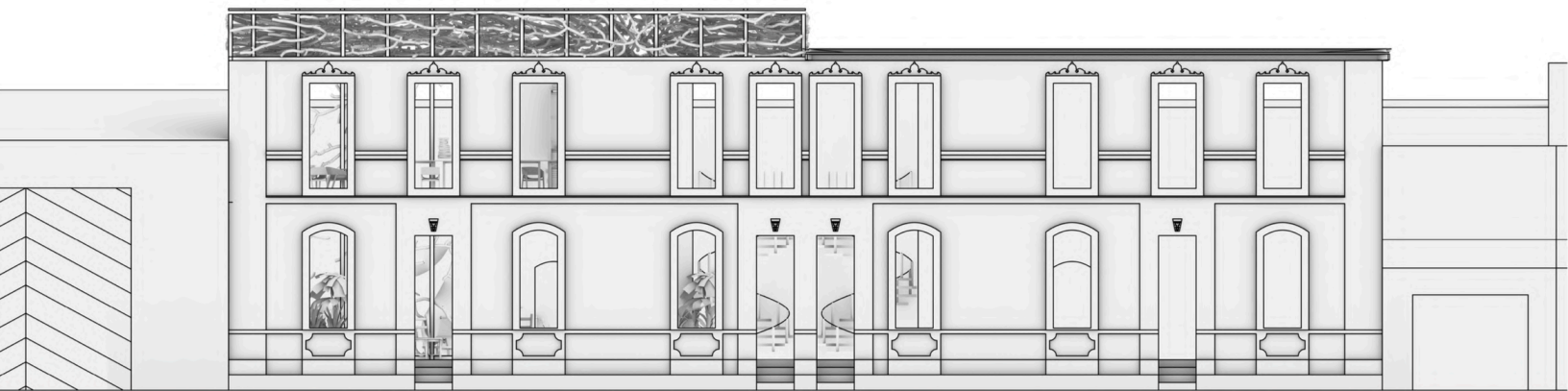


Figura 4.20,4.21: Prótesis 03, (arriba) elevación frente (S), (abajo) posterior (N)

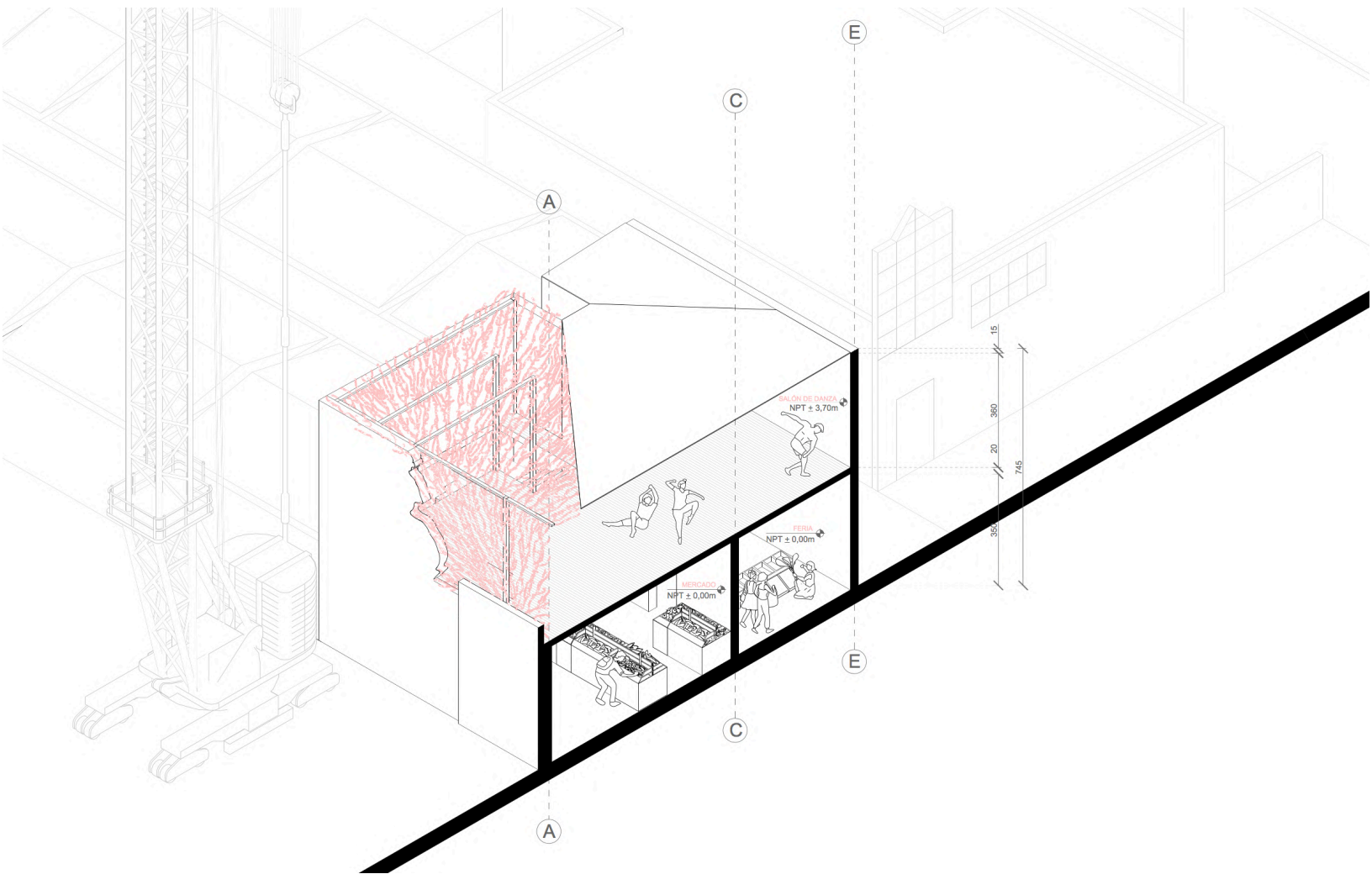


Figura 4.22: Prótesis 01, corte de arquitectura.

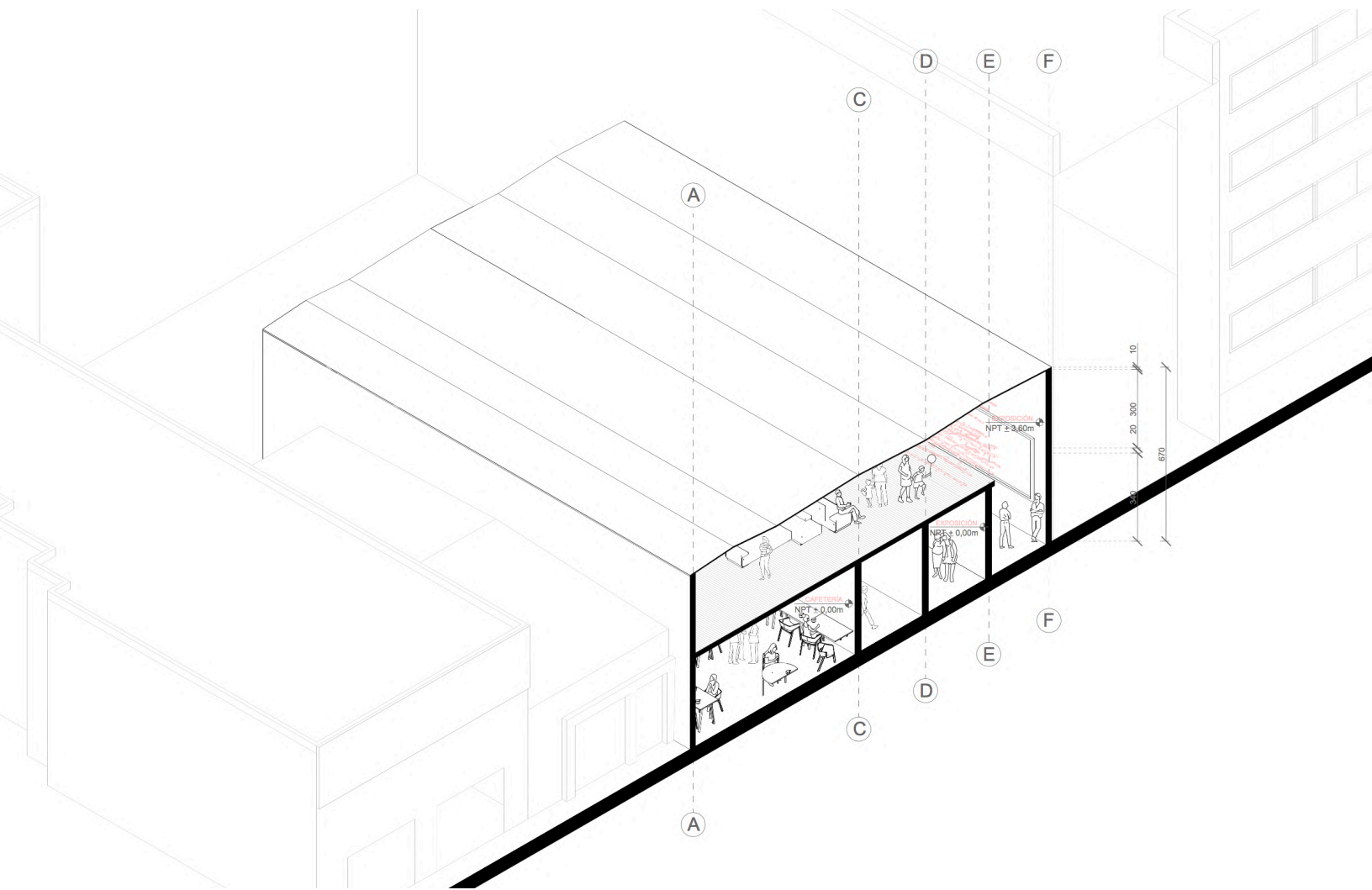


Figura 4.23: Prótesis 02, corte de arquitectura.

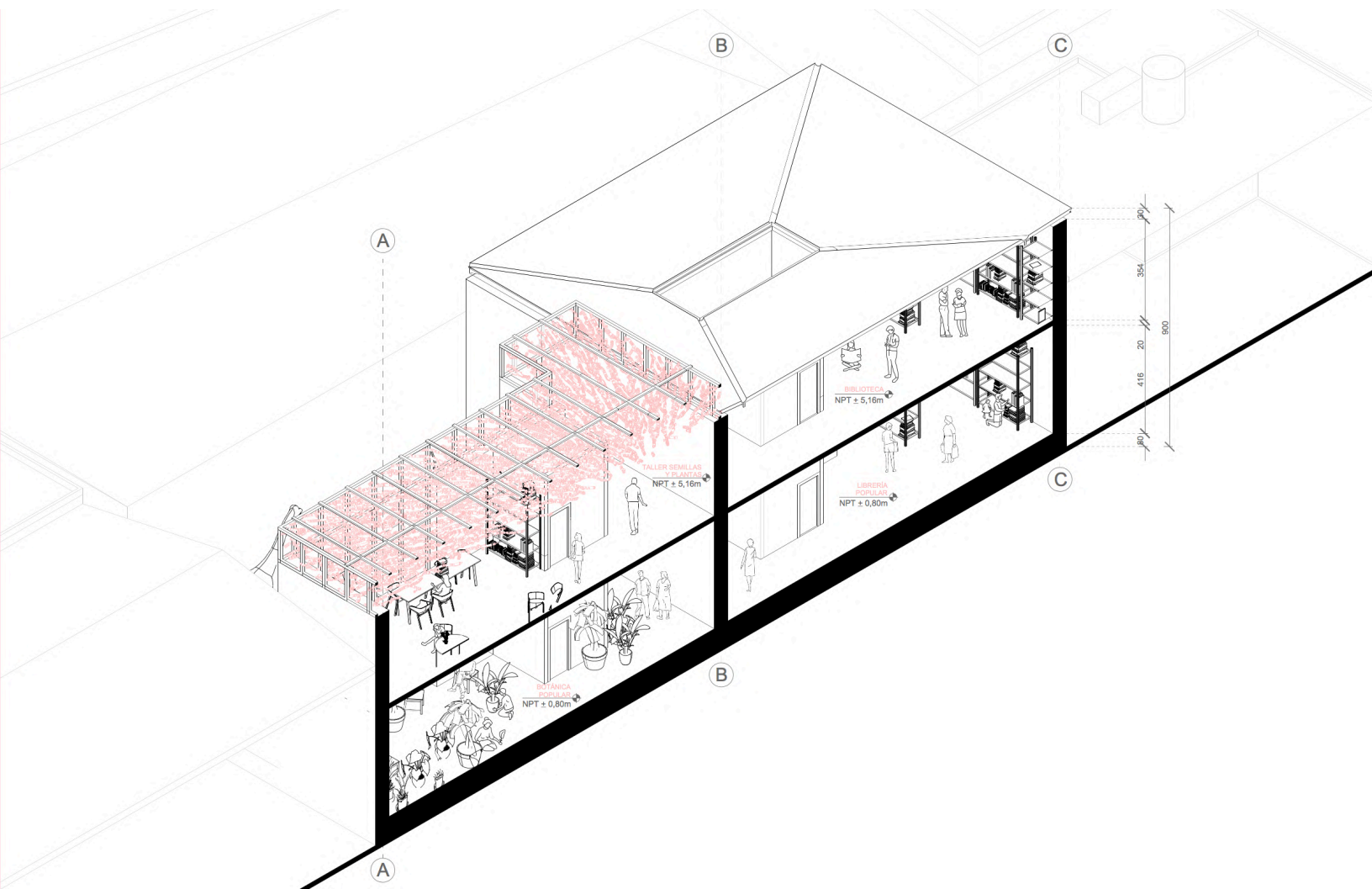


Figura 4.24: Prótesis 03, corte de arquitectura.

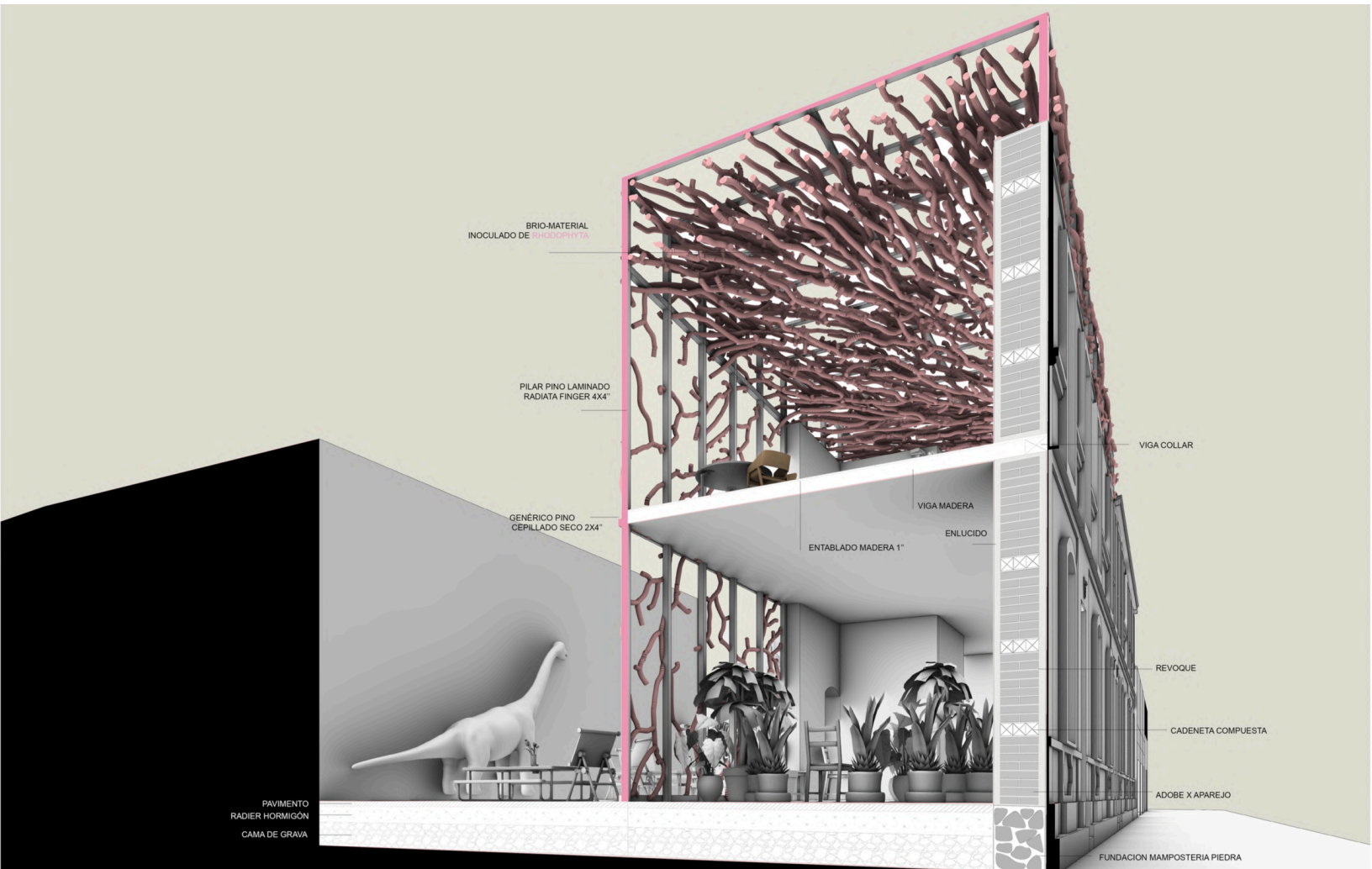


Figura 4.25: Prótesis 03, corte constructivo.

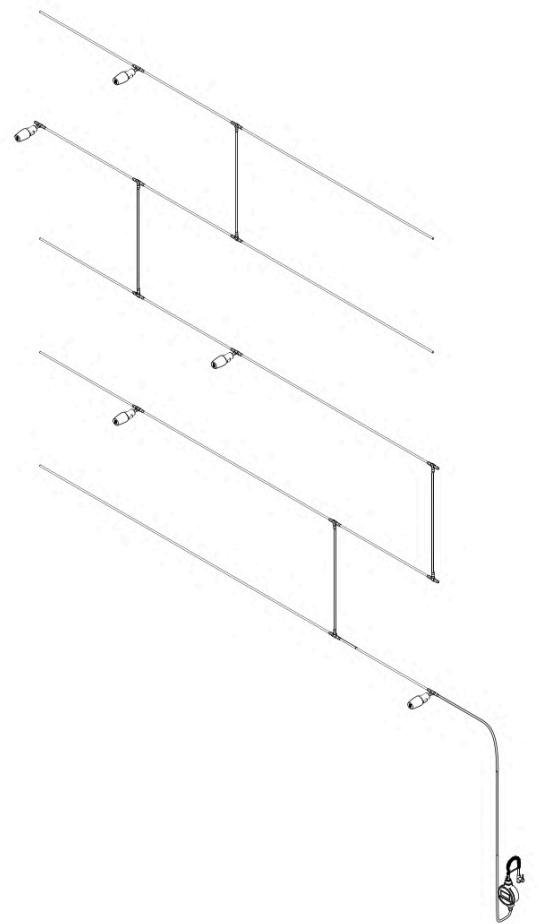
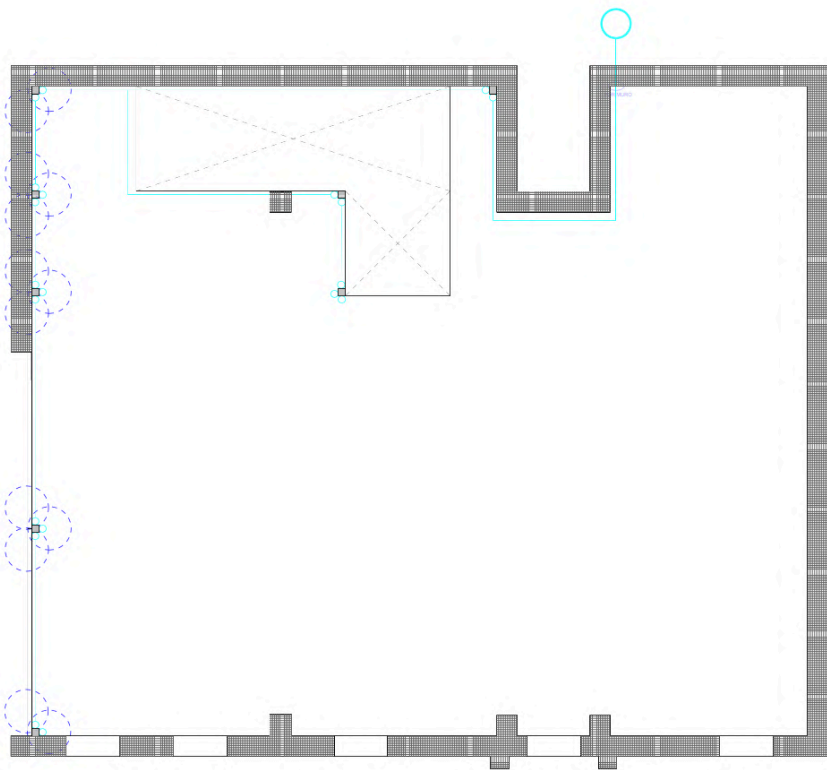


Figura 4.26: Prótesis 01, instalaciones de aspersores y detalle.

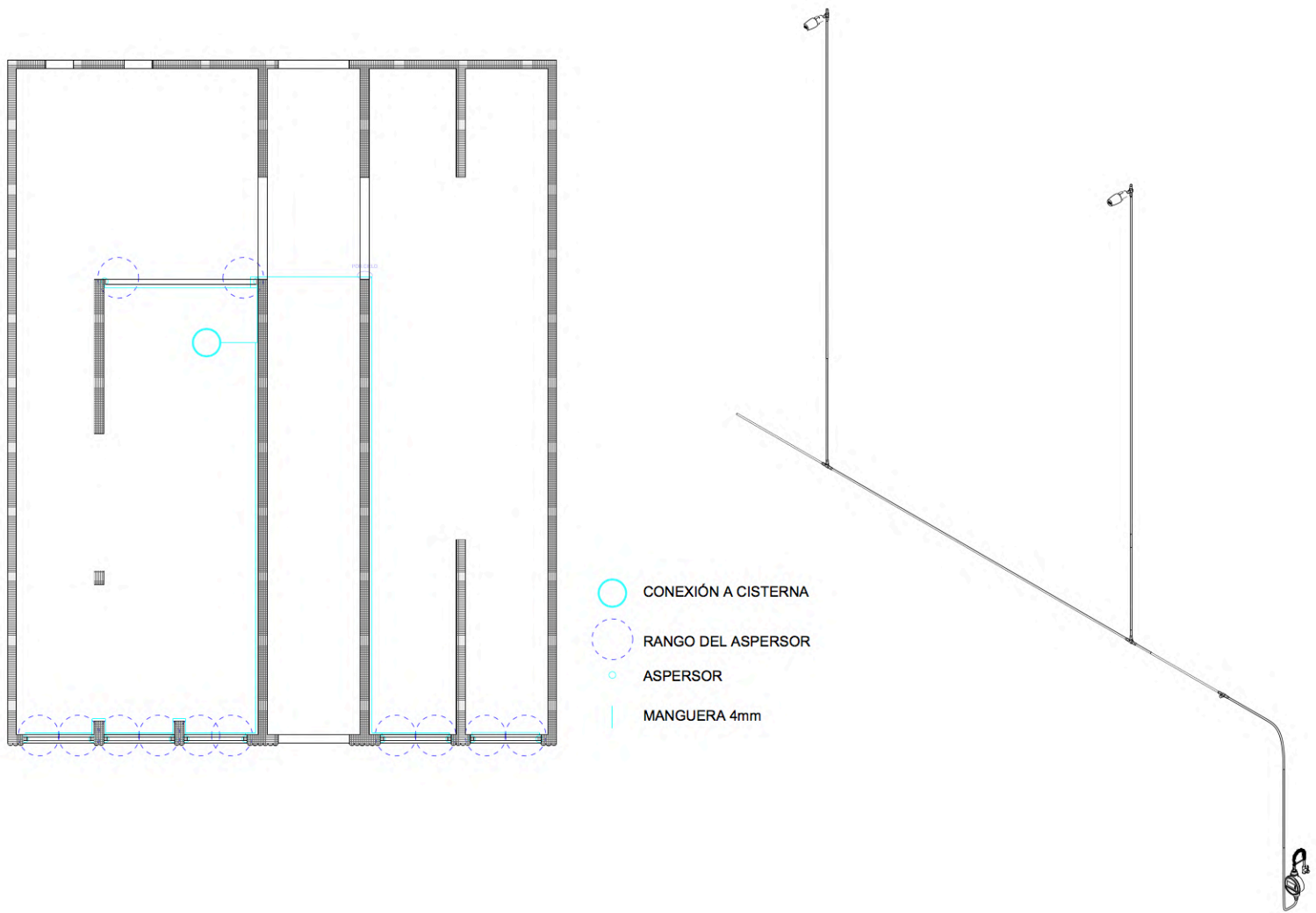


Figura 4.27: Prótesis 02, instalaciones de aspersores y detalle.

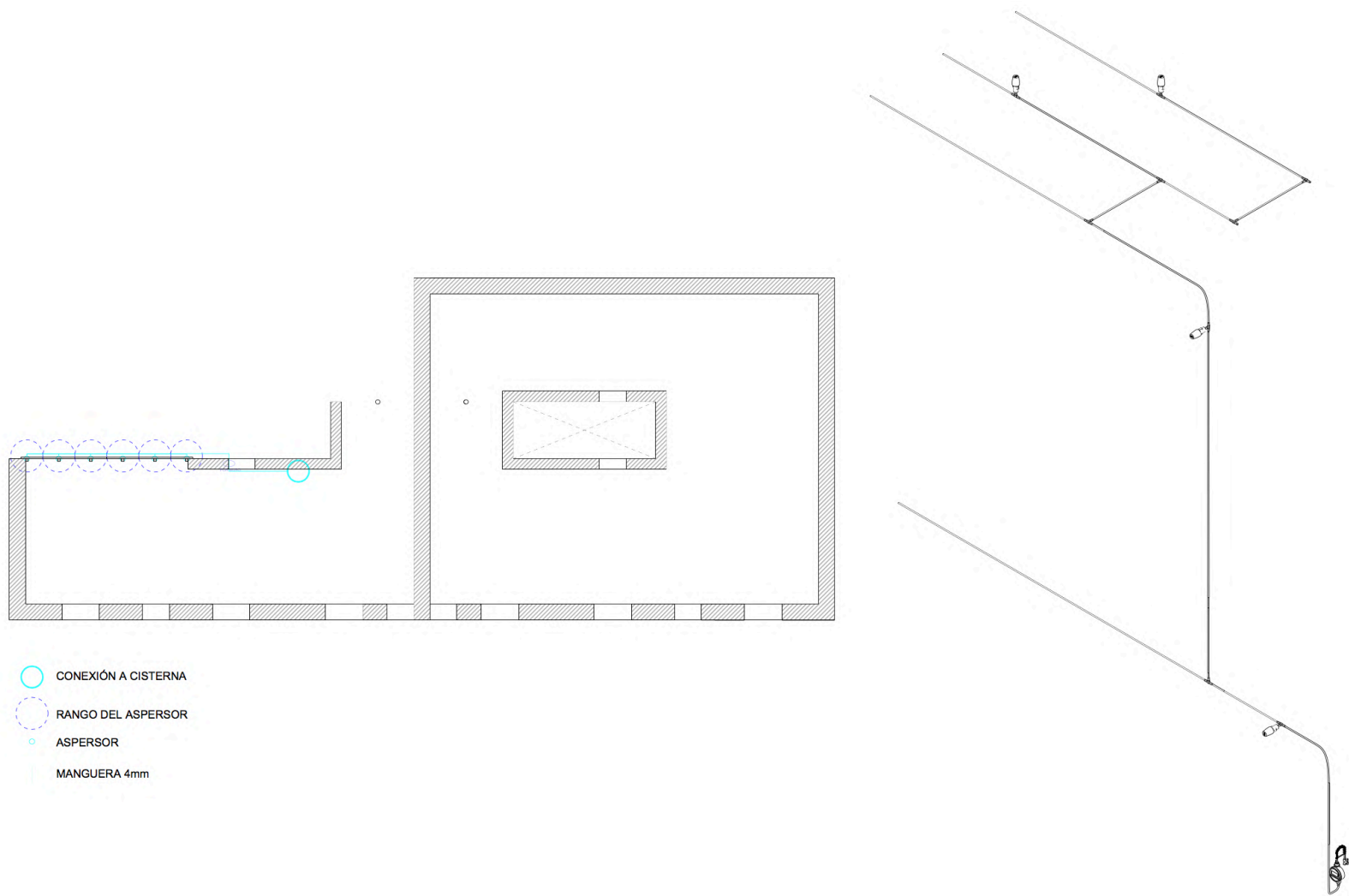


Figura 4.28: Prótesis 03, instalaciones de aspersores y detalle.

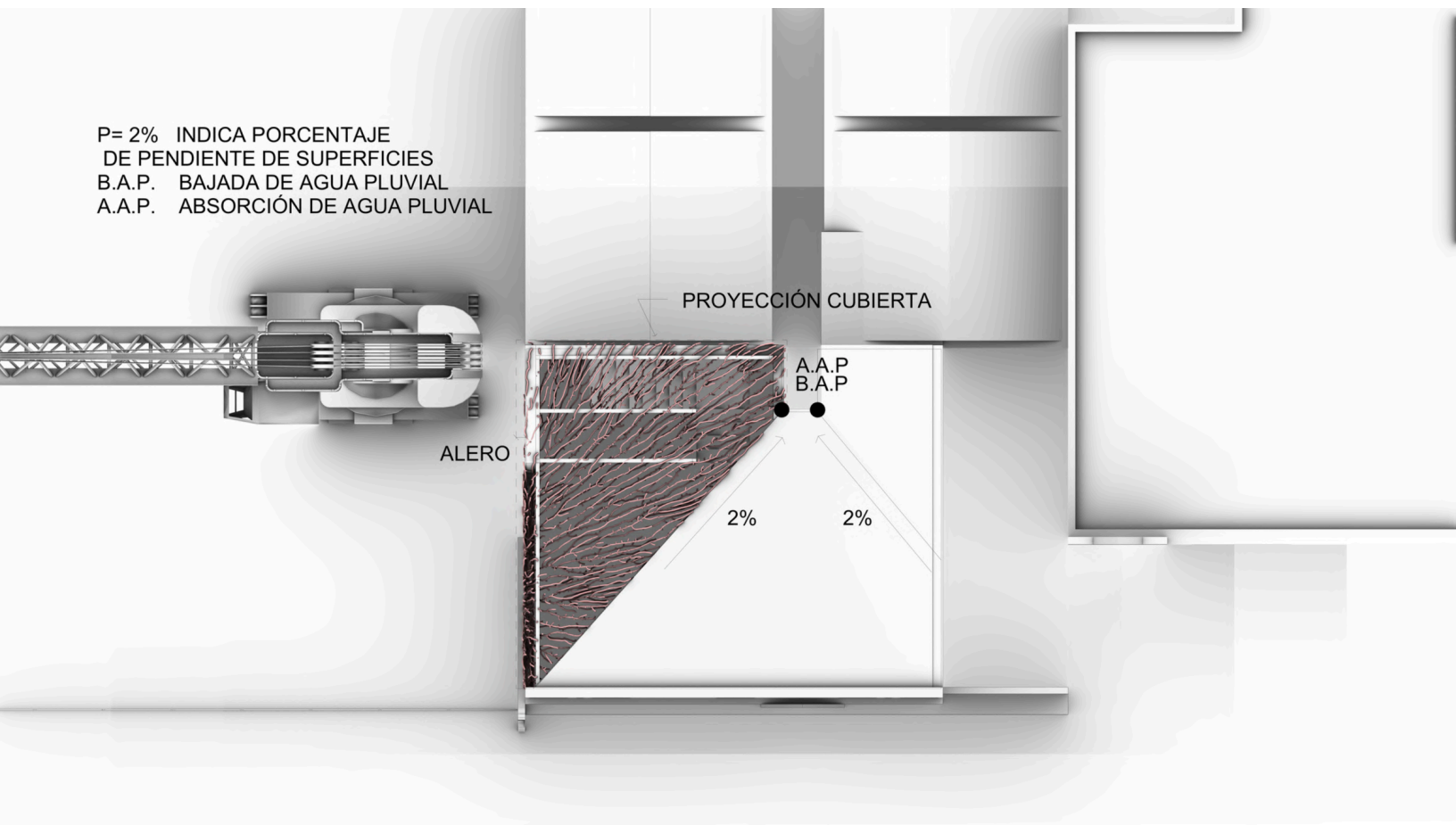


Figura 4.29: Prótesis 01, planta techumbre.

P= 2%,4% INDICA PORCENTAJE DE PENDIENTE DE SUPERFICIES
B.A.P. BAJADA DE AGUA PLUVIAL
A.A.P. ABSORCIÓN DE AGUA PLUVIAL

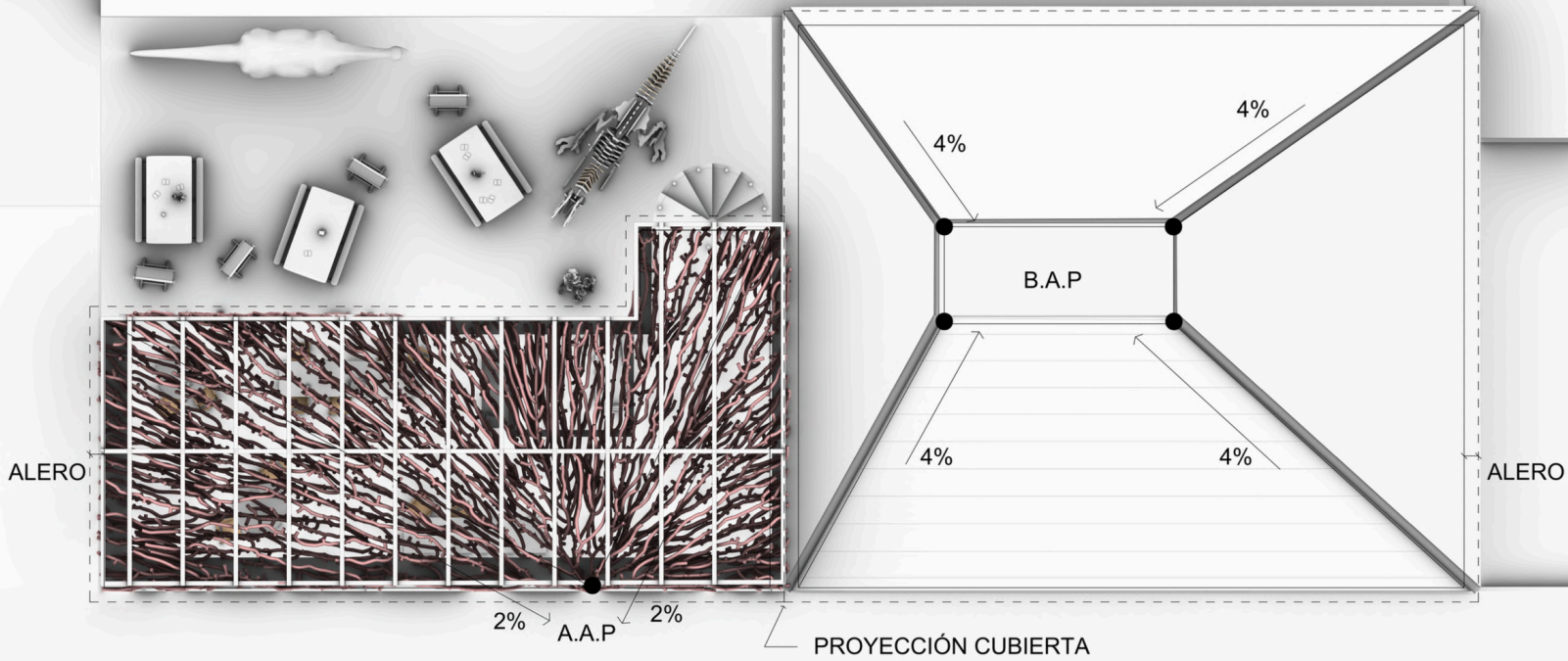


Figura 4.30: Prótesis 03, planta techumbre.

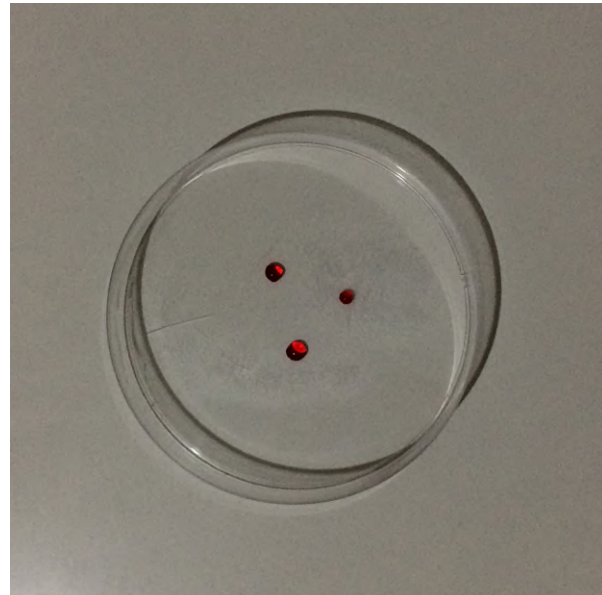
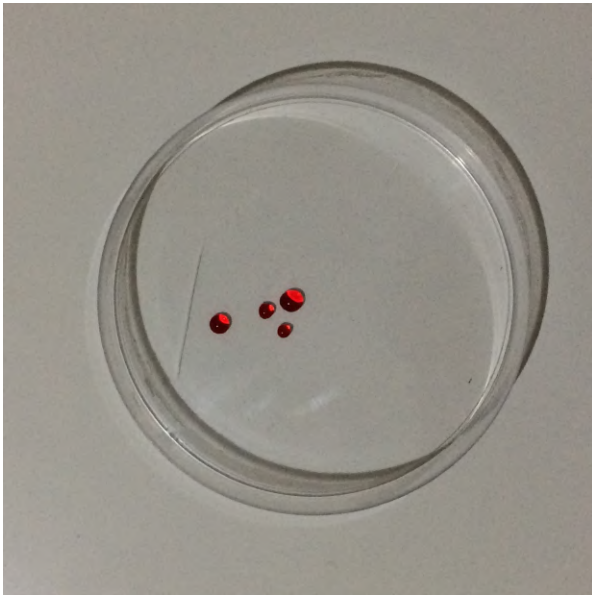


Figura 4.31: Células (plastos) de Rhodophyta. Algas rojas cuya característica primordial es que son organismos muy antiguos, capaces de sobrevivir con pocos recursos. Estos plastos, al ser añadidos al hidro gel base, conforman un bioplastico con características de fluido no newtoniano, es decir, similar a geles, pegamentos y sangre.

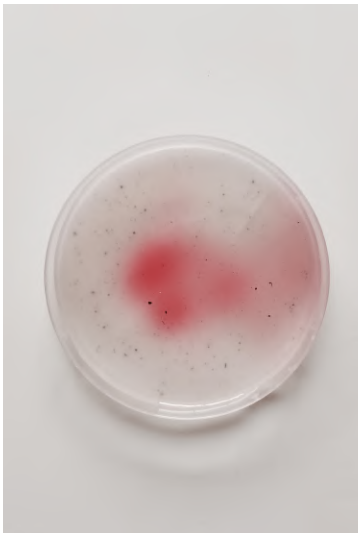


Figura 4.32: Hidro gel en carbonato de calcio y polisacrido. Los plastos mas el hidro gel, generan un componente que al estar en contacto con el ambiente forma un tejido similar a la piel y los músculos, teniendo un nivel de rigidez mayor al anterior (fluido) y poder tomar variadas formas según las normales de dirección.



Figura 4.33: Generación de patrones en base a las normales. Simulación de posibles formas de “relleno” que el material pudiese realizar en base a la falta de ciertos componentes arquitectónicos en las estructuras.

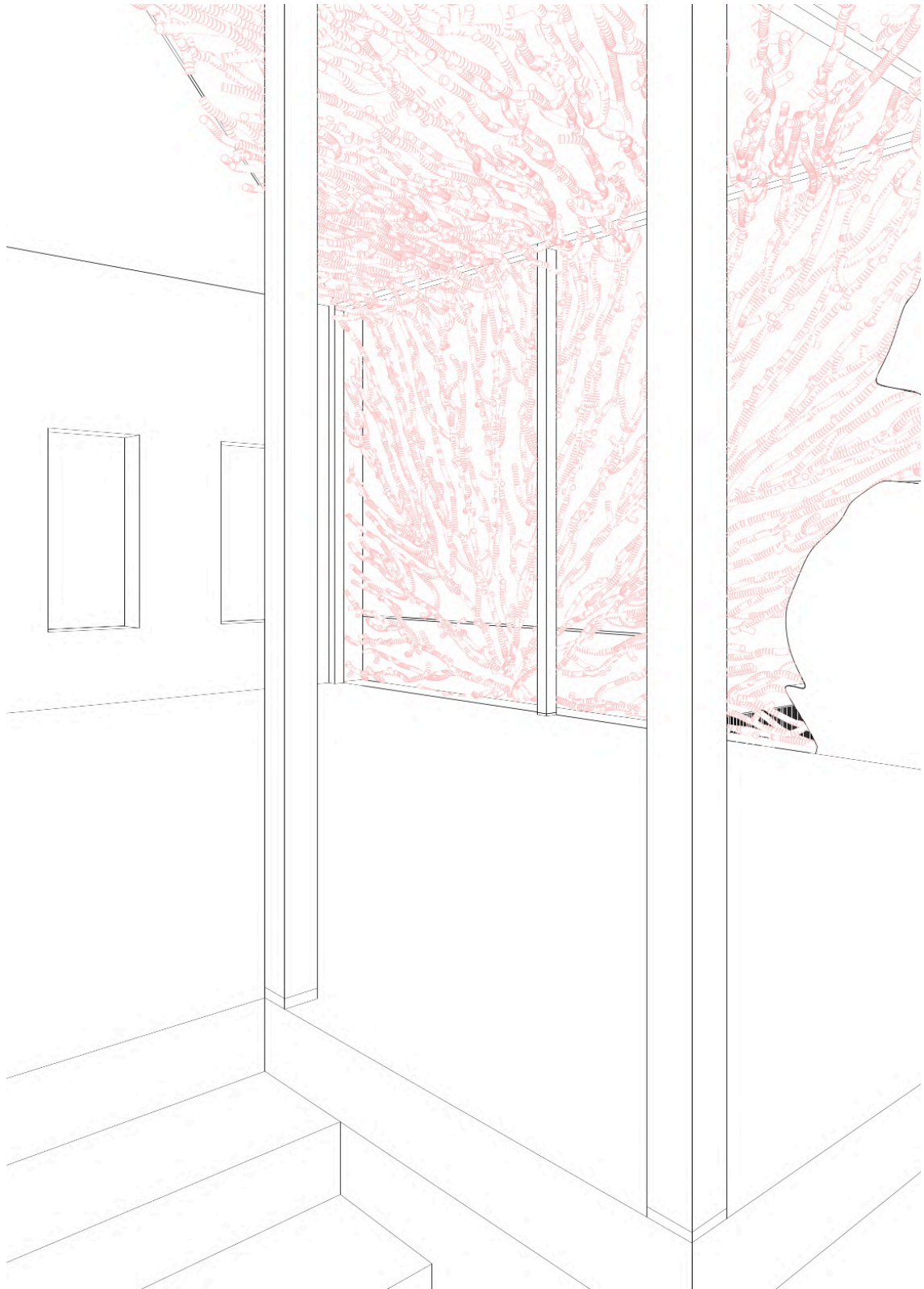


Figura 4.34: Escenario prótesis 01

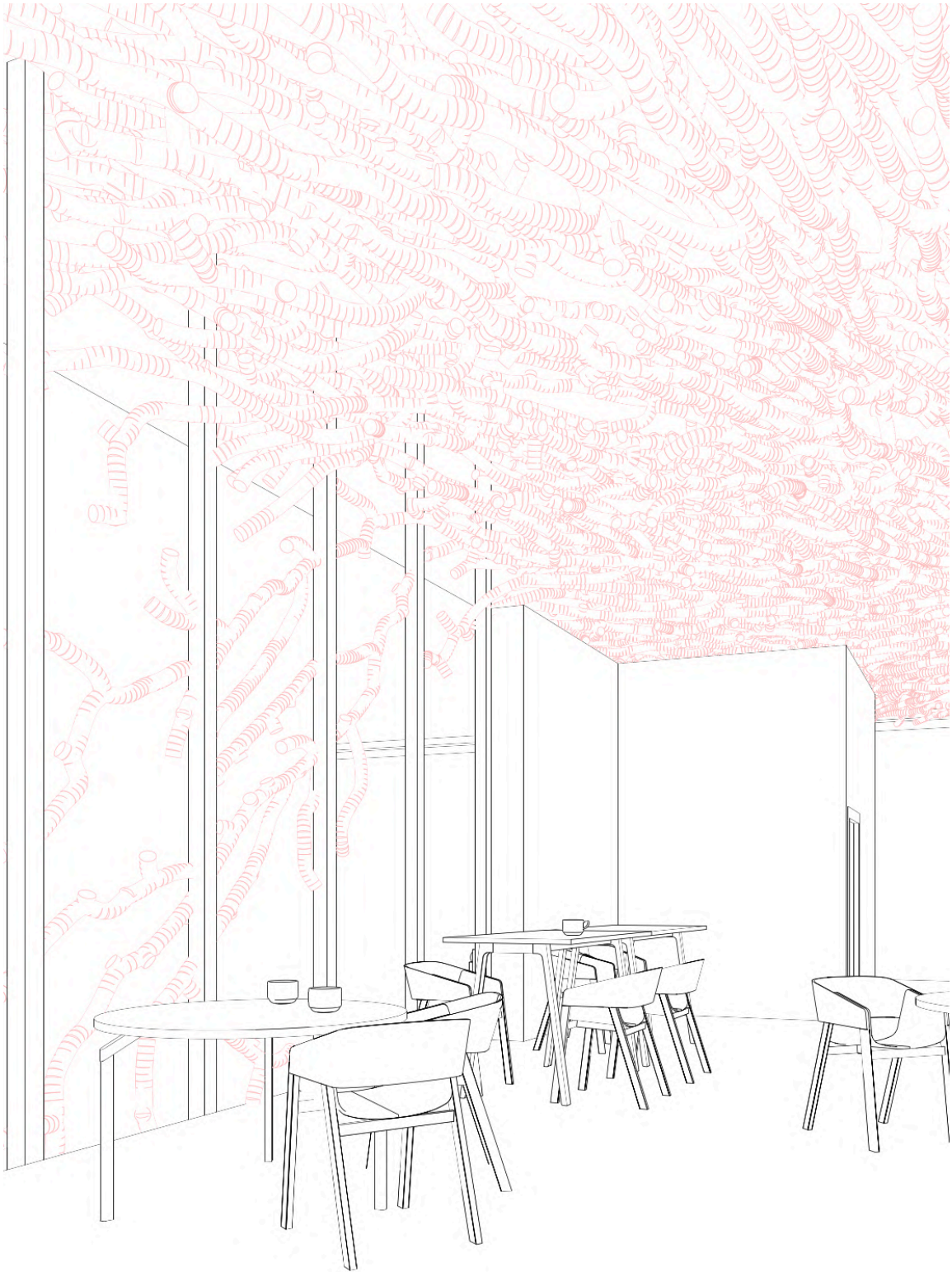


Figura 4.35: Escenario prótesis 03

Added, L., Paz, S., and Weiner, S., (2003) *Taking advantage of disorder: amorphous calcium carbonate and its roles in biomineralization*, *Advanced materials*

Addington, D. And Schodek, D., (2005) *Smart materials and new technologies: for the architecture and design professions*

Amos, M., (2005) *Theoretical and experimental DNA computation*

Antonelli, P., (1995) *Mutant materials in contemporary design*

Architects., F.O. and of Contemporary Arts, I., (2004) *Phylogenesis*

Bar-Cohen, Y., (2006) *Biomimetics: biologically inspired technologies*

Bergson, H., (1984) *Creative evolutions*

Bettum, J., (2002) *Skin deep, polymer composite materials in architecture*

Biswas, A., Shapiro, V., Tsukanov, I., (2004) *Heterogeneous material modeling with distance fields*

Bockenbauer, H-J., Bongartz, D., (2007) *Algorithmic aspects of bioinformatics*

Bonderer, L., Stuart, A., Gauckler, L., (2008) *Bioinspired Design and Assembly of Platelet Reinforced Polymer Films*

Brauer, W., Ehrig, H., Karhumäki, J., (2002) *Formal and Natural Computing: Essays Dedicated to Grzegorz Rozenberg*

Brebbia, C. A., Collins, M. W., (2004) *Design and nature II: comparing design in nature with science and engineering*

Burry, J., (2005) *Dynamical structural modeling: A collaborative design exploration*

Chandru, V., Manohar, S., (1995) *Voxel-based modeling for layered manufacturing*

Ciobanu, G., Rozenberg, G., (2004) *Modelling in molecular biology*

Coleey, D. A., (1999) *An introduction to genetic algorithms for scientists and engineers*

De Castro, L. N., (2006) *Fundamentals of natural computing: basic concepts, algorithms, and applications*

Ehrenfeucht, A., (2004) *Computation in living cells: gene assembly in ciliates*

Fernandez, J., (2006) *Material architecture: emergent materials for innovative buildings and ecological construction*

- Forbes, N., (2004) *Imitation of life: how biology is inspiring computing*
- Gibson, L., (2005) *Biomechanics of cellular solids*
- Gibson, L., (1995) *The mechanical properties of natural materials. II. Microstructures for mechanical efficiency*
- Hensel, M., Menges, A., (2006) *Morpho-ecologies*
- Hensel, M., Menges, A., (2006) *Techniques and technologies in morphogenetic design*
- Knowles, J., Carne, D., (2008) *Multiobjective problem solving from nature: from concepts to applications*
- Kumar, V., Dutta, D., (1998) *An approach to modeling & representation of heterogeneous objects*
- Lynn, G., (1999) *Animate form*
- Malawi, A., (2005) *Performance simulations: research and tools*
- Mitchell, M., Inc., B., (1998) *An introduction to genetic algorithms*
- Mori, T., (2002) *Inmaterial/ultramaterial : Architecture, design and materials*
- Morrison, R. W., (2004) *Designing evolutionary algorithms for dynamic environments*
- Neville, A., (1993) *Biology of fibrous composites: development beyond the cell membrane*
- Ortiz, C., Boyce, M., (2008) *Bioinspired structural materials*
- Otto, F., Rasch, B., (1995) *Finding form: towards an architecture of the minimal*
- Oxman, N., (2010) *Material-based design computation*
- Parisi, L., (2013) *Contagious architecture: computation, aesthetics, and space*
- Pelcé, P., (2004) *New visions on form and growth: fingered growth, dendrites, and flames*
- Price, K., (2005) *Differential evolution: a practical approach to global optimization*
- Ray, T., (1994) *An evolutionary approach to synthetic biology*
- Sekanina, L., (2004) *Evolvable components: from theory to hardware implementations*
- Shea, K., A. R., Gourtovaia, M., (2003) *Towards integrated performance-based generative design tools*
- Sischka, J., Hensel, M., Menges, A., (2004) *Manufacturing complexity*

Siu, Y., Tan, S., (2002) *Source-based heterogeneous solid modeling*

Spears, W. M., (2000) *Evolutionary algorithms: the role of mutation and recombination*

Tedeschi, A., (2014) *AAD_ Algorithms-aided design*

Thomas, K. L., (2007) *MateriL Mtters: architecture and material practice*

Topping, B. H. V., (2000) *Computational techniques for materials, composites and composite structures*

Vincent, J., (1990) *Structural biomaterials*

Wang, L., Song, J., Ortiz, C., Boyce, M., (2009) *Anisotropic design of multilayered biological exoskeleton*

Zoltan-Gabor, B., B CIL, C., (2008) *Object polyjet, New rapid prototyping technology*

ANTECEDENTES ACADÉMICOS

- 2010-2012 Odontología, Universidad San Sebastian, Concepcion, Chile.
- 2013 Taller I Universidad del Desarrollo, Concepcion, Chile
Profesores: Bugueño, Yanko. Galleguillos, Valentina. Massarini, Piero.
Proyectos: Materias primas, elementos orgánicos.
- 2014 Taller II Universidad del Desarrollo, Concepcion, Chile
Profesores: Loosli, Julian. Pastorelli, Giuliano.
Proyectos: Entornos geográficos, dunas, humedales
- 2015 Taller III Korea University, Seúl, Corea del sur
Profesores: Dacarro, Fabio. Lee, JaeWoo
Proyectos: Elementos discretos en arquitectura.
- Taller IV Korea University, Seúl, Corea del sur
Profesores: Roh, SukJoon. Song, Ryul.
Proyectos: Generación de algoritmos arquitectónicos.
- 2016 Taller V Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile
Profesores: Lobos, Víctor. Avsolomovich, Matías.
Proyectos: Simbiosis urbana.
- Taller VI Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile
Profesores: Lozano, Pilar. Urdangarín, Ernesto.
Proyectos: Materiales vegetales en el urbanismo.
- 2017 Taller VII Tecnológico de Monterrey, Ciudad de Mexico, Mexico.
Profesores: Gutierrez, Rubén. Luna, Francisco.
Proyectos: Diseño parametrico en edificios de altura.
- 2018 Curso Architectural Association, Atenas, Grecia.
Tutores: Kallegias, Alexandros. Efstathiou, Yannis. Mairopoulos, Dimitris.
Proyecto: Técnicas de prototipado y diseño computacional.
- 2018 Curso Universidad Católica, Santiago, Chile
Tutores: Laboratorio de Biofabricación FADEU
Proyecto: Biomateriales
- 2018 Curso The Bartlett,UCL, Dubai, Emiratos Arabes Unidos.
Tutores: Ruiz, Javier.
Proyecto: Algoritmos de crecimiento orgánico.