

Investigación del rastreo de nociones de la arquitectura genética, el uso de los materiales, y sus horizontes posibles.



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Colombia

Narom Jouhansen Malagón Morales

Pontificia Universidad Javeriana

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Tabla de ilustraciones .....   | 3  |
| <b>Resumen</b> .....   | 7  |
| Investigación del rastreo de nociones de la arquitectura genética, el uso de los materiales, y sus horizontes posibles. .... | 9  |
| Motivación y Contexto de la Investigación .....  | 10 |
| Objetivo de la Investigación .....   | 12 |
| Desarrollo.....  | 12 |
| Metodologías.....  | 14 |
| Estado del arte.....   | 15 |
| Resumen general de libros analizados .....   | 24 |
| Conclusión del estado del arte .....   | 28 |
| Depuración de datos de la base creada .....  | 30 |
| Conceptos principales .....  | 33 |
| Definiciones basadas en la base de datos.....  | 34 |
| Elaboración Catálogo de obras arquitectónicas .....  | 41 |
| Planteamiento de la experimentación empírica .....   | 47 |
| Selección del alcance .....  | 47 |
| Experimentación empírica .....   | 50 |
| Experimentación empírica, seguimiento y observación .....  | 51 |

|  |     |
|--|-----|
| Resultados de la observación .....   | 68  |
| Conclusión del uso de Micelio de Ostra .....                                   | 69  |
| Conclusión del uso de bioplásticos basados en desechos orgánicos frutales..... | 72  |
| Evaluaciones técnicas, visión preliminar .....                                 | 74  |
| Evaluaciones técnicas .....  | 74  |
| Prueba número uno: Yeso.....   | 77  |
| Prueba número dos: Cemento + agua .....  | 84  |
| Prueba número tres: Concreto.....  | 88  |
| Prueba número cuatro: Sustrato de aserrín y paja.....                          | 93  |
| Comparación entre prototipos de micelio y ladrillos prensados livianos .....   | 97  |
| Comparación precios .....  | 101 |
| Resultados comparación .....   | 104 |
| Consideraciones posteriores a las evaluaciones de resistencia .....            | 106 |
| Horizontes posibles.....   | 109 |
| Conclusiones .....   | 111 |
| Referencias.....   | 113 |

### **Tabla de ilustraciones**

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1 Selección de libros para la depuración conceptual final.....    | 23 |
| Ilustración 2 Información para la creación de definición de sistemas .....    | 35 |
| Ilustración 3 Información para la creación de definición de estructuras ..... | 37 |
| Ilustración 4 Información para la creación de definición de materiales .....  | 39 |

|   |    |
|---|----|
| ARQ. GENÉTICA. ¿INNOVACIÓN EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN?  | 4  |
| Ilustración 5 Mapa de rastreo del conocimiento .....  | 42 |
| Ilustración 6 Ladrillos de micelio de Ostra 1, Primer día: 18 de febrero.....                   | 51 |
| Ilustración 7 Bioplástico 1, Primer día: 18 de febrero .....                                    | 53 |
| Ilustración 8 Bioplástico 2, Primer día: 18 de febrero .....                                    | 54 |
| Ilustración 9 Bioplástico 3, Primer día: 18 de febrero .....                                    | 55 |
| Ilustración 10 Ladrillos de micelio, Tercer día: 21 de febrero .....                            | 56 |
| Ilustración 11 Vista general bioplásticos, Tercer día: 21 de febrero .....                      | 57 |
| Ilustración 12 Vista general ladrillos de micelio, Quinto día: 23 de febrero.....               | 58 |
| Ilustración 13 ladrillo de micelio con yeso, Sexto día: 24 de febrero.....                      | 59 |
| Ilustración 14 ladrillo de micelio con concreto, Sexto día: 24 de febrero .....                 | 60 |
| Ilustración 15 ladrillo de micelio con sustrato orgánico, Sexto día: 24 de febrero .....        | 61 |
| Ilustración 16 ladrillo de micelio con únicamente cemento y agua, Sexto día: 24 de febrero..... | 62 |
| Ilustración 17 ladrillo de micelio con yeso, 13er día: 02 de marzo .....                        | 63 |
| Ilustración 18 ladrillo de micelio con concreto, 13er día: 02 de marzo.....                     | 64 |
| Ilustración 19 ladrillo de micelio con sustrato orgánico, 13er día: 02 de marzo .....           | 65 |
| Ilustración 20 ladrillo de micelio con únicamente cemento y agua, 13er día: 02 de marzo ....    | 66 |
| Ilustración 21 ladrillos de micelio con sustrato, 13er día: 02 de marzo .....                   | 67 |
| Ilustración 22 ladrillos de micelio con sustrato, finalización observación .....                | 69 |
| Ilustración 23 bioplásticos de residuos orgánicos, finalización observación .....               | 72 |
| Ilustración 24 Modelo de prensa de compresión Instron 3369 .....                                | 76 |
| Ilustración 25 Ladrillo de micelio con yeso en la prensa.....                                   | 79 |
| Ilustración 26 gráfico de compresión, resultados específicos del yeso .....                     | 81 |
| Ilustración 27 Deformación prototipo durante ensayo.....  | 82 |
| Ilustración 28 Prototipo post ensayo.....   | 83 |
| Ilustración 29 Estado material final .....  | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 30 gráfico de compresión, resultados específicos del cemento + agua .....      | 85  |
| Ilustración 31 Ladrillo de micelio con cemento y agua en la prensa.....                    | 86  |
| Ilustración 32 Deformación prototipo durante ensayo (finalización).....                    | 87  |
| Ilustración 33 gráfico de compresión, resultados específicos del concreto .....            | 90  |
| Ilustración 34 Ladrillo de micelio con concreto en la prensa .....                         | 91  |
| Ilustración 35 Rupturas del concreto en su esfuerzo máximo (finalización ensayo).....      | 92  |
| Ilustración 36 gráfico de compresión, resultados específicos del sustrato .....            | 95  |
| Ilustración 37 Ladrillos de micelio con sustrato en prensa.....                            | 96  |
| Ilustración 38 Ladrillos de micelio con sustrato en prensa deformados (finalización) ..... | 97  |
| Ilustración 39 Ejemplo gráfico de ensayo de compresión para un ladrillo prensado liviano   | 101 |



### **Resumen**

Esta investigación se centra en la exploración del concepto de arquitectura genética, un tema poco abordado dentro de la práctica arquitectónica. Surgió como una continuación de una investigación previa relacionada con la memética, específicamente el estudio de los memes como agentes propagadores de cultura y constructores de la psique humana, basado en el libro "El Gen Egoísta" de Richard Dawkins. Al tratarse de un concepto genético, se emprendió un estudio de las bases de la genética, basándose en el genotipo y el fenotipo, para su aplicación en arquitectura, así como una evaluación del estado actual del arte en ese tema en particular.

En esta tesis, se exploran los conceptos de biomimética, biomímesis y arquitectura genética, acompañados de una exhaustiva revisión bibliográfica para comprender de manera efectiva esta vanguardia arquitectónica. Esto incluyó el análisis de bases de datos globales sobre biología, arquitectura y genética combinadas, así como la creación de catálogos personalizados para identificar las relaciones actuales entre arquitectura y genética, ahondados en bases de datos recopiladas y la creación de distintas propias para poder crear una noción acertada acerca del concepto de arquitectura genética.

Esta investigación condujo, gracias a las bases de datos de creación propia, a la identificación de los conceptos principales de materialidad, estructura y sistemas, los cuales fueron refinados mediante la revisión bibliográfica definiciones creadas con el propósito de aferrar la arquitectura genética a un precepto más normalizado en la arquitectura genética.

Estos conceptos proporcionaron la base para experimentaciones empíricas en el campo de la arquitectura genética, incluyendo la exploración de nuevas posibilidades y aplicaciones a través de observaciones prácticas con micelio de hongo y bioplásticos.

Se plantearon diversas pruebas y experimentos para generar conocimiento técnico en la construcción y arquitectura, evaluando su efectividad dentro del contexto de la arquitectura genética. Esta investigación se enfoca en evidenciar la subvaloración de estos temas en la práctica arquitectónica, con el propósito de generar una crítica constructiva hacia la academia y abrir nuevas posibilidades para la aplicación de estos conceptos en el futuro, particularmente en el ámbito de la arquitectura genética en la Pontificia Universidad Javeriana.

Así mismo, se busca ampliar los horizontes desde os objetivos personales propios, explorando posibles vías de tutoría o profesionalización en este campo emergente. Esta investigación se materializará en un artículo que recopile todos los datos encontrados, basado en un texto principal que documente los procesos mencionados anteriormente, así como las técnicas de laboratorio utilizadas en la facultad de ingeniería y las observaciones derivadas de la experimentación con materiales en el hogar.

*Palabras clave:* Arquitectura genética, Manipulación genética, Diseño arquitectónico, Sostenibilidad, Biomimética, Memética, Relación entre genética y arquitectura, Brecha de conocimiento, Rastreo conceptual, Innovación en la construcción, Praxis arquitectónica, Impacto ambiental, Vanguardia en arquitectura, Memoria de trabajo, Biología y arquitectura.

**Investigación del rastreo de nociones de la arquitectura genética, el uso de los materiales, y sus horizontes posibles.**

La arquitectura contemporánea, en su búsqueda constante de innovación y sostenibilidad, ha sido testigo de una revolución conceptual en las últimas décadas. En este contexto de exploración de nuevos horizontes, emerge un campo de estudio intrigante que desafía las convenciones tradicionales y lleva la arquitectura hacia territorios desconocidos: la arquitectura genética.

La arquitectura genética, definida como la integración de la manipulación genética en el diseño y la construcción de entornos arquitectónicos, representa un enfoque radicalmente diferente a la hora de concebir y materializar espacios habitables, en este están considerados todos los reinos naturales en los cuáles se trasciende la acción de usar los materiales de forma directa, a una enfocada en sus composiciones naturales más arraigadas a su propia concepción. A diferencia de la biomimética, que se inspira en la naturaleza para informar el diseño arquitectónico, la arquitectura genética va más allá, sumergiéndose en la manipulación consciente de los genes, para crear estructuras innovadoras y sostenibles.

Este enfoque, que encuentra sus raíces en la convergencia entre la biología y la arquitectura, plantea interrogantes y horizontes sobre el futuro de la construcción. ¿Cómo pueden los avances en la manipulación genética informar y transformar el diseño arquitectónico? ¿Qué implicaciones éticas, ambientales y prácticas conlleva la integración de la genética en la arquitectura?

El propósito de este estudio es explorar en profundidad el concepto de arquitectura genética y su potencial revolucionario en el diseño y la construcción de entornos arquitectónicos. A través de una investigación exhaustiva, se busca comprender cómo la manipulación genética puede abrir nuevas posibilidades en la creación de espacios habitables innovadores y sostenibles, analizando el caso en un reino natural, el fungi, el cual tiene el potencial de poder generar un impacto significativo en el pensar la arquitectura, en los estados preliminares de una gran investigación, en la que los horizontes inician con esta exploración. Además, se analiza el impacto de la arquitectura genética en la profesión arquitectónica y se discutirá su relevancia para el futuro de la disciplina.

### **Motivación y Contexto de la Investigación**

La génesis de este estudio se remonta a un interés inicial en la aplicación de la memética en el ámbito arquitectónico, entendidos los memes como agentes productores de información, los cuales propagan mediante la psique humana la cultura, la moral y el conocimiento mediante la imitación y la observación, con la premisa de que los arquitectos pueden moldear las percepciones y experiencias individuales mediante una manipulación consciente de la arquitectura, en la que se integraban, de forma hipotética, la manipulación genética como un posible horizonte en la investigación de la tesis. Esta hipótesis, fundamentada en la obra seminal “El Gen Egoísta” (Dawkins 1976), planteó la posibilidad de influir en la evolución cultural y social a través del diseño arquitectónico, con la intención de integrarlo en un sentido más acérrimo al concepto de *Tekné* bajo el lente de la arquitectura.

Sin embargo, conforme avanzaba en la investigación y bajo la guía de mis guías, mentores y compañeros, se encontró la necesidad de profundizar en los fundamentos subyacentes de la

relación entre la genética y la arquitectura, a sabiendas de que el concepto de “memes” inician su existencia cómo un término biológico/genético. Esta evolución conceptual condujo a un redireccionamiento de la investigación hacia la exploración de la arquitectura genética, un campo emergente que busca integrar la manipulación genética en el diseño y la construcción de entornos arquitectónicos.

Además de la importancia de este trabajo como una contribución académica significativa, también aspira a tener un impacto práctico en la profesión. Como posible futuro profesor, mi objetivo es enfocarme en el ámbito de la arquitectura genética, un campo que ha sido subestimado dentro de la práctica de la arquitectura. Más allá de realizar un trabajo de grado integral que explore aspectos relevantes para el futuro de la arquitectura, mi aspiración es que este conocimiento se convierta en una vanguardia dentro de la praxis arquitectónica, inspirando nuevas formas de pensar y diseñar entornos habitables para las generaciones futuras.

Además, se agrega a la motivación para esta investigación la identificación de una brecha en el conocimiento existente en el campo de la arquitectura una vez se redirigió el planteamiento inicial, el cuál de antemano, ya tenía una implicación subvalorada desde la teoría. A pesar de que la memética, la biomimética y la bioinspiración han sido objeto de estudio en la arquitectura, se observó una falta de exploración sistemática en el uso de organismos vivos, contemplados de forma conocida en los reinos naturales, como componentes fundamentales en el diseño y la construcción arquitectónica. Este vacío en el conocimiento brindó la oportunidad de indagar en un territorio aún poco explorado y potencialmente revolucionario desde la teoría hasta la posible práctica y construcción.

## **Objetivo de la Investigación**

El objetivo de esta investigación es examinar el impacto potencial de la manipulación genética en la concepción y construcción de entornos arquitectónicos innovadores y sostenibles, desde su estudio teórico hasta el práctico. Este estudio se enmarca en la búsqueda de nuevas fronteras en la arquitectura, que existen desde la experimentación, motivada por la exploración de cómo los avances en genética podrían ampliar las posibilidades de diseño de espacios habitables. Se pretende explorar cómo la integración de conceptos generados desde la genética puede enriquecer la práctica arquitectónica, abriendo nuevas vías de pensamiento y creación que complementen, pero no reemplacen, las tradiciones y métodos modernos. El objetivo final es desarrollar un artículo de investigación que contribuya al cuerpo de conocimiento en este campo y que pueda, idealmente, ser publicado en una revista especializada.

## **Desarrollo**

La arquitectura contemporánea se enfrenta a desafíos cada vez más complejos, desde la sostenibilidad hasta la innovación estructural. En este contexto, la noción de arquitectura genética ha surgido como un campo de estudio intrigante que busca explorar nuevas fronteras donde la biología y la construcción convergen. Este estudio se propone investigar a fondo el estado actual de la arquitectura genética, examinando cómo la manipulación genética puede influir en el diseño y la construcción de entornos arquitectónicos. La pregunta central que guía esta investigación es: ¿Cómo puede la manipulación genética informar y transformar el diseño y la construcción de entornos arquitectónicos innovadores y sostenibles?, desde el

marco de la visión arquitectónica, principalmente enfocado en la construcción y diseño de espacios pensados desde el enfoque genético, cómo las posibilidades que se puedan obtener desde lo posible estructuralmente y los acabados arquitectónicos particularmente

El desarrollo de esta tesis se divide en varias secciones clave. En primer lugar, se explora la evolución de la arquitectura genética, desde sus raíces conceptuales hasta las corrientes contemporáneas. Se examina cómo la manipulación genética se traduce en propiedades y comportamientos específicos de los materiales utilizados en la construcción, destacando la importancia de los materiales como elemento central en la materialización de la arquitectura genética, hipótesis es puesta a prueba en esta investigación desde la construcción de bases de datos, cómo de la experimentación.

El análisis de la arquitectura genética se presenta como una herramienta esencial para desentrañar sus complejidades, retos y posibilidades. Al examinar las dimensiones analíticas que van desde el análisis genético de los materiales arquitectónicos hasta el análisis de impacto espacial y ambiental de las intervenciones genéticas, desde el sentido sostenible y de habitabilidad que estos componen.

Finalmente, se detallan las acciones concretas tomadas durante la investigación, incluyendo la revisión extensiva de literatura, la identificación de patrones y tendencias, la experimentación con biomateriales genéticamente modificados (específicamente y cómo mencionado con anterioridad, con principal enfoque en el reino fungi, del cuál han salido la mayoría de aproximaciones actuales desde la experimentación en todo el mundo, para esta investigación se centran los esfuerzos en el micelio de hongo, específicamente de Ostra, *Pleurotus Ostreatus*, un hongo de uso para el consumo humano, común para su cultivo) y la

integración de datos a través de bases de datos especializadas, para poder llegar a evaluaciones que determinen su uso real en la arquitectura.

### **Metodologías.**

La metodología principal utilizada fue el análisis de contenido, con el objetivo de depurar datos y contextualizar el estado del arte en el concepto de arquitectura genética. Esta metodología se inició con un exhaustivo análisis del estado del arte actual sobre la mimética, biomimesis, y la biología relacionada en la arquitectura, que consistió en la creación de una base de datos para comprender la concepción y el concepto actual de la arquitectura genética en el contexto netamente arquitectónico. Se llevó a cabo una búsqueda mediante términos booleanos, centrándose en los conceptos principales de arquitectura, biología, sostenibilidad y genética, inspirados en el trabajo principal y la influencia del libro de Richard Dawkins.

Inicialmente, se rastrearon 353 libros relacionados con la biología y la arquitectura, pero se encontró que muchos de ellos tenían una integración limitada de ambos conceptos. Por lo tanto, se procedió a depurar manualmente estos insumos de investigación (considerando únicamente aquellos que integraran los conceptos de forma integral y no únicamente uno o dos, esto mediante la plataforma *Nvivo* y *Tableau*), seleccionando únicamente aquellos considerados relevantes para la intersección entre la biología y la arquitectura, lo que resultó en la identificación de aproximadamente cien libros pertinentes. Posteriormente, se realizó una depuración de datos utilizando diversos *softwares* (cómo ya mencionados) de medición para identificar los conceptos más frecuentes dentro de estos libros, realizando un ejercicio de identificación de frecuencias de estos mismos, para de esta forma identificar las palabras más utilizadas en estos libros, y de esta forma lograr hacer consideraciones frente a la importancia conceptual, o de criterio de diseño que estos posean.

Este proceso implicó una comparación minuciosa entre los conceptos iniciales identificados durante la lectura consciente de varios libros (de manera superficial para lograr una noción general de los temas de los mismos, y así, poder tener de forma preliminar una noción de los posibles conceptos y criterios), y los temas principales abordados en la arquitectura genética. El objetivo era rastrear las nociones actuales en este campo y utilizar los conceptos principales para elaborar una definición propia basada en la investigación realizada. Para llevar a cabo la investigación de manera más precisa y eficiente, se decidió seleccionar el 10% de los libros (mencionados al finalizar el análisis de las tablas de categorización de la base de datos) para identificar los conceptos relevantes y depurarlos utilizando diversos softwares especializados. Esta estrategia permitió una búsqueda más focalizada y pertinente de los conceptos clave que se utilizarían en el estudio.

## Estado del arte

Tabla 1

Tabla estado del arte 1

| AUTOR   | LANGUAGUE | COUNTRY   | GENDER | FIRST | TITLE   | SUBJECT   | TYPE            |
|---|-----------|-----------|--------|-------|---|---|-----------------|
| <a href="#">István Mészáros</a>                             | ENGLISH   | ITALY     | M      | 2013  | Architecture Follows Nature-Biomimetic Principles For Innovative Design                           | Influence of nature in the design   | ELECTRONIC BOOK |
| <a href="#">Jon Knippers, Kiver G. Nickel, Thomas Speck</a> | ENGLISH   | GERMANY   | M      | 2016  | <a href="#">Biomimetic Research for Architecture and Building Construction</a>                    | Biological of nature and how genetic development, evolution, biomimetics and engineering relates to architecture  | ELECTRONIC BOOK |
| <a href="#">Dennis Dolles</a>                               | ENGLISH   | SPAIN     | M      | 2006  | Toward Living Buildings: Biomimetic & Genetic Architectures                                       | Living buildings  | BOOK            |
| <a href="#">Dennis Dolles</a>                               | ENGLISH   | SPAIN     | M      | 2007  | Digital-biomatic Architecture   | Evolution of biomimetic architecture  | BOOK/ PAPERBACK |
| <a href="#">Dennis Dolles</a>                               | ENGLISH   | SPAIN     | M      | 2006  | The Pargolin's Guide to Biomimetics and Digital Architecture                                      | manipulated comic book to see how ideas about the environment, design, digital and natural growth, and architecture   | MANGA/PAPERBACK |
| <a href="#">Yoseph Bar-Cohen</a>                            | ENGLISH   | ISRAEL    | M      | 2005  | Biomimetics: Biologically Inspired Technologies   | combining engineering applications to biomimetic principles in a more holistic way, the manipulation of techniques and technologies   | ELECTRONIC BOOK |
| <a href="#">Jon Knippers, Thomas Speck, Ulrich Schubert</a> | ENGLISH   | GERMANY   | M      | 2013  | Biomimetics for Architecture: Learning from Nature  | The analysis of biological constructions TO lead to outstanding technical solutions THAT can also inspire the design of architecture.   | ELECTRONIC BOOK |
| <a href="#">Neil Paschak</a>                                | ENGLISH   | CANADA    | M      | 2006  | An Exploration Into Biomimicry and Its Application in Digital & Parametric (Architectural) Design | Three design concepts are produced that utilize evolutionary natural principles of design within a digital biomimetic environment   | PAPER           |
| <a href="#">Göran Pahl, Werner Nicklisch</a>                | ENGLISH   | GERMANY   | M      | 2015  | Biomimetics for Architecture & Design: Nature - Analogies - Technology                            | application of biomimetic principles in architecture and engineering design   | ELECTRONIC BOOK |
| <a href="#">Christopher Eastman</a>                         | ENGLISH   | US/FRANCE | M      | 2013  | Bio-Mimetic Approaches in Management Science  | The way that simulates nature's way of solving complex problems into science and design   | ELECTRONIC BOOK |
| <a href="#">Juliana M. Soares, AAB</a>                      | SPANISH   | SPAIN     | W/M    | 2012  | Biomimetic Innovaciones inspiradas por la naturaleza  | Nature as the model for solving problems in our modern society  | BOOK/ PAPERBACK |
| <a href="#">Derek Clement-Croome</a>                        | ENGLISH   | UK        | M      | 2020  | Designing Buildings for People: Sustainable Livable Architecture                                  | Learning biomimicry for people: explore how we can learn from buildings of the past, vascular architecture and the natural world around us, while still benefiting the opportunities presented by technology.                     | ELECTRONIC BOOK |
| <a href="#">Gülten Kokturk, Tuha Diden Akın</a>             | ENGLISH   | TURKEY    | W/M    | 2018  | Interdisciplinary Expansions in Engineering and Design: With the Power of Biomimicry              | model for analysis and design of architecture based on a multidisciplinary integrated design process that extends the common morphological process in digital morpho-genetic with a typology-based ontological model. Biomimetics | BOOK            |

La tabla y las siguientes muestran la depuración de datos realizada a partir de los 100 libros seleccionados para el estudio inicial. En esta tabla, se organiza la información según el idioma en que están escritos los libros, la procedencia de los autores, la fecha de publicación inicial sobre el tema, así como un breve resumen del contenido de cada libro. Este resumen tiene como objetivo identificar la relación de los libros con la arquitectura, así como los diferentes enfoques y objetivos que abordan en relación con la arquitectura y su conexión con la biología y la genética desde diversos ámbitos de aplicación.

Tabla 2

Tabla estado del arte 2

|   |         |              |     |      |   |   |                 |
|---|---------|--------------|-----|------|---|---|-----------------|
| Christina Hellmich, Dietmar Brackner, Heinz Bodo Schmidinger, Herbert Stöckelburger, Ilse C. Gebeshuber, Petra Gruber | ENGLISH | GERMANY      | W/M | 2011 | Biomimetics - Materials, Structures and Processes<br>Examples, Ideas and Case Studies   | presents an outline of current activities in the field of biomimetics and integrates a variety of applications comprising biophysics, surface sciences, architecture and medicine   | ELECTRONIC BOOK |
| Barbara Imhof, Petra Gruber   | ENGLISH | GERMANY      | W   | 2016 | Built to Grow - Blending Architecture and Biology   | Using concepts of cellular multiplication into the concept of building and designing buildings  | ELECTRONIC BOOK |
| Ana Mira, Paul F.M.J. Vercure, Stuart P. Wilson, Tony J. Prescott   | ENGLISH | SPAIN/US     | W/M | 2015 | Biomimetic and Biohybrid Systems<br>4th International Conference, Living Machines 2015, Barcelona, Spain, July 28 - 31, 2015, Proceedings                   | constitutes the proceedings of the 4th International Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems, Living Machines 2015, held in Barcelona, Spain, in July 2015   | ELECTRONIC BOOK |
| Moham Alshobagy, Samea E. Helim   | ENGLISH | EGYPT        | M   | 2020 | Biomimetic Architecture and Its Role in Developing Sustainable, Regenerative, and Livable Cities: Global Perspectives and Approaches in the Age of COVID-19 | Biomimetic Architecture as a response for the crisis of the pandemic and the social interaction   | ELECTRONIC BOOK |
| Lutz H. Wagner, Ulrich Litke  | ENGLISH | GERMANY      | M   | 2019 | Emergence and Modularity in Life Sciences   | This book focuses on modules and emergence with self-organization in the life sciences  | ELECTRONIC BOOK |
| Xavier Marsault   | ENGLISH | FRANCE       | M   | 2011 | Eco-generative Design for Early Stages of Architecture  | breaking major difficulties of the real-time generative design in the early stages of a pre-architectural project   | ELECTRONIC BOOK |
| Christina Cogdell   | ENGLISH | US           | W   | 2016 | Toward a Living Architecture?<br>Complexity and Biology in Generative Design  | Christina Cogdell examines their claims from the standpoints of the sciences: they draw on—complex systems theory, evolutionary theory, genetics and epigenetics, and synthetic biology.  | ELECTRONIC BOOK |
| Md Nurunnabi  | ENGLISH | SAUDI ARABIA | M   | 2021 | Bioinspired and Biomimetic Materials for Drug Delivery  | Bioinspired and Biomimetic Materials for Drug Delivery delves into the potential of bioinspired materials in drug delivery, detailing each material type and its latest developments.   | ELECTRONIC BOOK |
| Colin Porteous  | ENGLISH | UK           | M   | 2019 | Precedented Environmental Futures<br>Skin and Substance   | This book addresses the built environment through the lens of environmental architecture, and in a holistic manner.   | ELECTRONIC BOOK |
| Raz Jilinski  | ENGLISH | ISRAEL       | M   | 2021 | Biomimetics<br>A Molecular Perspective  | This book explores the convergence of artificial and synthetic assemblies mimicking biological and living systems: from biomaterials to drug discovery to microelectronics and computer   | ELECTRONIC BOOK |
| Leonardo Trujillo, Sara Silva, Stephan M. Winkler, Wolfgang Ebenhof   | ENGLISH | USA/AUSTRIA  | M/W | 2023 | Genetic Programming Theory and Practice XIX   | This book brings together some of the most important researchers in the field of Genetic Programming (GP), each one working on unique and interesting intersections of theoretical development and practical applications of this evolutionary-based machine learning paradigm. | ELECTRONIC BOOK |
| Sandy B. Primrose   | ENGLISH | UK           | M   | 2020 | Biomimetics<br>Nature-Inspired Design and Innovation  | Biomimetics, an area of science where researchers look to mimic aspects of plants or animals in order to solve problems in aerospace, shipping, building, electronics, and optics, among  | ELECTRONIC BOOK |

*Nota:* Es importante destacar que estas tablas específicas son el resultado de la depuración de una amplia base de datos creada con el propósito de la investigación en curso. Cada entrada en estas tablas refleja un acercamiento progresivamente más cercano a la concepción de la arquitectura genética en su conjunto, así como a los fundamentos de la biología y las concepciones actuales en arquitectura, como la biomimética.

Tabla 3

Tabla estado del arte 3

|   |         |              |     |      |   |  |                 |
|---|---------|--------------|-----|------|---|--|-----------------|
| Christina Hellmich, Dieter Breckner, Heinz-Bodo Schmießinger, Herbert Stachelberger, Ilse C. Gaberhauer, Petra Gruber | ENGLISH | GERMANY      | W/M | 2011 | Biomimetics - Materials, Structures and Processes<br>Examples, Ideas and Case Studies   | presents an outline of current activities in the field of biomimetics and integrates a variety of applications comprising biological, surface sciences, architecture and medicine  | ELECTRONIC BOOK |
| Barbara Imhof, Petra Gruber   | ENGLISH | GERMANY      | W   | 2016 | Built to Grow - Blending Architecture and Biology   | Using concepts of cellular multiplication into the concept of building and designing buildings   | ELECTRONIC BOOK |
| Aana Mura, Paul F. M.J. Vatorchans, Stuart F. Wilson, Tony J. Prescott  | ENGLISH | SPAIN/US     | W/M | 2015 | Biomimetic and Biolybrid Systems<br>4th International Conference, Living Machines 2015, Barcelona, Spain, July 28 - 31, 2015, Proceedings                     | contains the proceedings of the 4th International Conference on Biomimetic and Biolybrid Systems, Living Machines 2015, held in Barcelona, Spain, in July 2015   | ELECTRONIC BOOK |
| Michael Alshabgah, Samia E. Helmy   | ENGLISH | EGYPT        | M   | 2020 | Biomimetic Architecture and Its Role in Developing Sustainable, Regenerative, and Livable Cities<br>Global Perspectives and Approaches in the Age of COVID-19 | Biomimetic Architecture as a response for the crisis of the pandemic and the social interaction  | ELECTRONIC BOOK |
| Lutz H. Wegner, Ulrich Littege  | ENGLISH | GERMANY      | M   | 2018 | Emergence and Modularity in Life Sciences   | This book focuses on modules and emergence with self-organization in the life sciences   | ELECTRONIC BOOK |
| Xavier Marsault   | ENGLISH | FRANCE       | M   | 2017 | Eco-generative Design for Early Stages of Architecture  | breaking major difficulties of the real-time generative design in the early stages of a pre-architectural project.   | ELECTRONIC BOOK |
| Christina Cogdell   | ENGLISH | US           | W   | 2018 | Toward a Living Architecture?<br>Complexity and Biology in Generative Design  | Christina Cogdell examines their claims from the standpoint of the sciences they draw on—complex systems theory, evolutionary theory, genetics and epigenetics, and synthetic biology.   | ELECTRONIC BOOK |
| Md Nurunabi   | ENGLISH | SAUDI ARABIA | M   | 2021 | Bioinspired and Biomimetic Materials for Drug Delivery  | Bioinspired and Biomimetic Materials for Drug Delivery delves into the potential of bioinspired materials in drug delivery, detailing each material type and its latest developments.  | ELECTRONIC BOOK |
| Colin Porteous  | ENGLISH | UK           | M   | 2018 | Precedented Environmental Futures<br>Skin and Substances  | This book addresses the built environment through the lens of environmental architecture, and in a holistic manner.  | ELECTRONIC BOOK |
| Raz Jelinek   | ENGLISH | ISRAEL       | M   | 2021 | Biomimetics<br>A Molecular Perspective  | Microstructures are natural, artificial and synthetic assemblies mimicking biological and living systems: from biomaterials to drug discovery to microelectronics and computer   | ELECTRONIC BOOK |
| Leonardo Trujillo, Sara Silva, Stephan M. Winkler, Wolfgang Banzhaf   | ENGLISH | USA/AUSTRIA  | M/W | 2023 | Genetic Programming Theory and Practice XIX   | This book brings together some of the most impactful researchers in the field of Genetic Programming (GP), each one working on unique and intersecting intersections of theoretical development and practical applications of this evolutionary-based machine learning paradigm. | ELECTRONIC BOOK |
| Sandy B. Primrose   | ENGLISH | UK           | M   | 2020 | Biomimetic<br>Nature-Inspired Design and Innovation   | This book offers an overview of biomimicry, an area of science where researchers look to mimic aspects of plants or animals in order to solve problems in aerospace, shipping, building, electronics, and optics, among  | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 4

Tabla estado del arte 4

|  |         |         |     |      |   |   |                 |
|--|---------|---------|-----|------|---|---|-----------------|
| Sooraj Mezzain Nandyalal                                   | ENGLISH | UK      | M   | 2020 | Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering Vol. 47   | presents the latest research results in the field of applied biomechanics and processing of biomedical images and signals. Also, there is data about the synthesis and research properties of biomaterials                                      | ELECTRONIC BOOK |
| Henry Dickel   | ENGLISH | US      | M   | 2023 | The Biomimicry Revolution<br>Learning from Nature How to Inhabit the Earth  | In this book, Henry Dickel explores the philosophical significance of a revolutionary approach to sustainable innovation: biomimicry.   | ELECTRONIC BOOK |
| Gilles Retsin  | ENGLISH | BELGIUM | M   | 2019 | Concrete<br>Reappraising the Digital in Architecture  | The discrete proposes that a new, digital understanding of assembly, based on parts, contains the greatest promise for a complex, open-ended, adaptable architecture.   | ELECTRONIC BOOK |
| Chris Döhne, Frederike Lausch, Nathalie Brédelle           | ENGLISH | GERMANY | W/M | 2023 | Utopia Computer. The "New" in Architecture?   | Design and the capacity of recovering and gathering data into fabrication processes   | BOOK/ PAPERBACK |
| Amari Bueno, Antonio Heredia, Eva Domínguez, Isabel Molina | ENGLISH | SPAIN   | W/M | 2022 | Plant cuticle: From biosynthesis to ecological functions  | Ecological functions  | BOOK/ PAPERBACK |
| Negin Imani, Brenda Vale                                   | ENGLISH | UK      | W/M | 2022 | Heating with Wolves, Cooling with Cacti<br>Thermo-bio-architectural Framework (TBFA)  | the detailed process behind the development of a comprehensive thermo-bio-architectural framework (the TBFA)  | ELECTRONIC BOOK |
| Mitra Kanouji  | ENGLISH | US      | W   | 2019 | The Routledge Companion to Paradigms of Performativity in Design and Architecture<br>Using Time to Craft an Enduring, Resilient and Relevant Architecture | focuses on a non-linear, multilateral, ethical way of design thinking, positioning the design process as a journey. It expands on the multiple facets and paradigms of performative design thinking as an emerging trend in design methodology. | ELECTRONIC BOOK |
| Fabio Bisanzoni, Marco Filippacci                          | ENGLISH | ITALY   | M   | 2019 | Digital Wood Design<br>Innovative Techniques of Representation in Architectural Design  | This book explores various digital representation strategies that could change the future of wooden architecture by blending tradition and innovation.  | ELECTRONIC BOOK |
| Jun Nakajima, Koichiro Uto                                 | ENGLISH | JAPAN   | M   | 2022 | Material-Based Mechanobiology   | This book focuses on recent progress in mechanobiology from the materials science perspective, encompassing innovative material designs for force measurements and actuation to resolve dynamic mechanobiology and mechanobiomechanics          | BOOK            |
| Marta Tobołycki  | ENGLISH | POLAND  | W   | 2020 | The Art of Building at the Dawn of Human Civilization<br>The Ontogenesis of Architecture  | presenting some aspects of its evolution. It demonstrates how prehistoric people developed the art of building when trying to solve increasingly complicated spatial and  | ELECTRONIC BOOK |
| Frank Nelson Cruzillo                                      | ENGLISH | BRAZIL  | M   | 2022 | Advances in Bioelectrochemistry Volumes 2<br>Biomimetic, Bioelectrocatalytic and Materials Interfaces<br>Tome 2   | presenting some aspects of its evolution. It demonstrates how prehistoric people developed the art of building when trying to solve increasingly complicated spatial and  | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 5

Tabla estado del arte 5

|  |         |         |     |      |   |  |                 |
|--|---------|---------|-----|------|---|--|-----------------|
| David S-K Ting, Jacqueline A Styger                                      | ENGLISH | CANADA  | W/M | 2021 | Climate Change Science<br>Causes, Effects and Solutions for Global Warming                          | Climate Change Science: Causes, Effects and Solutions for Global Warming presents updated, state-of-the-art scientific knowledge on climate change and engineering solutions for   | ELECTRONIC BOOK |
| Courtney M. Townsend   | ENGLISH | US      | M   | 2021 | Sabiston Textbook of Surgery E-Book<br>The Biological Basis of Modern Surgical Practice             | has fully revised 21st Edition content to provide the key information, essential teaching points, and completely updated content needed to make the most informed surgical decisions and achieve optimal outcomes for patients.  | ELECTRONIC BOOK |
| Christina C. Young, Laird A. Clumpus, Michael R. Dietrich, Tiago Saraiva | ENGLISH | US      | M   | 2021 | Nature Remade<br>Engineering Life, Envisioning Worlds   | These essays span the many levels at which life has been engineered: molecular, cell, organism, population, ecosystem, and planet.   | BOOK/PAPERBACK  |
| Dirk E. Hübner, Felix Hübner   | ENGLISH | GERMANY | M   | 2017 | Cultivated Building Materials<br>Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction | This book presents innovative industrialized production methods for cultivated building materials: bio-concrete grown by bacteria, bricks made of mushroom mycelium, or bamboo fibers as reinforcement for concrete.   | ELECTRONIC BOOK |
| Richard Coyne  | ENGLISH | UK      | M   | 2018 | Network Nature<br>The Place of Nature in the Digital Age  | In Network Nature, Richard Coyne challenges the definitions of both the natural and the artificial that support this time-worn narrative of nature's benefits. In the process, he attacks the counter-claim that nature must succumb to the sovereignty of digital data.   | ELECTRONIC BOOK |
| Mosazza Mkhize, Mosumi Sen   | ENGLISH | BELGIUM | W/M | 2020 | Bioinspired and Green Synthesis of Nanostructures<br>A Sustainable Approach                         | This unique book details various ways to synthesize advanced nanostructures using green methods, explores the design and development of sustainable advanced nanostructures, and discusses the antimicrobial and antiviral applications.   | ELECTRONIC BOOK |
| Domenico D'Uvo   | ENGLISH | ITALY   | M   | 2018 | Handbook of Research on Form and Morphogenesis in<br>Modern Architectural Contexts                  | As architectural design continues to push boundaries, there is more exploration into the bound shapes of structures within the limits of space made for human usability and interaction. The Handbook of Research on Form and Morphogenesis in Modern Architectural Contexts provides emerging research on the process of architectural form-finding as an effort to balance perceptual efficiency with functionality. | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 6

Tabla estado del arte 6

|   |         |              |     |      |   |   |                 |
|---|---------|--------------|-----|------|---|---|-----------------|
| Amarach Okarabarti  | ENGLISH | INDIA        | M   | 2019 | Research Into Design for a Connected World<br>Proceedings of ICuRD 2019 Volume 1                      | While Design traditionally focused on developing products that worked on their own, an emerging trend is to have products with a smart layer that makes them context aware and responsive, individually and collectively, through collaboration with other physical and digital objects with which these are connected.           | ELECTRONIC BOOK |
| Dusan Lotic   | ENGLISH | UNESPECIFIED | M   | 2018 | Diatom Nanotechnology<br>Progress and Emerging Applications   | The unique nano and micro silica structures of the material combined with its availability as a low cost mineral from diatoms: earth are attractive for solving many of today's environmental, energy and health problems   | BOOK            |
| Karen Liu, Peter John Anderson, Sebastian Dworak              | ENGLISH | SCOTLAND     | W/M | 2022 | Genetic, Environmental and Synergistic Gene-Environment<br>Contributions to Craniofacial Defects      | BIOMIMESIS as a tool for reconstruction of craniofacialic operations  | ELECTRONIC BOOK |
| Roger Narayan   | ENGLISH | UNESPECIFIED | M   | 2018 | Encyclopedia of Biomedical Engineering  | Encyclopedia of Biomedical Engineering, Three Volumes Set is a unique source for rapidly evolving updates on topics that are at the interface of the biological sciences and engineering. Biomaterials, biomedical devices and techniques play a significant role in improving the quality of health care in the developed world. | ELECTRONIC BOOK |
| William S. Burroughs  | SPANISH | US           | M   | 2018 | La máquina blanda   |   | BOOK            |
| Farzad Pour Rahimian, Jack S. Gossling                        | ENGLISH | UK           | M   | 2019 | Offsite Production and Manufacturing for Innovative<br>Construction<br>People, Process and Technology | It presents new thinking and direction from leading experts in the fields of: design, process, construction, engineering, manufacturing, logistics, robotics, delivery platforms, business and transformational strategies, change management, legislation, organisational learning, software design, innovation and biomimetic.  | ELECTRONIC BOOK |
| Reidley D. Fabian   | ENGLISH | NETHERLANDS  | M   | 2018 | Materials Chemistry   | Materials Chemistry addresses inorganic, organic, and nano-based materials from a structure vs. property treatment, providing a suitable breadth and depth coverage of the rapidly evolving materials field – in a concise format   | ELECTRONIC BOOK |
| Konrad Oetle, Martin Grambow, Michael Moll, Peter A. Wilderer | ENGLISH | GERMANY      | M   | 2021 | Strategies for Sustainability of the Earth System   | Humankind has intervened in their ecosystem since its emergence on the planet about 2.5 million years ago, often with spatial consequences for itself. In its evolution, the Earth system follows only the laws of nature. Consequently, humanity needs to develop strategies for a sustainable                                   | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 7

Tabla estado del arte 7

|   |         |              |     |      |  |  |                 |
|---|---------|--------------|-----|------|--|--|-----------------|
| Abdulkerim Gök, Ebubekir Yılmaz, Murat Eyras      | ENGLISH | TURKEY       | M   | 2019 | Energy-Efficient Approaches in Industrial Applications | In addition to the efficient use of energy in order to reduce operating costs in industrial applications, alternatives such as efficient use of energy for conservation of resources and climate, energy recovery, renewable energy production, and energy production from wastes are becoming more common.  | BOOK            |
| Georgia C. Papaefthymiou                          | ENGLISH | US           | W   | 2022 | Nanomagnetism: An Interdisciplinary Approach           | provides a core foundation for understanding magnetic quantum-size effects at the nanoscale and their many applications across the disciplines. This textbook will be a valuable guide for students in new interdisciplinary courses in nanomagnetism and magnetic nanomaterials, an area that has experienced immense growth in the last two decades due to advancements in sample preparation, nanopatterning techniques and magnetic measurement instrumentation. | ELECTRONIC BOOK |
| David Grant, Lynn Bennett Morris                  | ENGLISH | AUSTRALIA    | W/M | 2017 | Technology and the Trajectory of Myth                  | presents an entirely new way of understanding Technology – as the successor to the dominant ideologies that have underpinned the thought and practices of the West.  | ELECTRONIC BOOK |
| Juan Becas  | ENGLISH | COLOMBIA     | M   | 2020 | Molecular Evolutionary Models in Drug Discovery        | explores the application of evolutionary molecular models in drug discovery in which occluded metabolites play a fundamental role.   | ELECTRONIC BOOK |
| Hussain Abd-Elhwy Essayed Kaoud                   | ENGLISH | EGYPT        | M   | 2018 | Tissue Regeneration                                    | The main purpose of this book is to point out the interest of some important topics of tissue regeneration and the progress in this field as well as the variety of different surgical fields and operations.  | ELECTRONIC BOOK |
| Colin B. Mann                                     | ENGLISH | UK           | M   | 2019 | Marine Microbiology Ecology & Applications             | The third edition of this bestselling text has been rigorously updated to reflect major new discoveries and concepts since 2011, especially progress due to extensive application of high-throughput sequencing, single cell genomics and analysis of large datasets   | ELECTRONIC BOOK |
| Antonella Motta, David Kaplan, Nicola Maria Pugno | ENGLISH | UNESPECIFIED | W/M | 2021 | Frontiers in Silk Science and Technology               | Applications on engineering and reconstruction of tissues and it's application in different roles  | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 8

Tabla estado del arte 8

|  |         |              |     |      |   |  |                 |
|--|---------|--------------|-----|------|---|--|-----------------|
| Maria Muchowicz-Talarezyk, Ryszard M. Kozłowski                    | ENGLISH | UNESPECIFIED | W/M | 2020 | Handbook of Natural Fibres Volume 2: Processing and Applications  | provides detailed coverage of the latest processing techniques and industrial applications of a wide range of natural fibres.  | ELECTRONIC BOOK |
| Andy H. Choi, Eucim Ben-Nissan                                     | ENGLISH | WALES        | M   | 2019 | Marine-Derived Biomaterials for Tissue Engineering Applications   | presents the latest advances in marine structures and related biomaterials for applications in both soft- and hard-tissue engineering, as well as controlled drug delivery.  | ELECTRONIC BOOK |
| João Silva Soares, Maria Isabel Aldinhas Ferracin, Rodrigo Veiters | ENGLISH | BRAZIL       | W/M | 2018 | Cognitive Architecture  | This book provides an integrated framework for natural and artificial cognition by highlighting the fundamental role played by the cognitive architectures in the dialectics with the surrounding environment and consequently in the definition of a particular meaningful world.   | ELECTRONIC BOOK |
| Amygd Kallel, Hamed Ben Dhi, Mohamed Khibi, Nabli Khilifi          | ENGLISH | SAUDI ARABIA | W/M | 2017 | Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions Proceedings of Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI-1), Tunisia 2017, Volume 1-2 | aimed to give a more concrete expression to the Euro-Mediterranean integration process by supplementing existing North-South programs and agreements with a new multilateral scientific forum that emphasizes in particular the vulnerability and positive remediation of the Euro-Mediterranean region from an environmental point of view. | ELECTRONIC BOOK |
| Frank Bonnet, Francesco Mondada                                    | ENGLISH | SWITZERLAND  | M   | 2019 | Shoaling with Fish: Using Miniature Robotic Agents to Close the Interaction Loop with Groups of Zebrafish Danio Rerio   | Robotic animals are nowadays developed for various types of research, such as bio-inspired robotics, biomimetics and animal behavior studies. More specifically, in the case of collective animal behavior research, the robotic device can interact with animals by generating and exploiting signals relevant for social behavior.         | ELECTRONIC BOOK |
| Rui L. Reis, Subhas C. Kundu                                       | ENGLISH | INDIA        | M   | 2020 | Biomaterials for 3D Tumor Modeling  | Biomaterials for 3D Tumor Modeling reviews the fundamentals and most relevant areas of the latest advances of research of 3D cancer models, focusing on biomaterials science, tissue engineering, drug delivery and screening aspects.   | ELECTRONIC BOOK |
| Ali Akbar Moosavi-Movahedi   | ENGLISH | IRAN         | M   | 2021 | Rationality and Scientific Lifestyle for Health   | This book argues that, to be healthy, human beings should love nature and stay in balance with it as much as possible. In other words: do not unbalance nature so that your own balance is not disturbed.  | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 9

Tabla estado del arte 9

|   |         |             |     |      |   |  |                 |
|---|---------|-------------|-----|------|---|--|-----------------|
| Feng Qiao, John Wang, Shikato Pateak                                      | ENGLISH | CHINA/INDIA | M   | 2017 | Recent Developments in Mechatronics and Intelligent Robotics<br>Proceedings of the International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics (ICMIR2017) - Volume 1- Tomo 1 | Intelligent Systems, Intelligent Sensors & Actuators, Robotics, Mechatronics, Modeling & Simulation, Automation & Control, and Robot Vision.   | ELECTRONIC BOOK |
| Debnalya Bhat   | ENGLISH | INDIA       | M   | 2022 | Biotechnology in Healthcare, Volume 2<br>Applications and Initiatives - Tomo 2  | Biotechnology in Healthcare presents up-to-date knowledge on the emerging field of biotechnology as applied to the healthcare industry.  | ELECTRONIC BOOK |
| Sandra G.L. Perziani  | ENGLISH | GERMANY     | W   | 2020 | Design of Antirecession<br>A Framework for Kinetic Reaction at Zero Energy  | provides the reader with a timely guide to the application and integration of interdisciplinary principles from the fields of kinetic design, mechanics, energy and material engineering in the fields of architecture and engineering design.   | ELECTRONIC BOOK |
| Giuseppe Brunetti, Giorgio Miori, Maria Felicia Fiameni, Patrizio D'Amico | ENGLISH | ITALY       | W/M | 2020 | Updates on Osteoimmunology: What's New on the Cross-talk Between Bone and Immune Cells  | different discoveries have emphasized the cross-talk between bone and immune cells as well as their common regulatory pathways. Indeed, soluble molecules produced by immune cells mediate the behavior of osteoblasts and osteoclasts   | ELECTRONIC BOOK |
| Issa Levtchenko, Michael Medel  | ENGLISH | US          | W/M | 2021 | New Methods and Sensors for Membranes and Cell Volume Research  | New Methods and Sensors for Membranes and Cell Volume Research, Volume 86 provides an overview of novel experimental approaches to study both the cell membrane and the under-membrane space – the cytosol, which have lately become a growing research area.  | ELECTRONIC BOOK |
| Dragan P. Uoković, Volimir R. Pridmorević                                 | ENGLISH | SERBIA      | M   | 2019 | Programs and the Book of Abstracts / YUCOMAT & VRTCS 2019   | Twenty first Annual Conference YUCOMAT 2019 & Eleventh World Power Table Conference on Smarting VRTCS 2019, Herceg Novi, September 2-6, 2019   | BOOK            |
| Aaron M. Ellison, Liboriat Adams  | ENGLISH | US          | M   | 2018 | Consciousness: Plants<br>Physiology, Ecology, and Evolution   | THE BIOLOGICAL STUDY OF CARNIVOROUS PLANTS   | ELECTRONIC BOOK |
| Asad Rameezullah, Chandrasakhar Korkasilli                                | ENGLISH | INDIA       | M   | 2018 | Elastic Fiber Matrices<br>Biomimetic Approaches to Regeneration and Repair 2018   | provides a comprehensive resource on the intrinsic and pathological alterations of the complex process of elastic matrix assembly and/or variations thereof in different elastic tissue types, and on strategies to regenerate or restore lost elastic matrix, either in vitro or in vivo, including biomimetic elastin-like peptides, gene therapy, drug delivery, tissue engineering (biomaterials, scaffolds, and mechanical stimuli), pharmacological approaches, elastic modulators and preservatives, stem cell therapy, ultragraphic approaches, and nanotechnology approaches. | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 10

Tabla estado del arte 10

|  |         |         |     |      |  |   |                 |
|--|---------|---------|-----|------|--|---|-----------------|
| Shyler Tibbitts  | ENGLISH | US      | M   | 2017 | Active Matter  | The past few decades brought a revolution in computer software and hardware; today we are on the cusp of a materials revolution. If we create re-programmable computers and other machines, today we program matter itself. This has created new capabilities in design, computing, and fabrication, which allow us to program proteins and bacteria, to generate self-reassembling wood products and architectural details, and to create cloning from "intelligent dust" that grow themselves. This book offers essays and sample projects from the front lines of the emerging field of active matter. | ELECTRONIC BOOK |
| Ajykanar Vishwakarma, Jeffrey M Karp   | ENGLISH | INDIA   | M   | 2017 | Biology and Engineering of Stem Cell Niches  | Biology and Engineering of Stem Cell Niches covers a wide spectrum of research and current knowledge on embryonic and adult stem cell niches, focusing on the understanding of stem cell niche molecules and signaling mechanisms, including cell-cell/cell-matrix interactions.  | ELECTRONIC BOOK |
| Dongmei Dang, Feng Yang, Hanzhen Lin   | ENGLISH | CHINA   | M   | 2023 | Mechanisms of Biofilm Development and Antibiofilm Strategies                               | BIOFILM AND ANTIBIOFILM DEVELOPMENT   | ELECTRONIC BOOK |
| Andrea Ranzato, Hiroaki Hirata, Ryoichi Nakazawa, Tsuyoshi Hirashima             | ENGLISH | JAPAN   | M   | 2023 | Multicellularity: Views from cellular signaling and mechanics                              | UNSPECIFIED   | ELECTRONIC BOOK |
| Andriy Korolchuk, Fred O Aicigbe   | ENGLISH | FINLAND | M   | 2021 | Forest Microbiology<br>Volume 1: Tree Microbiome: Phyllosphere, Endosphere and Rhizosphere | places an emphasis on the microbiology of leaves, needles, stems, roots, litter and soil. This comprehensive title is split into five sections, including the phyllosphere microbiome, endosphere, rhizosphere, arbuscules, mycorrhizal symbiosis and the forest ecosystem and microbiome of forest nurseries and tree plantations, challenges and potentials.  | ELECTRONIC BOOK |
| Vilij V. Sraibar III   | ENGLISH | US      | M   | 2022 | Engineered Living Materials  | This book will serve as a primer for readers to understand recent advances, applications, and current challenges in the field of Engineered Living Materials  | ELECTRONIC BOOK |
| Dujiao Zhang, Michael J. Yaszemski, Shelly E. Sakiyama-Elbert, William R. Wagner | ENGLISH | US      | W/M | 2020 | Biomaterials Science<br>An Introduction to Materials in Medicine                           | The revised edition of this renowned and bestselling title is the most comprehensive single text on all aspects of biomaterials science from principles to applications. Biomaterials Science, fourth edition, provides a balanced, insightful approach to both the learning of the science and technology of biomaterials and acts as the key reference for practitioners who are involved in the applications of materials in medicine.   | ELECTRONIC BOOK |

Tabla 11

Tabla estado del arte 11

|  |         |                |     |      |  |  |                 |
|--|---------|----------------|-----|------|--|--|-----------------|
| David Caballero, Paul L. Reis, Subhas Chandra Kundu                          | ENGLISH | PORTUGAL/INDIA | M   | 2020 | Cell-derived Matrices Part 1   | provides a detailed description and step-by-step methods surrounding the use of three-dimensional cell-derived matrices for tissue engineering applications.   | ELECTRONIC BOOK |
| Amiq Guadhor, Anna Lange-Cosigliio, Charlotte Riviere, V. Prasad Shastri     | ENGLISH | INDIA          | M   | 2023 | Methods in cell therapy and regenerative medicine  | REGENERATIVE MEDICINE ABSED IN CELLS   | ELECTRONIC BOOK |
| Hediye KIRLI AKIN, Recep HALICIOGLU, Yusuf FEDAI                             | ENGLISH | TURKEY         | M   | 2017 | International Advanced Researches & Engineering Congress 2017 Proceeding Book  | A BOOK GATHERING DIFFERENT WORKSHOPS INTEGRING ENGINEERING AND ARCHITECTURE  | ELECTRONIC BOOK |
| Iliana Esperanza Hernández García, Jaime Hernández-García, Raúl Milio Bernal | ENGLISH | COLOMBIA       | W/M | 2020 | Países artificiales: virtuales, informales y edificados  | Este libro construye un conjunto de conceptos alrededor de la perspectiva investigativa de los paisajes artificiales. Estos se configuran como mundos posibles en evolución a través de procesos de simulación digital, autoorganización social y coacción de diseños edificables, que desdibujan la frontera entre lo natural y lo artificial.  | ELECTRONIC BOOK |
| Habin Duan, Liang Yan, Xiang Yu  | ENGLISH | CHINA          | W/M | 2021 | Advances in Guidance, Navigation and Control Proceedings of 2020 International Conference on Guidance, Navigation and Control, ICGNC 2020, Tianjin, China, October 23-25, 2020 | his book features the latest theoretical results and techniques in the field of guidance, navigation, and control (GNC) of vehicles and aircraft. It covers a range of topics, including, but not limited to, intelligent computing communication and control; new methods of navigation, estimation, and tracking; control of multiple moving objects; manned and autonomous unmanned systems; guidance, navigation, and control of miniature aircraft; and sensor systems for guidance, navigation, and control. | ELECTRONIC BOOK |
| Ernest E. Moore, David V. Feliciano, Kenneth L. Mattox                       | ENGLISH | US             | M   | 2017 | Trauma, 8th Edition  | Hailed by readers and reviewers for its expert authorship and high-yield clinical content, Trauma is unquestionably the field's definitive text. Enhanced by a full color design and a high-quality atlas of anatomic drawings and surgical approaches, this trusted classic takes readers through the full range of injuries the trauma surgeon is likely to encounter.   | ELECTRONIC BOOK |

Tras completar esta base de datos y reunir una cantidad significativa de información derivada de la clasificación conceptual, se procedió a una lectura contextual de cada uno de los textos, para entender sus temas y sus relaciones con la investigación. Como se mencionó anteriormente, se optó por seleccionar el 10% de estos textos con el fin de identificar los conceptos clave para la investigación. Esto permitió extraer de cada texto los principales intereses relacionados con la investigación, lo que proporcionó una visión clara de las nociones fundamentales abordadas en el estudio. Además, se observó cómo la crítica a la praxis podía surgir a partir del análisis cuantitativo estos textos, encontrados en diversas bases de datos bibliográficas como la de la Universidad Javeriana, documentos en línea y la biblioteca Virgilio Barco (exclusivamente se consideraron libros que pudiesen ser encontrados en los idiomas español, inglés y alemán). Con esta información en mano, se comienza a comprender los nuevos horizontes que deberíamos considerar para investigar el

estado del arte en este campo específico con limitada exploración desde lo entendido cómo arquitectura.

*Nota:* Los libros seleccionados proporcionan la entrada al poder realizar la depuración de datos frente a la frecuencia de repetición de palabras, el criterio de selección se basó principalmente en libros en los que el enfoque principal fuese la biología y su aplicación en la arquitectura desde su conceptualización hasta su práctica, desde el sentido total de la biología genética, hasta cómo se inicia su consideración en la arquitectura, desde la hipótesis hasta la visión de sus horizontes posibles.

Después de encontrar, entre los resultantes cien libros el equivalente al necesario para el ejercicio de rastreo conceptual y de frecuencia equivalente al 11% (decidiendo ampliarlo para una recopilación más fructífera de información, con la integración de uno de los pilares del enfoque anterior, siendo este “The Meme Machine”), estos textos varían entre libros, artículos y reportes, estos son: Biomimetic Research for Architecture and Building Construction (Knippers, Nickel, & Speck, 2016), Biomimetics (Primrose, 2013), Biomimetics for architecture (Knippers, Schmid, & Speck, 2015) The Meme Machine (Blackmore, 1999), BIOMIMETICS Biologically Inspired Technologies (Bar-Cohen, 2006), From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges (Chayaamor-Heil, 2023), TOWARD A LIVING ARCHITECTURE? (Cogdell, 2018), Design of autoreaction, Science and Innovation (Persiani, 2020), Cognitive Architecture (Sussman, Hollander, 2014), Built to grow (Imhof & Gruber, 2016).

Aunque se realizó una lectura consciente, posterior al análisis, cabe recalcar el uso de estos netamente para la frecuencia de palabras, y no se adoptan posiciones ni hipótesis acerca de las mismas, esto para dar paso a la experimentación práctica desde lo que se puede recopilar.



*Ilustración 1 Selección de libros para la depuración conceptual final*

**Resumen general de libros analizados**

*"Biomimetic Research for Architecture and Building Construction"* (Knippers, Nickel, & Speck, 2016) es una obra que explora a fondo el potencial de la biomimética en la arquitectura y la construcción de edificios, proporcionando ejemplos y estudios de casos que ilustran cómo los principios inspirados en la naturaleza pueden impulsar la innovación en el diseño arquitectónico y la sostenibilidad.

*"Biomimetics Biologically Inspired Technologies"* (Bar-Cohen, 2006) es una obra que ofrece una visión profunda de las tecnologías inspiradas en la biología, explorando cómo los conocimientos derivados de la observación de la naturaleza pueden informar el diseño y la ingeniería de sistemas y dispositivos avanzados. Este libro proporciona ejemplos y casos de estudio que ilustran cómo la biomimética puede conducir a innovaciones significativas en diversos campos tecnológicos, desde la medicina hasta la robótica y la fabricación.

*"Biomimetics for Architecture"* (Knippers, Schmid, & Speck, 2015) es una obra que explora cómo los principios y estrategias derivados de la naturaleza pueden aplicarse en el campo de la arquitectura para inspirar diseños innovadores y sostenibles. Este libro proporciona ejemplos concretos y estudios de casos que muestran cómo la biomimética puede influir en áreas clave como la eficiencia energética, la adaptabilidad estructural y la respuesta al entorno. Al centrarse en la intersección entre la biología y la arquitectura, los autores ofrecen una perspectiva única sobre cómo la observación de la naturaleza puede informar y enriquecer la práctica arquitectónica contemporánea.

*"Biomimetics"* (Primrose, 2013) proporciona una visión general de los fundamentos y aplicaciones de la biomimética en una variedad de campos científicos y tecnológicos, también aplicados en el diseño. El libro explora cómo la observación de la naturaleza puede inspirar el diseño de nuevos materiales, dispositivos y sistemas, y cómo los principios biomiméticos pueden utilizarse para abordar desafíos en áreas como la medicina, la ingeniería y la energía. Con ejemplos ilustrativos y discusiones detalladas, Primrose ofrece una introducción accesible y perspicaz a este campo interdisciplinario en rápido crecimiento.

*"Built to Grow"* (Imhof & Gruber, 2020) presenta una exploración en profundidad de las estrategias de diseño inspiradas en la naturaleza para la creación de estructuras arquitectónicas adaptables y regenerativas. El libro examina cómo los principios de crecimiento orgánico y adaptabilidad pueden aplicarse en la arquitectura para crear entornos construidos que sean flexibles, resistentes y sostenibles a largo plazo. A través de casos de estudio frente a la experimentación y diferentes referentes, Imhof y Gruber demuestran cómo la integración de conceptos biomiméticos puede conducir a una arquitectura que se ajuste y evolucione en armonía con su entorno cambiante.

*Design of autoreaction, Science and Innovation* (Persiani, 2020) explora la necesidad innata de la especie humana de optimizar su entorno artificial, destacando la importancia de la adaptabilidad y el cambio en el diseño de herramientas y entornos construidos. Se resalta la capacidad de los organismos biológicos para reaccionar y adaptarse al cambio en su entorno como un modelo para el diseño de sistemas autoreactivos en la arquitectura y la ingeniería. Persiani enfatiza la importancia de integrar la flexibilidad y el movimiento en el diseño de artefactos para lograr soluciones más inteligentes y sostenibles.

*"Towards a Living Architecture"* (Cogdell, 2018), explora la convergencia entre la arquitectura y los sistemas biológicos, resaltando cómo los principios y procesos biológicos pueden inspirar el diseño arquitectónico para crear entornos más sostenibles y adaptables. Cogdell examina cómo la integración de conceptos biomiméticos puede llevar a la creación de estructuras que interactúen de manera dinámica con su entorno, utilizando ejemplos de investigaciones y proyectos que exploran esta intersección entre la vida y la arquitectura. El libro aboga por un enfoque más holístico y colaborativo en el diseño arquitectónico, que tenga en cuenta tanto las necesidades humanas como las del medio ambiente, promoviendo así un futuro de edificaciones más vivas y resilientes.

*"El gen egoísta"* (Dawkins 1976) introduce la teoría revolucionaria de que los genes son las unidades fundamentales de selección natural, en lugar de los organismos individuales. Dawkins argumenta que los genes, al buscar su propia supervivencia y reproducción, influyen en el comportamiento y las características de los organismos que los albergan. Este concepto desafía la noción tradicional de que los organismos están motivados por su propia supervivencia y reproducción, y sugiere que son vehículos temporales a través de los cuales los genes buscan perpetuarse. Dawkins explora cómo esta perspectiva puede ayudar a comprender una amplia gama de fenómenos biológicos, desde el altruismo hasta la evolución cultural, y plantea preguntas fascinantes sobre la naturaleza de la vida y la evolución.

*"Cognitive Architecture"* (Sussman, Hollander, 2014) ofrece una exploración detallada de cómo el entorno construido influye en el comportamiento humano y en la cognición. Los autores examinan cómo diferentes aspectos del diseño urbano, como la escala, la densidad, la conectividad y la estética, afectan nuestra percepción, atención y toma de decisiones. Además, exploran cómo los avances en la neurociencia cognitiva pueden

informar y mejorar el diseño de entornos urbanos para promover el bienestar y la calidad de vida. Este libro proporciona una perspectiva interdisciplinaria y práctica sobre cómo el diseño urbano puede ser moldeado para adaptarse mejor a las necesidades cognitivas y emocionales de las personas que lo habitan.

*"The Meme Machine"* (Blackmore 1999) explora el concepto de los memes y su papel en la evolución cultural. Blackmore propone que los memes son unidades de información cultural que se propagan de mente en mente a través de la imitación y la replicación, de manera similar a los genes en la evolución biológica. El libro examina cómo los memes pueden influir en una amplia gama de comportamientos humanos, desde la religión y la moralidad hasta la tecnología y el arte. Blackmore argumenta que entender los memes puede proporcionar una nueva perspectiva sobre la naturaleza de la cultura y la mente humana, y ofrece ideas fascinantes sobre cómo se desarrolla y cambia la sociedad humana.

*"From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges."* (Chayamor, 2020) habla sobre la evolución de la bioinspiración en arquitectura hacia la biomimética, como se caracteriza por un enfoque creativo que observa los principios biológicos para resolver problemas de diseño y desarrollo sostenible. Desde la imitación directa de formas naturales hasta la comprensión de los principios biológicos para la innovación, habla de cómo la arquitectura ha experimentado diversos movimientos bioarquitectónicos a lo largo del tiempo. Sin embargo, habla de cómo persiste la confusión entre la biomimética y la bioinspiración, lo que destaca la necesidad de una colaboración interdisciplinaria más estrecha entre arquitectos y biólogos. Este artículo, explora los orígenes de la biomimética en arquitectura, define metodologías biomiméticas y examina su aplicación

en el diseño arquitectónico a través de estudios de casos, mientras discute las oportunidades y desafíos del campo.

### **Conclusión del estado del arte**

Una vez examinados los contenidos de cada texto, se llegó a la conclusión de que el enfoque predominante en el ámbito de la “arquitectura genética” bajo la concepción y su concepto, se relacionaba estrechamente con la biomimética y la biomémesis. Esta conclusión se fundamenta en el contenido de los textos analizados, los cuales arrojan su enfoque desde la lectura casual, hasta en sus propios títulos, los cuales evidencian que estos temas son los principales. Aunque algunos de estos textos abordan la aplicabilidad de estos conceptos en la construcción y la adaptación de materiales, estructuras e infraestructuras para que respondan de manera activa a su entorno, se centran principalmente en los principios de la biomimética y la biomémesis, relegando el concepto de arquitectura genética, cómo se entiende en el marco de esta investigación, a un segundo plano.

En el proceso de selección de los textos específicos para la investigación, se tomó en cuenta la importancia de elegir aquellos que mejor representaran los conceptos fundamentales abordados en el estudio. Estos conceptos clave, que abarcaban áreas como la biología, la arquitectura, la genética y la sostenibilidad, fueron determinantes para definir la relevancia y pertinencia de cada texto seleccionado.

Uno de los primeros conceptos identificados como esencial en el ámbito arquitectónico fue la biomimética y biomimesis, cómo antes mencionado, una disciplina que se inspira en los procesos biológicos y las soluciones encontradas en la naturaleza para resolver desafíos de

diseño y construcción. Por lo tanto, se decidió dedicar especial atención al estudio de cómo se entendía y aplicaba la biomimética en la arquitectura contemporánea. Desde la investigación de los libros, artículos y otras fuentes relacionadas y mostradas en esta investigación con este tema para obtener una comprensión profunda de sus principios y aplicaciones en el campo arquitectónico, para comprender de igual forma cómo se ha aproximado al tema desde la teoría y su temprana práctica. Esto es determinante y que se puede discernir cómo, a pesar del arraigamiento de los conceptos de biomimética y biomimesis en la arquitectura, existe una brecha del conocimiento particular que pueda ser entendida desde la concepción de la arquitectura genética y su exposición en esta investigación.

Además, se consideró crucial referirse al libro "El gen egoísta" de Richard Dawkins cómo una piedra angular en el ámbito de la biología y la genética. Esta obra proporcionó una inspiración invaluable para la investigación, nacida desde la relevancia que existía en el anterior planteamiento relacionado a la memética; de igual forma también se consideraron especialmente lo que respecta a los conceptos fundamentales de la genética, como el genotipo y el fenotipo, encontrados cómo punto focal en el libro de Dawkins para la genética, estos conceptos se definen cómo la composición total del genoma de un individuo de indeterminada especie, heredada mediante generaciones (genotipo) y cómo estos rasgos genéticos se relacionan en el aspecto físico del individuo (fenotipo). Se profundizó en la comprensión de estos conceptos y su relevancia en el contexto arquitectónico, explorando cómo influyen en la formación y la expresión de los rasgos arquitectónicos en los entornos construidos.

### **Depuración de datos de la base creada**

Después de catalogar todos los libros considerados en el estado del arte, se procedió a una depuración de los datos utilizando diversos programas de reconocimiento de texto (*Nvivo*, *Tableau*). El objetivo principal de este análisis mediante el software de *Nvivo* es identificar los tres conceptos principales que articularan la concepción original de la arquitectura genética, abarcando la arquitectura, la genética, la biología y la sostenibilidad, los conceptos claves en la selección de los libros de estudio.

Para lograr esto, se aplicaron algoritmos de análisis de texto para eliminar palabras conectoras y otros términos irrelevantes, con el fin de identificar una amplia variedad de conceptos repetidos entre los textos. Posteriormente, se realizó una categorización manual de estos conceptos desde *Excel*, tomando cada uno de los conceptos dados por los *softwares*, y haciendo el conteo de cada reconocimiento, clasificándolos según la frecuencia con la que aparecían en los textos. Esto permitió identificar los principales conceptos emergentes, dejando de lado las nociones más evidentes como genética, arquitectura, sostenibilidad y biología.

Este proceso de depuración de datos proporcionó una visión más clara de los conceptos subyacentes y emergentes en el campo de la arquitectura genética como concepto, lo que sentó las bases para una comprensión más profunda de las interrelaciones entre la arquitectura y la biología, así como para la identificación de posibles áreas de investigación y desarrollo.

Tabla 12

Base de datos depuradas, correspondientes a Biomimetics for architecture building construction, biomimetics biologically inspired technologies y biomimetics for Architecture

| Palabra      | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) | Palabra      | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) | Palabra    | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) |
|--------------|----------|--------|--------------------------|--------------|----------|--------|--------------------------|------------|----------|--------|--------------------------|
| architecture | 12       | 717    | 0.61                     | figure       | 6        | 762    | 0.43                     | plant      | 5        | 94     | 0.45                     |
| building     | 8        | 663    | 0.56                     | muscle       | 6        | 734    | 0.41                     | material   | 8        | 88     | 0.42                     |
| research     | 8        | 646    | 0.55                     | materials    | 9        | 511    | 0.29                     | structure  | 9        | 87     | 0.41                     |
| construction | 12       | 590    | 0.50                     | control      | 7        | 502    | 0.28                     | structures | 10       | 87     | 0.41                     |
| biomimetic   | 10       | 568    | 0.48                     | system       | 6        | 494    | 0.28                     | movement   | 8        | 82     | 0.38                     |
| design       | 6        | 521    | 0.44                     | systems      | 7        | 478    | 0.27                     | plants     | 6        | 79     | 0.37                     |
| structures   | 10       | 509    | 0.43                     | inspired     | 8        | 421    | 0.24                     | possible   | 8        | 74     | 0.35                     |
| biological   | 10       | 450    | 0.38                     | using        | 5        | 417    | 0.23                     | concrete   | 8        | 67     | 0.32                     |
| systems      | 7        | 307    | 0.26                     | human        | 5        | 411    | 0.23                     | water      | 5        | 66     | 0.31                     |
| material     | 8        | 305    | 0.26                     | design       | 6        | 396    | 0.22                     | process    | 7        | 65     | 0.31                     |
| structure    | 9        | 292    | 0.25                     | nature       | 6        | 385    | 0.22                     | building   | 8        | 63     | 0.30                     |
| model        | 5        | 276    | 0.23                     | artificial   | 9        | 382    | 0.21                     | cells      | 5        | 63     | 0.30                     |
| structural   | 10       | 273    | 0.23                     | biomimetics  | 11       | 368    | 0.21                     | example    | 7        | 60     | 0.28                     |
| process      | 7        | 251    | 0.21                     | biologically | 12       | 348    | 0.20                     | model      | 5        | 59     | 0.28                     |
| materials    | 9        | 247    | 0.21                     | cells        | 5        | 342    | 0.19                     | components | 10       | 58     | 0.27                     |
| technical    | 9        | 223    | 0.19                     | robots       | 6        | 328    | 0.18                     | properties | 10       | 55     | 0.26                     |
| order        | 5        | 220    | 0.19                     | biological   | 10       | 326    | 0.18                     | materials  | 9        | 53     | 0.25                     |
| inspired     | 8        | 219    | 0.19                     | technologies | 12       | 326    | 0.18                     | technical  | 9        | 53     | 0.25                     |
| plant        | 5        | 204    | 0.17                     | structures   | 10       | 316    | 0.18                     | mechanical | 10       | 47     | 0.22                     |

Tabla 13

Base de datos depuradas, correspondientes a Biomimetics, Built to grow y Cognitive Architecture

| Palabra     | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) | Palabra      | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) | Palabra  | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) |
|-------------|----------|--------|--------------------------|--------------|----------|--------|--------------------------|----------|----------|--------|--------------------------|
| surface     | 7        | 152    | 0.54                     | growth       | 6        | 240    | 0.88                     | people   | 6        | 235    | 0.44                     |
| water       | 5        | 141    | 0.50                     | architecture | 12       | 237    | 0.87                     | human    | 5        | 219    | 0.41                     |
| materials   | 9        | 117    | 0.42                     | slime        | 5        | 161    | 0.59                     | design   | 6        | 175    | 0.33                     |
| light       | 5        | 114    | 0.40                     | building     | 8        | 150    | 0.55                     | figure   | 6        | 151    | 0.28                     |
| biomimetics | 11       | 107    | 0.38                     | mycelium     | 8        | 142    | 0.52                     | street   | 6        | 127    | 0.24                     |
| inspired    | 8        | 81     | 0.29                     | biology      | 7        | 141    | 0.52                     | right    | 5        | 116    | 0.22                     |
| design      | 6        | 78     | 0.28                     | mould        | 5        | 135    | 0.50                     | building | 7        | 110    | 0.21                     |
| surfaces    | 8        | 73     | 0.26                     | design       | 6        | 128    | 0.47                     | first    | 5        | 100    | 0.19                     |
| colour      | 6        | 68     | 0.24                     | material     | 8        | 128    | 0.47                     | nature   | 6        | 96     | 0.18                     |
| material    | 8        | 67     | 0.24                     | systems      | 7        | 126    | 0.46                     | research | 6        | 96     | 0.18                     |
| energy      | 6        | 65     | 0.23                     | system       | 6        | 101    | 0.37                     | world    | 5        | 91     | 0.17                     |
| structure   | 9        | 65     | 0.23                     | structure    | 9        | 100    | 0.37                     | visual   | 6        | 80     | 0.15                     |
| nature      | 6        | 59     | 0.21                     | built        | 5        | 99     | 0.36                     | modern   | 6        | 79     | 0.15                     |
| source      | 6        | 56     | 0.20                     | biological   | 10       | 97     | 0.36                     | sussman  | 7        | 75     | 0.14                     |
| problem     | 7        | 50     | 0.18                     | different    | 9        | 96     | 0.35                     | humans   | 6        | 73     | 0.14                     |
| structures  | 10       | 50     | 0.18                     | process      | 7        | 84     | 0.31                     | house    | 5        | 66     | 0.12                     |
| university  | 10       | 49     | 0.17                     | blending     | 8        | 77     | 0.28                     | planning | 8        | 66     | 0.12                     |
| wings       | 5        | 48     | 0.17                     | materials    | 9        | 76     | 0.28                     |          |          |        |                          |
| different   | 9        | 47     | 0.17                     | structures   | 10       | 73     | 0.27                     |          |          |        |                          |

Tabla 14

Base de datos depuradas, correspondientes a El gen egoísta, Design of autoreaction y Towards a living architecture?

| Palabra        | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) | Palabra       | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) | Palabra      | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) |
|----------------|----------|--------|--------------------------|---------------|----------|--------|--------------------------|--------------|----------|--------|--------------------------|
| genes          | 5        | 786    | 0.51                     | architecture  | 12       | 725    | 0.83                     | architecture | 12       | 717    | 0.61                     |
| selección      | 9        | 299    | 0.19                     | design        | 6        | 625    | 0.72                     | building     | 8        | 663    | 0.56                     |
| forma          | 5        | 251    | 0.16                     | computation   | 11       | 295    | 0.34                     | research     | 8        | 646    | 0.55                     |
| hijos          | 5        | 226    | 0.15                     | genetic       | 7        | 294    | 0.34                     | construction | 12       | 590    | 0.50                     |
| población      | 9        | 219    | 0.14                     | biology       | 7        | 286    | 0.33                     | biomimetic   | 10       | 568    | 0.48                     |
| individuos     | 10       | 218    | 0.14                     | systems       | 7        | 272    | 0.31                     | design       | 6        | 521    | 0.44                     |
| teoría         | 6        | 208    | 0.13                     | living        | 6        | 253    | 0.29                     | structures   | 10       | 509    | 0.43                     |
| hembras        | 7        | 201    | 0.13                     | material      | 8        | 246    | 0.28                     | basic        | 5        | 455    | 0.38                     |
| cuerpo         | 6        | 197    | 0.13                     | evolutionary  | 12       | 245    | 0.28                     | biological   | 10       | 450    | 0.38                     |
| tiempo         | 6        | 182    | 0.12                     | theory        | 6        | 242    | 0.28                     | pages        | 5        | 409    | 0.35                     |
| supervivencia  | 13       | 176    | 0.11                     | biological    | 10       | 234    | 0.27                     | download     | 8        | 408    | 0.34                     |
| macho          | 5        | 174    | 0.11                     | cells         | 5        | 231    | 0.26                     | based        | 5        | 323    | 0.27                     |
| individuo      | 9        | 169    | 0.11                     | generative    | 10       | 220    | 0.25                     | systems      | 7        | 307    | 0.26                     |
| madre          | 5        | 164    | 0.11                     | architectural | 13       | 218    | 0.25                     | material     | 8        | 304    | 0.26                     |
| especies       | 8        | 161    | 0.10                     | synthetic     | 9        | 211    | 0.24                     | structure    | 9        | 292    | 0.25                     |
| estrategia     | 10       | 161    | 0.10                     | complexity    | 10       | 197    | 0.23                     | model        | 5        | 276    | 0.23                     |
| hembra         | 6        | 156    | 0.10                     | engineering   | 11       | 193    | 0.22                     | structural   | 10       | 273    | 0.23                     |
| especie        | 7        | 154    | 0.10                     | menges        | 6        | 191    | 0.22                     | process      | 7        | 251    | 0.21                     |
| comportamiento | 14       | 148    | 0.10                     | nature        | 6        | 186    | 0.21                     | materials    | 9        | 247    | 0.21                     |

*Nota:* Usando estas tablas como referencia, se procedió a tomar cada uno de los conceptos identificados para generar una tabla específica. En esta tabla se incluyeron todos los conceptos encontrados, pero se les dio prioridad a los tres primeros y más relevantes para la construcción de la investigación y la posterior toma de postura, desde el conteo de cada una de las palabras arrojadas en cada base de datos específica de los textos.

Estas tablas sirvieron como un recurso fundamental para organizar y visualizar los conceptos clave identificados durante la fase de análisis de datos. Al priorizar los tres conceptos más importantes, se facilitó la identificación de las tendencias y patrones más significativos dentro del conjunto de datos recopilados. Esta información fue esencial para guiar el desarrollo de la investigación y para definir la postura que se tomaría en relación con los temas tratados.

El uso de esta tabla permitió una mejor comprensión de la diversidad y la interconexión de los conceptos dentro del campo de estudio, lo que ayudó a establecer una base sólida para el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación.

*Tabla 15*

Base de datos depuradas final, unión de datos

| Palabra      | Longitud | Conteo | Porcentaje ponderado (%) |
|--------------|----------|--------|--------------------------|
| design       | 6        | 2015   | 0.30                     |
| architecture | 12       | 1870   | 0.28                     |
| systems      | 7        | 1251   | 0.19                     |
| biological   | 10       | 1184   | 0.18                     |
| materials    | 9        | 1161   | 0.17                     |
| building     | 8        | 1157   | 0.17                     |
| structures   | 10       | 1131   | 0.17                     |
| research     | 8        | 1090   | 0.16                     |
| material     | 8        | 1082   | 0.16                     |
| nature       | 6        | 1033   | 0.15                     |
| system       | 6        | 1012   | 0.15                     |
| genes        | 5        | 952    | 0.14                     |
| using        | 5        | 944    | 0.14                     |
| human        | 5        | 895    | 0.13                     |
| structure    | 9        | 882    | 0.13                     |
| process      | 7        | 857    | 0.13                     |
| based        | 5        | 850    | 0.13                     |
| biomimetic   | 10       | 796    | 0.12                     |
| inspired     | 8        | 779    | 0.12                     |

### **Conceptos principales**

A partir de la depuración de los datos recopilados, se identificaron tres conceptos principales que servirían como base para profundizar en el tema de investigación y generar nociones pertinentes para la creación del artículo principal. Estos conceptos resultantes se dieron cómo materiales, estructuras y sistemas, destacándose como los más relevantes dentro de la base de datos y la depuración de conceptos realizada en el marco de esta investigación.

Con esta información en mano, se pudo comenzar a determinar diversas nociones y definiciones que ayudarían a comprender la percepción propia de lo que significa la arquitectura genética. Se decidió generar descripciones precisas y definiciones para estos conceptos, basadas en los hallazgos obtenidos durante la depuración de datos y la investigación previa realizada. Esto permitiría establecer un marco conceptual sólido y coherente para el desarrollo del artículo principal.

Además, se buscó trascender las definiciones convencionales de estos conceptos, considerando también las perspectivas de la genética y la biología. Esto permitió categorizar diferentes corrientes arquitectónicas en relación con la arquitectura genética, con el fin de determinar si las obras de arquitectura contemporánea se alineaban con estos conceptos o si se limitaban a otras influencias, como se había encontrado previamente en el análisis de biomimética y bioinspiración.

Este enfoque multidisciplinario permitió un análisis más profundo y completo de la arquitectura genética, explorando sus implicaciones en términos de materiales, estructuras y sistemas, así como su relación con los principios fundamentales de la genética y la biología.

*Nota:* En la contextualización de lo encontrado, se entiende la biomimética y la biomimesis cómo criterios y conceptos que resultan de la imitación de la naturaleza en distintos niveles, la mimética desde sus procesos, y la mimesis de sus formas naturales y estructurales, mientras que el concepto de arquitectura genética se basa en la manipulación consciente de organismos vivos.

### **Definiciones basadas en la base de datos**

Con el objetivo de definir con precisión los conceptos de materiales, estructuras y sistemas, se optó por ir más allá de una lectura minuciosa de los libros y se empleó un enfoque sistemático para identificar las definiciones exactas presentes en las fuentes bibliográficas. Para ello, se utilizó el *software Nvivo*, el mismo utilizado en la depuración de datos, lo que permitió un análisis más enfocado y preciso de las definiciones encontradas en los libros.

Este enfoque permitió trascender las concepciones preexistentes sobre los conceptos de materiales, estructuras y sistemas, al explorar directamente las definiciones proporcionadas en la literatura especializada. Se buscaba una comprensión más crítica y detallada de estos conceptos, con el fin de establecer diferencias significativas que servirían como base para la posterior categorización y análisis de obras arquitectónicas que se consideren entre la vanguardia de la biomimesis y la biomimética, esto para encontrar qué vestigios de la arquitectura genética existan en estos y si es una aplicación allegada o no a la concepción principal aproximada en esta investigación.

Además, se reconoció la importancia de los autores como fuentes prominentes de información, cuyas obras proporcionaban un insumo fundamental para comprender los



exactas de dónde se encontraban en los libros, facilitando así la búsqueda y comprensión de su uso en cada contexto específico.

Esta herramienta fue fundamental para el proceso de definición y contextualización, ya que proporcionó una visión detallada de cómo se utilizaba el concepto de "sistemas" en la literatura revisada. Al mostrar todas las instancias de su uso y las referencias asociadas, se facilitó el análisis y la interpretación de su significado dentro del ámbito de la arquitectura genética. Este enfoque permitió una comprensión más completa y precisa del concepto, lo que contribuyó significativamente a la generación de una definición contextualizada y fundamentada en la investigación.

De igual forma, se inicia una contextualización adicional a través del prisma de la biomimética, dado que el concepto de arquitectura genética no estaba precisamente presente en los textos estudiados. Por consiguiente, se optó por definir estos conceptos en el marco de la biomimética, la bioinspiración y la propia biomimesis, para que estuvieran más alineados con el contexto principal que se buscaba establecer en la investigación posterior de obras arquitectónicas.

**Definición del término *Systems*:** -En el contexto de la investigación biomimética para arquitectura y construcción se refiere al estudio y aplicación de estructuras, funciones y procesos encontrados en sistemas biológicos. Esto incluye explorar la manera en que los sistemas naturales, como los de plantas, animales y ecosistemas, pueden inspirar e informar el diseño y desarrollo de sistemas técnicos en arquitectura y construcción. –

La investigación biomimética implica examinar las relaciones y mecanismos presentes en materiales y organismos biológicos. El objetivo es obtener una comprensión más profunda de los principios que rigen los sistemas biológicos y aprovechar este conocimiento para la creación de soluciones técnicas eficientes. Este enfoque integra ideas de la biología en el diseño e ingeniería de materiales, estructuras y otros sistemas.

Las referencias dadas en el glosario sugieren que el término "sistemas" en este contexto abarca una amplia variedad de temas, incluyendo la estructura y función de materiales biológicos, la disipación de energía en sistemas de carga, principios de autoorganización, organizaciones jerárquicas dentro de sistemas vivos y la aplicación de principios de construcción en organismos vivos. Además, el término está asociado con el desarrollo de sistemas sostenibles y eficientes, así como la exploración de nuevos materiales y tecnologías inspiradas en propios sistemas naturales.

**Referencia 1 - Cobertura 0,01%**  
 Flip PDF Download | FlipHTML5  
 Motto: **Structure** and function of biological systems

**Referencia 2 - Cobertura 0,01%**  
 immense variety of shapes and **structures** from macro down to the

**Referencia 3 - Cobertura 0,01%**  
 amount of information about the **structure** and functions of biological materials

**Referencia 4 - Cobertura 0,01%**  
 deal with topics related to **structure** and function in biological systems

**Referencia 5 - Cobertura 0,01%**  
 Construction  
 Biological Design and Integrative **Structures** □ Springer <https://fliphtml5.com/rigf>

**Referencia 6 - Cobertura 0,01%**  
 Jan Knippers Institute of Building **Structures** and Structural Design (ITKE) University

**Referencia 7 - Cobertura 0,01%**  
 Institute of Building Structures and **Structural** Design (ITKE) University of Stuttgart

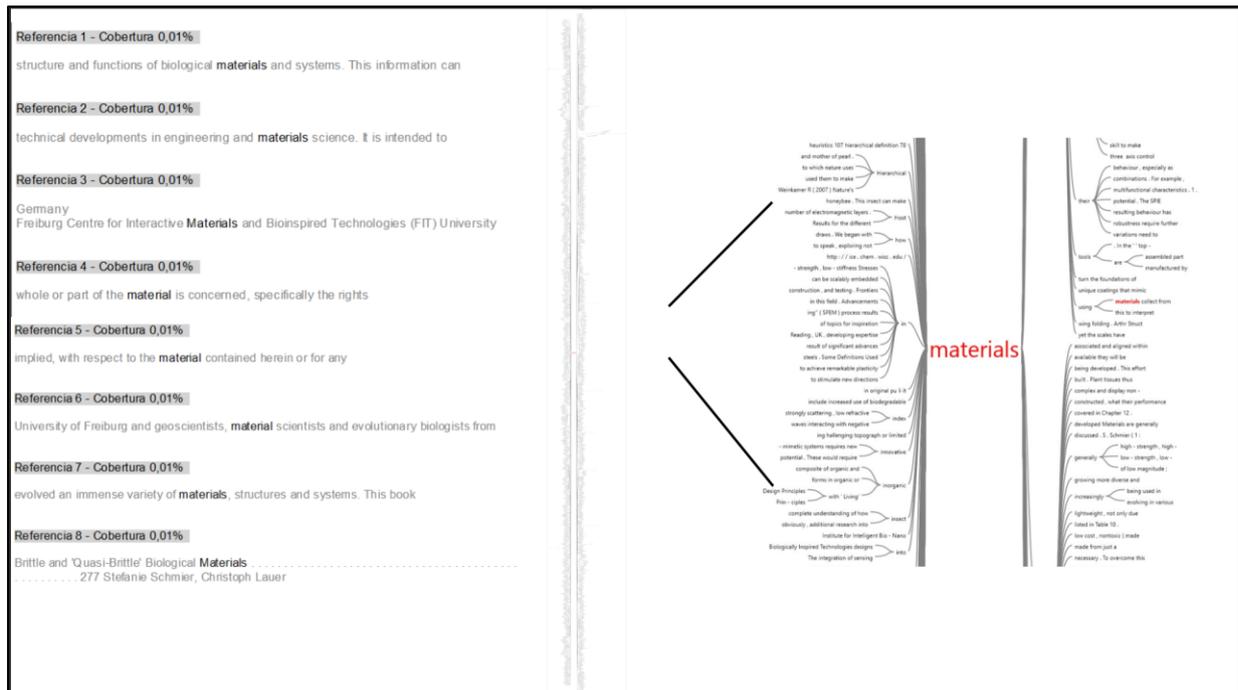
**Referencia 8 - Cobertura 0,01%**  
 141 'Biological Design and Integrative **Structures** - Analysis, Simulation and Implementation in

Ilustración 3 Información para la creación de definición de estructuras

**Definición del término *Structures*:** - En el contexto de la investigación biomimética de referencias para arquitectura y construcción, se refiere a las formas y configuraciones físicas de los sistemas biológicos y a la aplicación de estos principios en el diseño y la construcción de estructuras arquitectónicas—

“Structures” abarca una amplia variedad de formas y patrones encontrados en la naturaleza, desde macroestructuras hasta estructuras a nanoescala. En el contexto de la biomimética, se busca comprender y aplicar los principios estructurales observados en organismos vivos para mejorar el diseño y la construcción de edificaciones. Esto incluye la adaptación de principios como la autoorganización, la multifuncionalidad y la jerarquía estructural en el diseño de edificaciones.

La investigación biomimética en el ámbito de las estructuras se centra en la aplicación de conceptos derivados de la observación de la naturaleza para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las estructuras artificiales. Se abordan temas como la simulación y la implementación de estructuras integradoras, el análisis de relaciones entre la estructura y la función en sistemas biológicos, y la aplicación de principios biomiméticos en la ingeniería estructural.



*Ilustración 4 Información para la creación de definición de materiales*

**Definición del término *Materials*:** En el contexto de la investigación biomimética para arquitectura y construcción se refiere a sustancias utilizadas en la construcción y diseño inspiradas por las propiedades y estructuras encontradas en sistemas biológicos. Estos materiales pueden abarcar desde estructuras biológicas como tejidos y órganos hasta materiales sintéticos diseñados con principios derivados de la naturaleza. –

El término "materiales" implica tanto la exploración de sustancias biológicas existentes como la creación de nuevos materiales basados en principios observados en la naturaleza. Esto incluye el estudio de la estructura y función de materiales biológicos, así como el desarrollo de biomateriales sintéticos que imitan las propiedades específicas encontradas en sistemas vivos.

La investigación biomimética en el campo de materiales se centra en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes, aprovechando la diversidad de estructuras y propiedades presentes en la naturaleza. Se abordan temas como la multi-capas o la fibra para ajustar física y químicamente los materiales, la aplicación de principios de sostenibilidad en el uso de materiales de construcción y la integración de la investigación biomimética en la síntesis de materiales.

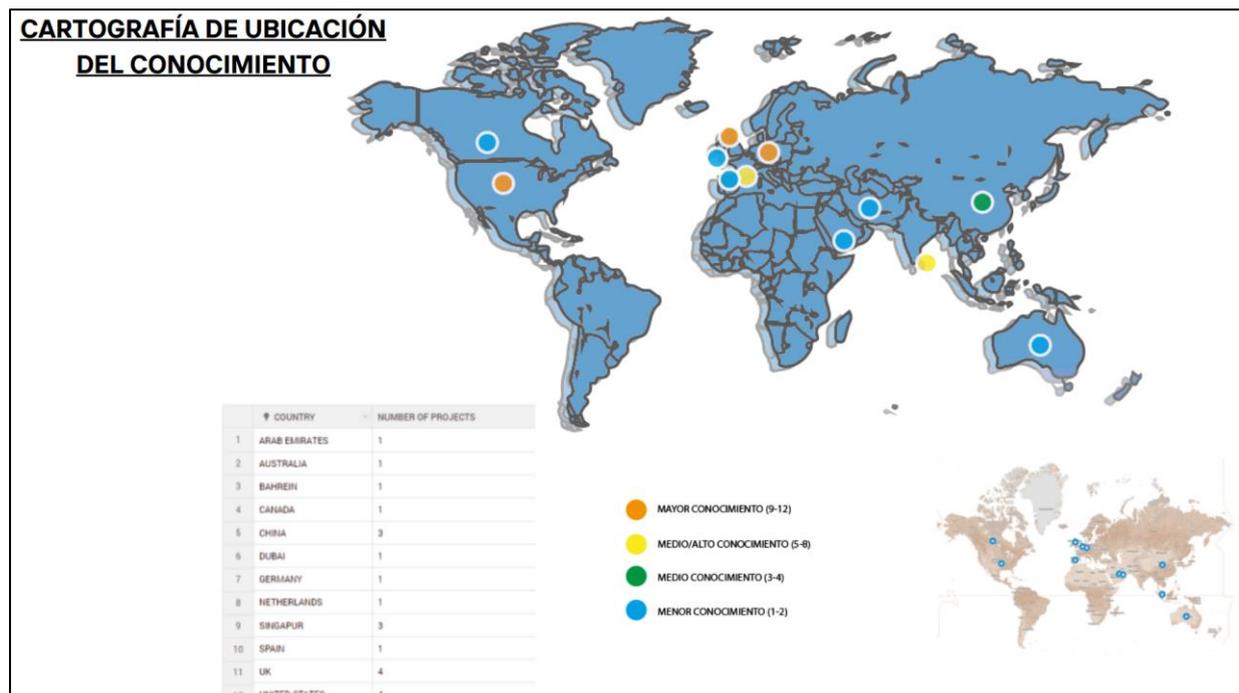
*Nota:* Además, al definir estos conceptos, se consideró fundamental comprender el alcance que podrían tener en el contexto de la investigación. Se observó que cada una de las definiciones y cada vez que se empleaban estos conceptos dentro de los libros estudiados estaban estrechamente relacionados con los materiales. Esto se debe a que los materiales constituían el eje principal en la concepción de estructuras y sistemas, siguiendo un orden lógico de importancia: materiales, estructuras y sistemas.

**Elaboración Catálogo de obras arquitectónicas**

Antes de adentrarnos en investigaciones más profundas sobre estos tres conceptos, que han sido identificados como el enfoque principal a través de los materiales, se planteó la necesidad de realizar un proceso de constatación de los términos en el ámbito arquitectónico físico. Este proceso tenía como objetivo examinar si las obras de arquitectura que se entendieran desde la biología consideraban o no estos conceptos, tal como habían sido definidos mediante la realización de definiciones contextuales basadas en el glosario y mapas mentales anteriores.

Para ello, se decidió elaborar un catálogo que abarcara los principios fundamentales de las obras arquitectónicas, incluyendo las formas en que estas se inspiraban arquitectónicamente y cómo respondían a la noción de arquitectura genética. Se llegó a este catálogo mediante los datos de la totalidad de los libros catalogados, determinando en qué lugares del mundo había más interés por los temas de arquitectura ligados a la biología. Se buscaba determinar si estas obras se podían clasificar dentro del ámbito de la arquitectura genética como ha sido definida juntando los conceptos encontrados, o si simplemente adoptaban formas arquitectónicas que imitaban procesos naturales desde la biomimesis y biomimética.

Este catálogo serviría como una herramienta para analizar y categorizar las diversas manifestaciones arquitectónicas en relación con los conceptos arrojados anteriormente relacionados con el concepto de arquitectura genética. Esto permitiría identificar patrones y tendencias en la aplicación de estos conceptos en la práctica arquitectónica, así como evaluar la relevancia y el impacto de la “arquitectura genética” en el diseño y la construcción contemporáneos.



*Ilustración 5 Mapa de rastreo del conocimiento*

Una vez completada la base de datos inicial, se optó por realizar una localización utilizando las tendencias encontradas en la información disponible en internet. Este enfoque nos permitió identificar las posiciones y los intereses predominantes en el ámbito global con respecto a los principales conceptos abordados: biomimética, bioinspiración y arquitectura en general.

Utilizando la base de datos como punto de referencia primordial, se procedió a triangular estas tendencias con las obras arquitectónicas recopiladas. Esto nos ofreció la oportunidad de realizar comparaciones y análisis relevantes para la investigación en curso.

Este método de triangulación nos brindó una visión más completa y holística de cómo se abordan y aplican estos conceptos tanto en la teoría como en la práctica arquitectónica a nivel mundial. Además, nos permitió examinar las convergencias y discrepancias entre las

percepciones y aplicaciones de la biomimética, la bioinspiración y la arquitectura genética en diferentes contextos y culturas.

El mapa previamente creado sirvió como guía para identificar más referencias textuales sobre la arquitectura genética, la biomimética y la biología, además de los otros conceptos mencionados. Este proceso permitió realizar un catálogo exhaustivo y consciente para encontrar las obras arquitectónicas más relevantes que abordaran estos temas, ya sea desde la perspectiva de la materialidad, la estructura o los sistemas.

Al utilizar el mapa preliminar como punto de partida, ampliar la búsqueda en distintas fuentes y plataformas, asegurándose de abarcar una variedad de perspectivas y enfoques sobre los conceptos clave. Esto ayudó a recopilar una selección diversa de obras arquitectónicas que sirvieran como fundamentos para la investigación.

El proceso de creación de este catálogo se llevó a cabo con meticulosidad y atención al concepto dado a las obras desde su concepción, asegurándose de incluir obras que abordaran los temas de manera explícita y significativa. De esta manera, establecer una base sólida de referencias que enriquece el análisis y comprensión de la intersección entre la arquitectura, la biología y la innovación en los temas particulares que se querían analizar.

Tabla 16

Catálogo de obras 1

| BUILDING NAME                         | YEAR | AUTORS                           | COUNTRY | PARTICULARIES   | CONCEPT  | MATERIAL  | RANGE   | CONCEPT/TECHNOLOGICAL                              | LINK  | METHODOLOGY   | NO. |
|---------------------------------------|------|----------------------------------|---------|---|--|---|---|--|---|---|-----|
| Edificio Bullitt Center               | 2013 | The Bullitt Foundation           | US      | Solar Panels, Energy Storage, Systems, Water Recycling, System, Ventilation, Natural, LED Lighting, Materials, Plus, etc. | Designed with an emphasis on environmental sustainability and innovation as a "Living Building".   | non-toxic, and locally sourced materials is a fundamental part of the building's concept. This includes the extensive use of low-VOC materials used for the structure.  |  | NONE   |   | Energy Efficiency: The Bullitt Center employs advanced energy-efficient technologies, including rooftop solar, energy storage, and water recycling, and is designed for carbon neutrality. Water Management: Features a sophisticated rainwater and greywater system, including a rainwater harvesting system, greywater recycling, and an advanced composting toilet system. Design and Materials: The building serves as an educational tool, with on-site energy and water production, and a focus on green building practices. Adaptive Reuse: The project also was chosen to promote walkability and as an example of adaptive reuse, demonstrating the viability of urban areas without requiring any gentrified areas.                             | 1   |
|                                       | 2019 | Zaha Hadid Architects            | CHINA   | Capacity and Growth, etc.   | The concept of a Living Energy International Airport is centered around becoming a modern, world-class transportation hub that serves as a major gateway to China's capital, setting an example of commitment to sustainable development.                                |   |  | NONE   |   | Global Connections: The modular construction approach enables efficient and timely completion of the airport's facilities to meet increasing demand and flight frequency. The airport's design is a testament to a modern passenger experience, including digital check-in, smart navigation, and efficient baggage claim services. Collaborative Design: Through a combination of Public-Private Partnership (PPP) and a focus on innovation, architectural and engineering firms, ensuring a high-quality, sustainable airport. Green Building: The project also incorporates green building practices, such as energy-efficient HVAC systems, water-saving fixtures, and green spaces, all incorporated into the airport's construction and operation. | 2   |
| Edificio Capen Tower                  | 2010 | SOM (Skidmore, Orange & Merrill) | EMIRAT  | Testing Form, etc.  | realizes an iconic building a dynamic and iconic structure that defines a new architectural vision of verticality and modernity. The building design not only serves as an architectural program but also provides a model for sustainable and reduced carbon footprint. | verticality and iconic. The tower's structural system is a combination of steel and concrete, with a central core and perimeter columns. The tower's design is a testament to a modern architectural vision, ensuring a high-quality, sustainable building. |  | NONE   |   | The tower was constructed using a glazing technique that involved a continuous joint of concrete, allowing for a seamless continuous construction process.  | 3   |
| Museo de Historia Natural de Shanghai | 2015 | Prestonix                        | CHINA   | Sculptural Form, etc.   | The museum aims to provide an immersive and educational experience, engaging visitors with exhibits on paleontology, geology, biology, and more.   | glass and metal. The exterior features a combination of glass and metal, with a central core and perimeter columns. The tower's design is a testament to a modern architectural vision, ensuring a high-quality, sustainable building.                      |  | Shell Structure by Ribbing Chambers Chamber method | <a href="https://www.ribbing.com/projects/shell-structure-by-ribbing-chambers-chamber-method/">https://www.ribbing.com/projects/shell-structure-by-ribbing-chambers-chamber-method/</a> | The construction methodology involved a combination of structural steel and reinforced concrete to achieve the unique shell-like form.  | 4   |

Tabla 17

Catálogo de obras 2

| BUILDING NAME                                   | YEAR | AUTORS                           | COUNTRY | PARTICULARIES                       | CONCEPT  | MATERIAL  | RANGE   | CONCEPT/TECHNOLOGICAL                              | LINK  | METHODOLOGY  | NO. |
|---|------|----------------------------------|---------|-------------------------------------|--|---|---|--|---|--|-----|
| Instituto de Investigación Biomédica de Harvard | 2019 | Bjarke Ingels Group              | US      | Open and Collaborative Design, etc. | to provide a cutting-edge research facility that fosters collaboration and innovation in the field of biomedical research. The building design not only serves as an architectural program but also provides a model for sustainable and reduced carbon footprint.                                     | metallic and building materials that are light, with sustainability, such as recycled steel, aluminum, and other materials, and those that contribute to reduce its quality and increase health.  |  | NONE   |   | NO SPECIFIED   | 1   |
| Edificio Capen Tower                            | 2010 | SOM (Skidmore, Orange & Merrill) | EMIRAT  | Testing Form, etc.                  | realizes an iconic building a dynamic and iconic structure that defines a new architectural vision of verticality and modernity. The building design not only serves as an architectural program but also provides a model for sustainable and reduced carbon footprint.                               | verticality and iconic. The tower's structural system is a combination of steel and concrete, with a central core and perimeter columns. The tower's design is a testament to a modern architectural vision, ensuring a high-quality, sustainable building. |  | NONE   |   | The tower was constructed using a glazing technique that involved a continuous joint of concrete, allowing for a seamless continuous construction process.   | 2   |
| Museo de Historia Natural de Shanghai           | 2015 | Prestonix                        | CHINA   | Sculptural Form, etc.               | The museum aims to provide an immersive and educational experience, engaging visitors with exhibits on paleontology, geology, biology, and more.   | glass and metal. The exterior features a combination of glass and metal, with a central core and perimeter columns. The tower's design is a testament to a modern architectural vision, ensuring a high-quality, sustainable building.                      |  | Shell Structure by Ribbing Chambers Chamber method | <a href="https://www.ribbing.com/projects/shell-structure-by-ribbing-chambers-chamber-method/">https://www.ribbing.com/projects/shell-structure-by-ribbing-chambers-chamber-method/</a> | The construction methodology involved a combination of structural steel and reinforced concrete to achieve the unique shell-like form.   | 3   |
| Edificio Omega Center                           | 2016 | Bjarke Ingels Group              | US      | Open and Collaborative Design, etc. | The Omega Center is designed to be a flexible, open, and collaborative workspace that fosters innovation and collaboration in the field of sustainable design. The building design not only serves as an architectural program but also provides a model for sustainable and reduced carbon footprint. | Sustainable and iconic. The exterior features a combination of glass and metal, with a central core and perimeter columns. The tower's design is a testament to a modern architectural vision, ensuring a high-quality, sustainable building.               |  | NONE   |   | Involves a combination of traditional building methods along with specific strategies for sustainable design. The construction methodology involved a combination of structural steel and reinforced concrete to achieve the unique shell-like form. | 4   |

Tabla 18

## Catálogo de obras 3

| BUILDING NAME  | YEAR | AUTHORS             | COUNTRY   | PARTICULARITIES   | CONCEPT  | MATERIAL   | IMAGE  | CONCEPT BIOLOGICAL  | LINK  | DET/COLOGY   | NO |
|--|------|---------------------|-----------|---|--|--|--|---|---|--|----|
| Edificio Omega Center  | 2015 | Birkbeck Architects | US        | Adaptive and Context Design (Energy Efficiency/Resilience)                                  | The Omega Center is designed to be a high-tech and environmentally sustainable building. The concept involves an integrated building that not only serves as a modern workplace but also functions as a community hub. The design emphasizes sustainability, energy efficiency, and cutting-edge technology. | Sustainable and environmentally friendly materials were used to ensure the building's long-term viability. The design also incorporates green spaces and urban integration.                      |   | NONE  |   | Included a combination of traditional building methods along with specific strategies for sustainable construction. The incorporation of energy-efficient systems, advanced ventilation, and the utilization of sustainable materials were key factors in the overall design and construction process. |    |
| Edificio The Hive  | 2021 | Hatchweek Studio    | SINGAPORE | Twelve Storey Office and Business Centre (Energy Efficient and Sustainable Building Design) | The concept behind The Hive is to create a modern building that fosters collaboration and energy efficiency. The building's design is inspired by the structure of a beehive, symbolizing teamwork and productivity. It features a central atrium and a facade that changes color throughout the day.        | The primary material of choice was a sustainable, low-carbon concrete. The building's design also incorporates green walls and a facade that changes color throughout the day.                   |   | Highly innovative design in terms of energy efficiency and sustainability. The use of green walls and a facade that changes color throughout the day. | <a href="https://www.hatchweek.com/projects/the-hive">https://www.hatchweek.com/projects/the-hive</a> | The construction involved a combination of traditional building methods and advanced techniques. The use of prefabricated concrete panels with unique shapes and colors.   |    |
| Centro de Investigación Biomédica de la Universidad de Reading | 2018 | HASELL              | UK        | NO  | NO   | NO   |   | NO  | NO  | NO   |    |
| Edificio Eden Tower  | 2020 | Targa Architects    | SINGAPORE | Mixed-Use Tower (Integration of Nature and Urban Development)                               | The Eden Tower is a mixed-use building that integrates nature and urban development. The design is inspired by the structure of a tree, symbolizing growth and sustainability. It features a central atrium and a facade that changes color throughout the day.  | The Eden Tower was designed to be a sustainable building that integrates nature and urban development. The design is inspired by the structure of a tree, symbolizing growth and sustainability. |  | NO  | NO  | The EDEN Tower had not been constructed.   |    |

## Conclusión catálogo, la introducción a la experimentación

El catálogo creado se convirtió en una herramienta eficaz para discernir la disposición de los textos, respaldándose en el mapa previo de rastreo del conocimiento y considerando la presencia de conceptos biológicos en cada obra determinados por sus propios diseñadores. Esta revisión reveló que, si bien algunas obras exploraban la materialidad, los sistemas y las estructuras, se inclinaban principalmente hacia enfoques de biomimética, bioinspiración o biométrica, no alcanzando las definiciones determinadas durante esta investigación. No reflejando con precisión la noción deseada de arquitectura genética, que implica una manipulación deliberada de dichos conceptos para impulsar la innovación arquitectónica y el diseño. Cabe mencionar, que cada una de las obras se observó desde el lente de los tres

conceptos principales únicamente, así mismo desde la percepción de la “arquitectura genética”.

Se observó una brecha en la comprensión de la arquitectura genética planteada en la investigación en las obras contemporáneas analizadas. Aunque se encontraron experimentos que sugerían manipulaciones en la forma, y los procesos que trataban de evocar, no se percibía una integración efectiva de estos conceptos en el diseño arquitectónico. Esto resaltó la necesidad de una investigación detallada para determinar si la arquitectura genética realmente podía aplicarse de manera consciente en el diseño arquitectónico o si su alcance estaba limitado a escalas microscópicas o no estructurales.

Además, durante la exploración del catálogo, se hizo evidente que la mayoría de las estructuras estaban relacionadas con la biomémesis y la biomimética, cómo ya mencionado. Estas estructuras se inspiraban en procesos naturales y formas orgánicas de manera consciente. Sin embargo, al analizar cada obra, se observó una falta de consideración hacia el uso del material, que es el principal componente de la concepción de la arquitectura genética, y el principal articulador de los conceptos determinados. Se planteó entonces la pregunta de si existía algún obstáculo o problema en el uso de materiales modificados, como los organismos vivos o biomateriales en general, y si esto los hacía ineficaces para estas estructuras, o si simplemente no se había considerado su uso de manera consciente.

Por lo tanto, se optó por llevar a cabo una experimentación empírica para realizar pruebas que proporcionaran información suficiente sobre la viabilidad del uso de dichos materiales en ámbitos estructurales y sistemáticos del diseño arquitectónico. Este enfoque permitiría discernir si las manipulaciones genéticas podrían implementarse eficazmente en la práctica

arquitectónica o si su aplicación se limitaría a aspectos específicos del proceso de diseño. Además, se decidió ampliar el alcance de la investigación mediante la experimentación consciente de los materiales, que podrían arrojar luz sobre las posibles aplicaciones y limitaciones de la arquitectura genética en la práctica contemporánea.

### **Planteamiento de la experimentación empírica**

Al definir los materiales como el factor principal para la investigación, se inició el proceso de determinar los alcances pertinentes para el estudio. Se optó por llevar a cabo una experimentación empírica con materiales que presentaran una perspectiva desde la biología y la genética. Estos materiales incluían variantes de bioplásticos y biomateriales, seleccionados por su capacidad de degradación, biodegradación y potencial de intercambio en comparación con los materiales contemporáneos, en este proceso se definió el uso del micelio de Ostra y, de forma alterna, un estudio experimental basado en bioplásticos con desechos orgánicos de frutas. Este enfoque permitiría explorar las características únicas de estos materiales y su posible aplicación en la práctica arquitectónica.

### **Selección del alcance**

El objetivo de la sección de experimentación de la investigación es depurar la información relacionada con los conceptos de materialidad, sistemas y estructuras, basándose en definiciones establecidas a partir de datos recopilados en el estado del arte. Estos tres conceptos se interrelacionan, siendo la materialidad el punto focal y de partida, seguida por la estructura y luego el sistema. Sin comprender y explorar las posibilidades de la materialidad desde las nociones de arquitectura genética, el entendimiento de las estructuras y sistemas se

vería limitado frente a las posibilidades de entendimiento que se quieren llegar a tener.

Inicialmente, se aborda la conceptualización de bioinspiración, biomímesis y mimesis, que choca con la idea de manipulación genética en la que se basa la investigación.

Para llevar a cabo la experimentación empírica, se decidió explorar la materialidad común en la construcción contemporánea, así como las posibilidades de los bioplásticos y el uso de hongos. Estos materiales representan áreas de estudio prometedoras en la búsqueda de alternativas constructivas o simplemente frente a la experimentación de posibilidades.

Al profundizar en esta línea de investigación, se abre un amplio espectro de posibilidades y desafíos. Es crucial examinar detenidamente cada material y su interacción con el entorno construido, así como considerar las implicaciones éticas y medioambientales de su uso. Este enfoque holístico permite el poder avanzar hacia soluciones innovadoras y potencialmente sostenibles en el campo de la arquitectura y la construcción.

El propósito de esta experimentación es abordar la depuración y profundización de la información relativa a los conceptos clave de materialidad, sistemas y estructuras en el contexto de la arquitectura contemporánea, centrándose principalmente, y de forma total en el potencial de la materialidad, considerando los conceptos de estructuras y sistemas en el marco de investigaciones futuras. Para lograr esto, se parte de las definiciones establecidas a partir del análisis de bases de datos y fuentes pertinentes, recopiladas durante la fase inicial de revisión bibliográfica.

Los tres conceptos mencionados, materialidad, sistemas y estructuras, se entrelazan de manera intrínseca en el campo de la arquitectura y la construcción. Sin embargo, se reconoce

que la materialidad actúa como el eje central y punto de partida de esta investigación. La exploración y comprensión de las características y potencialidades de los materiales disponibles en el entorno construido resulta fundamental para desarrollar una visión integral de las estructuras y sistemas arquitectónicos.

Es importante destacar que la materialidad no se limita únicamente a la selección de materiales convencionales, sino que también abarca nuevas alternativas que surgen de la investigación en áreas como la bioarquitectura y la ingeniería de materiales. En este sentido, se busca ir más allá de la materialidad tradicional para explorar soluciones sostenibles que respondan a los desafíos contemporáneos en el diseño y la construcción de edificaciones con los materiales ya existentes en el uso normal de construcciones mundialmente.

En el marco de esta investigación, se ha establecido una secuencia lógica en el análisis de los conceptos, comenzando por la materialidad y su relación con la manipulación genética y la bioinspiración general que abarca el uso de la biomimética. Esta exploración inicial sienta las bases para comprender las estructuras y sistemas arquitectónicos desde una perspectiva amplia e integrada que se busca sean desarrolladas tomando como punto de partida el marco de esta investigación.

En cuanto a la metodología empleada, se ha optado por esta aproximación empírica que involucra la realización de experimentos prácticos con una variedad de materiales. Se han seleccionado materiales comunes en la construcción contemporánea, como el concreto y el yeso, así como opciones dadas a la manipulación genética de los materiales para mostrar una versión innovadora, como los bioplásticos y los hongos. Estos experimentos iniciales servirán

como punto de partida para evaluar el rendimiento y las posibilidades de cada material en el contexto arquitectónico.

### **Experimentación empírica**

Después de analizar la situación previa, surgió la inquietud sobre la escasa aplicación de las nociones encontradas en la arquitectura genética en obras arquitectónicas reales. Se planteó la interrogante sobre si esta limitación se debía a la falta de viabilidad en la materialidad en relación con las estructuras y los sistemas, y se planteó la duda de si la visión de la arquitectura se mantenía arraigada a la biomimética y la biomimesis debido a esta razón. Para abordar esta cuestión, se decidió llevar a cabo esta práctica empírica para comprender cómo estos materiales podrían influir en la construcción y el diseño arquitectónico, evaluando su viabilidad frente a pruebas realizadas con materiales convencionales como el concreto y el yeso. La investigación inicial se centró en la observación de estos materiales para comprender su comportamiento en diferentes entornos y condiciones. Se realizó un análisis de los materiales más relevantes para este tipo de interacciones, con el objetivo de obtener una comprensión realista de su comportamiento físico. Esta exploración preliminar identificó el uso de hongos como un punto focal para la experimentación, dada la existencia de investigaciones previas sobre su aplicación en la construcción. Se establecieron dos enfoques principales para la experimentación: uno centrado en el uso de micelio de hongo (Ostra) y otro en los bioplásticos, explorando sus posibles aplicaciones en el contexto arquitectónico. Se llevarán a cabo pruebas comparativas entre estos materiales orgánicos y los materiales contemporáneos para evaluar sus reacciones y su viabilidad para su integración en procesos arquitectónicos. Este enfoque permitiría obtener información crucial sobre la idoneidad de estos materiales para su uso en la arquitectura genética y su potencial impacto en el diseño y la construcción. Siguiendo con la metodología propuesta, se procedió a realizar la experimentación basada en la observación meticulosa de cada uno de los experimentos. A lo

largo de cuatro semanas, se llevó a cabo un seguimiento detallado de cada uno de los materiales utilizados, con el objetivo de evaluar su comportamiento y su viabilidad en el contexto arquitectónico; la observación se basó en su ratio de crecimiento frente a cada uno de los experimentos, y hacer una comparación entre el sustrato, el yeso y el concreto, se observa cómo el micelio logra, o no, el colonizar más allá de su sustrato base, y si es aparentemente útil para más sustratos que no sean orgánicos propiamente dichos.

### **Experimentación empírica, seguimiento y observación**



*Ilustración 6 Ladrillos de micelio de Ostra 1, Primer día: 18 de febrero*

La experimentación comienza con la producción de micelio utilizando un sustrato inicial compuesto de aserrín, paja y humedecido uniformemente. En la imagen se pueden observar dos de los cuatro experimentos iniciales: uno utilizando únicamente sustrato y otro combinando yeso con el sustrato.

Cada recipiente contiene 200 gramos de sustrato, junto con 50 gramos de granos de maíz inoculados con micelio de ostra. En los otros experimentos, se utilizan 30 gramos de cemento

o yeso, combinados con una cantidad específica de agua (entre 50 y 90 ml), junto con el sustrato orgánico para permitir la colonización adecuada del micelio, cabe recalcar que la selección del molde para la observación se basa completamente en la facilidad que puedan ser encontrados en el mercado, el uso de distintos moldes que se usen para albergar el micelio no debería afectar el resultado final de la colonización, sin embargo, en el marco de la creación de un “ladrillo” de micelio, se deben crear o usar moldes con las medidas apropiadas para dimensionar sus posibilidades de igual forma que los ladrillos convencionales.

Inicialmente, se considera que el método de elaboración, obtención y proyección de estos materiales es sencillo, de fácil obtención y accesible para cualquier persona, ya que se encuentran en el mercado de forma usual, el micelio de ostra, particularmente, puede ser encontrado en tiendas naturistas, mercados, o proveedores especializados. Esto abre posibilidades interesantes tanto para la producción como para la experimentación que se pretende llevar a cabo.

Con respecto a su disposición frente a las condiciones ideales para su crecimiento, para el cultivo normal del hongo se requieren condiciones específicas pero flexibles, que radican en poder mantener el micelio en condiciones de temperatura específicas, de 14 a 22 grados centígrados, para que el micelio pueda crecer de manera constante, y así poder tener una mejor observación del mismo, de igual manera, las condiciones de luz en el micelio, aunque flexibles, es preferible no mantenerlo a la luz solar directa; la luz indirecta con perpetua sombra, o la total oscuridad son las dos mejores posibilidades para poder realizar el cultivo de los hongos y permitir que el micelio se logre preservar de mejor manera, promoviendo su crecimiento de forma más eficaz.



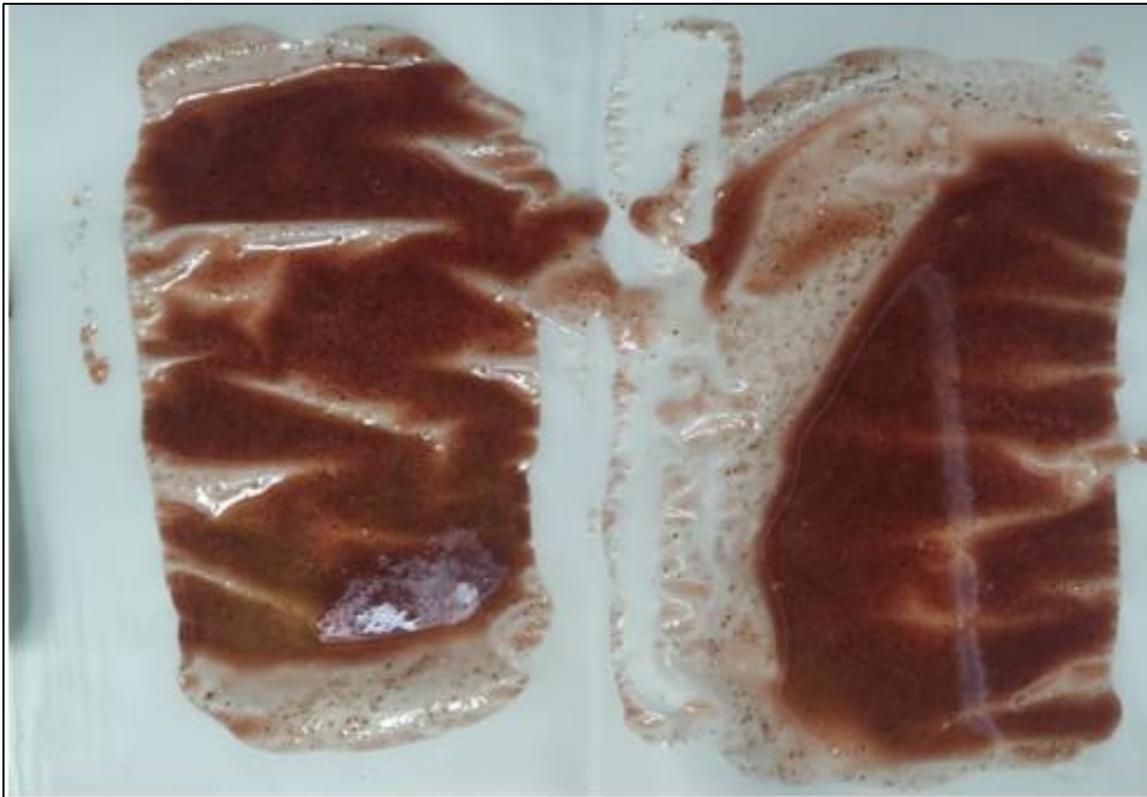
*Ilustración 7 Bioplástico 1, Primer día: 18 de febrero*

La experimentación comienza con la producción de bioplástico a base de desechos orgánicos, específicamente cáscaras de plátano. Este bioplástico se utilizará junto con los experimentos anteriores con micelio para realizar mediciones de resistencia y considerar su posible aplicación en prácticas arquitectónicas. En la imagen se pueden ver dos aplicaciones del producto resultante sobre papel encerado, el cual está compuesto por glicerina, maicena y los desechos orgánicos mencionados.

Para la elaboración del bioplástico, se utilizaron 100 ml de glicerina, 50 gramos de maicena y media cáscara de plátano común deshidratado y molido.

Inicialmente, se considera que el método de elaboración, obtención y proyección de estos materiales es sencillo, de fácil obtención y accesible para cualquier persona. Esto abre posibilidades interesantes tanto para la producción como para la experimentación que se pretende llevar a cabo.

El objetivo específico de este experimento es evaluar la posible aplicación del bioplástico en una variedad de áreas, incluyendo revestimientos, tratamientos de fachadas e incluso en estructuras tensadas.



*Ilustración 8 Bioplástico 2, Primer día: 18 de febrero*

Este experimento tiene las mismas especificaciones que el anterior, con la diferencia que se aplicaron diferentes pigmentos naturales basados en licopeno (un componente natural encontrado en frutas y vegetales, los cuales les dan su característico color rojo), para así

poder monitorear si esto tendría una reacción diferente frente al experimento anterior, y de esta forma poder abrir sus posibilidades frente a su uso en acabados arquitectónicos o elementos muebles en los espacios afectados.



*Ilustración 9 Bioplástico 3, Primer día: 18 de febrero*

De forma similar a los experimentos anteriores con bioplásticos, se planteó una nueva forma de experimentar con este material colocándolo en moldes para determinar su grosor máximo antes de solidificarse (150 ml de glicerina afectada por molde). Además, se varió la cantidad otros componentes cómo el pigmento, para observar cómo estas modificaciones afectaban el proceso de solidificación.

Los recipientes utilizados para esta experimentación albergaron 150 ml de glicerina, 70 gramos de maicena y media cáscara de plátano común deshidratado y molido, junto con pigmentos naturales para alterar su progreso en comparación con el experimento anterior.

Estos bioplásticos se colocaron en recipientes que permitieran contener el volumen necesario, lo que facilitó la observación de su proceso de solidificación de manera más precisa.

Al igual que en los experimentos previos, se consideró que el método de elaboración, obtención y proyección de estos materiales es sencillo y de fácil acceso para cualquier persona. Esta aproximación inicial nos brinda un panorama de las posibilidades tanto en términos de producción como de experimentación que se podrían explorar más a fondo.



*Ilustración 10 Ladrillos de micelio, Tercer día: 21 de febrero*

La primera revisión se llevó a cabo 3 días después de la elaboración inicial con el propósito de permitir una mayor reacción del micelio en los diferentes sustratos. Durante este período, se observó que el yeso y el concreto (compuesto por cemento, agua y arena base) se fortalecieron y solidificaron de manera efectiva. En contraste, el molde que contenía solo sustrato mostraba una mayor colonización de micelio, pero permanecía en un estado similar al original, manteniéndose húmedo y viscoso.

Se evidenció que el hongo encuentra dificultades para crecer en condiciones distintas al sustrato orgánico destinado específicamente para su crecimiento y colonización. No obstante, a pesar de las limitaciones y considerando la resistencia de materiales como el yeso y el concreto, se observó un crecimiento prolífico del hongo en estos sustratos modificados, lo que sugiere una reacción positiva del hongo en estas experimentaciones.



*Ilustración 11 Vista general bioplásticos, Tercer día: 21 de febrero*

A pesar de que se planificó que los experimentos duraran solo unos pocos días debido a la naturaleza de la glicerina, al llegar al tercer día de observación, los bioplásticos aún se encontraban en un estado líquido viscoso. Ante esta situación, se tomó la decisión de permitir que los bioplásticos se secan durante varios días adicionales.

Durante este período, se observó que los bioplásticos comenzaron a dispersarse y a manchar los diferentes moldes, dejando "manchas" en el papel encerado. Esta situación podría tener un impacto negativo en la solidificación del plástico en el futuro.

Con el objetivo de permitir una mejor observación y comprensión del proceso de secado y solidificación de los bioplásticos, se decidió extender el tiempo de experimentación para registrar con mayor detalle cualquier cambio o desarrollo en su estado.



*Ilustración 12 Vista general ladrillos de micelio, Quinto día: 23 de febrero*

Durante el cuarto día de observación, se observó un crecimiento limitado del micelio, lo que sugiere que aún se requerirían aproximadamente de 2 a 3 semanas adicionales para lograr la composición completa del biomaterial deseado. A partir de este punto, se decidió realizar un análisis más detallado de las interacciones del micelio con los diferentes sustratos.

Se inició un examen específico de cada uno de los moldes para poder evaluar con mayor precisión el progreso individual de cada sustrato. Además, se consideró la posibilidad de aumentar el intervalo entre las observaciones para registrar los cambios y avances de manera más significativa a lo largo del tiempo.



*Ilustración 13 ladrillo de micelio con yeso, Sexto día: 24 de febrero*

Como se mencionó anteriormente, se decidió realizar un estudio de observación específico para cada material. En el caso del yeso, se observó una solidificación casi completa del ladrillo. El micelio logró colonizar buena parte del sustrato y el material. Sin embargo, se consideró que al variar las condiciones de crecimiento al realizar las observaciones diariamente, podría estar afectándose el crecimiento del micelio, ya que, según la previsión de las 2 semanas, se esperaba un mayor crecimiento en este punto.

El yeso mostró ser el segundo material con mayor adherencia y respuesta favorable frente al micelio. Se espera que una vez que el micelio haya colonizado completamente el sustrato y el material, se consolide de manera sólida en el mismo.



*Ilustración 14 ladrillo de micelio con concreto, Sexto día: 24 de febrero*

Tanto el concreto como el yeso muestran una buena colonización del micelio, llegando al punto en el que los moldes ya no son necesarios y pueden ser retirados. Sin embargo, debido a las expectativas de crecimiento, aún persisten dudas sobre la integralidad del desarrollo del biomaterial.

Las propiedades inherentes del concreto fortalecen el biomaterial. Una de las principales interrogantes que surgirán en las próximas etapas de experimentación será si el micelio logra colonizar el interior del material o si se desarrolla de manera superficial.

Aunque el concreto es el material que ha mostrado menor avance en términos de colonización del micelio, este avance no ha sido impedimento para que el micelio continúe creciendo. Por lo tanto, se está observando de manera específica este material para tener un registro más detallado de su progreso.



*Ilustración 15 ladrillo de micelio con sustrato orgánico, Sexto día: 24 de febrero*

El sustrato orgánico único muestra avances significativos en el crecimiento del micelio. Se observa que el micelio se desarrolla de manera más robusta en este tipo de sustrato, lo que sugiere una mejor alimentación para su crecimiento. Sin embargo, a pesar de que se nota una mejora en su solidez en comparación con días anteriores, no se ha alcanzado un progreso completo acorde a las expectativas de crecimiento. Esto es especialmente relevante considerando que este experimento original es fundamental para determinar la viabilidad del uso de estos materiales en ámbitos arquitectónicos o de construcción.

Se continuará la observación y la recopilación de información hasta que se alcancen condiciones que permitan llegar a conclusiones más definitivas.



*Ilustración 16 ladrillo de micelio con únicamente cemento y agua, Sexto día: 24 de febrero*

Este material muestra el menor progreso de colonización por parte del micelio hasta el momento. Se observan pequeños brotes específicos que indican un crecimiento focalizado del micelio. Además, se han identificado granos de maíz que parecen no tener ningún rastro de micelio, lo que sugiere que el agua y la combinación con el cemento podrían haber "lavado" el micelio de estos granos. Se llevará a cabo un seguimiento para determinar si estos granos podrán crecer en el futuro.

La observación y la recopilación de información continuarán hasta que se alcancen condiciones que permitan obtener conclusiones más sólidas.



*Ilustración 17 ladrillo de micelio con yeso, 13er día: 02 de marzo*

Como se mencionó anteriormente, se decidió aumentar el intervalo entre observaciones para permitir una mejor apreciación de los avances en la colonización del micelio. En el caso del yeso, se observa un avance significativo, especialmente después de completar las primeras dos semanas de crecimiento. El micelio ha colonizado completamente la superficie del sustrato y del material de yeso. La rigidez del material ha aumentado considerablemente, fortaleciendo tanto el micelio como el sustrato con la adición de yeso. Se prevé dejar una semana adicional de crecimiento para llevar a cabo pruebas preliminares de resistencia.



*Ilustración 18 ladrillo de micelio con concreto, 13er día: 02 de marzo*

En el caso del concreto, hemos observado un cambio notable en la colonización del micelio, que ahora cubre completamente la superficie del material. Además, se ha producido un avance significativo en la solidificación completa del sustrato y el material. El concreto se ha despegado por completo del molde, y desde los extremos se puede apreciar cómo el micelio ha logrado abarcar dichos espacios. Se ha decidido permitir una semana más de crecimiento antes de interrumpir el proceso, con el objetivo de obtener resultados más robustos. El material ha adquirido rigidez adicional, y tanto el micelio como el sustrato se han fortalecido con la adición de concreto. Estamos planeando dejar una semana extra de crecimiento para poder llevar a cabo las pruebas preliminares de resistencia, temperatura y resistencia al viento.



*Ilustración 19 ladrillo de micelio con sustrato orgánico, 13er día: 02 de marzo*

El sustrato logró consolidar de manera más eficiente el micelio en comparación con los demás materiales. Sin embargo, al examinar con más detalle, se observa un crecimiento ligeramente menos significativo en comparación con los otros moldes y sus variaciones de material. Como en los otros experimentos, se ha decidido permitir una semana adicional de crecimiento antes de interrumpir el proceso para obtener el producto final. A pesar de que el material es más rígido, no se observa un crecimiento eficiente del micelio, incluso en este sustrato puro.



*Ilustración 20 ladrillo de micelio con únicamente cemento y agua, 13er día: 02 de marzo*

En el caso del concreto, se observó un cambio notable en la colonización del micelio, el cual ahora cubre completamente la superficie, indicando un progreso significativo en la solidificación del sustrato y del material. El bloque se ha despegado por completo del molde, permitiendo observar claramente cómo el micelio ha penetrado en todos los espacios. Se ha decidido dejar una semana adicional de crecimiento antes de detener el proceso, técnicamente hablando, para poder obtener el producto final.

Como se mencionó en el registro anterior de este experimento, se ha observado que los granos de maíz, que originalmente se pensaba que se habían perdido debido a la combinación de materiales, han brotado y colonizado con el micelio. El crecimiento del micelio es sustancial, ya que ha cubierto prácticamente toda la superficie del molde.



*Ilustración 21 ladrillos de micelio con sustrato, 13er día: 02 de marzo*

De forma alterna, se decidió crear cinco moldes externos de sustrato orgánico que no serían manipulados durante las primeras semanas, con el fin de comprobar la hipótesis de que la manipulación previa de los moldes podría afectar el crecimiento del micelio. Esto se debe a que se observó un crecimiento uniforme y acelerado en comparación con los moldes manipulados. Se dejarán una semana sin interrupción para poder realizar una comparación con los primeros experimentos y utilizarlos en las pruebas posteriores.

Esta parte de la experimentación fue algo sorprendente, ya que inicialmente se consideraba que las observaciones y la manipulación podrían estar afectando el crecimiento del micelio. Por lo tanto, antes de observar los otros ladrillos adicionales, se decidió llevar a cabo estos cinco experimentos por separado, sin ninguna interrupción externa. Después de aproximadamente una semana y media de dejarlos sin intervención, se permitirá que crezcan

completamente para evaluar cómo se desarrolla el micelio sin ser alterado por cambios de clima u otros factores externos, lo que permitirá una observación más precisa de su crecimiento.

### **Resultados de la observación**

Después de dejar cada uno de los materiales adicionales por unas dos semanas más, se obtuvieron resultados interesantes en comparación con los sustratos originales de yeso, concreto y otros materiales. Se determinó que estos materiales no continuarían creciendo, ya que habían alcanzado su punto máximo de colonización por parte del micelio. Por lo tanto, se optó por dejarlos en ese estado para comenzar pruebas de resistencia y absorción más exhaustivas, necesarias para llegar a conclusiones finales del experimento.

Por otro lado, los experimentos realizados únicamente con sustrato mostraron un crecimiento más prolífico del micelio en comparación con los otros materiales. Esto sugiere que la manipulación realizada para la observación y experimentación afectó de manera significativa el crecimiento del micelio en los otros casos. Sin embargo, los resultados obtenidos proporcionaron materiales resistentes que podrían ser sometidos a pruebas convencionales de resistencia y absorción.



*Ilustración 22 ladrillos de micelio con sustrato, finalización observación*

### **Conclusión del uso de Micelio de Ostra**

Como se mencionó anteriormente, los experimentos que se realizaron exclusivamente con el micelio y el sustrato, compuesto tanto de aserrín como de cáscaras de arroz, mostraron una prolífica colonización del hongo sobre el sustrato. Este experimento resultó ser el más exitoso de todos los realizados anteriormente. Por lo tanto, se decidió llevar a cabo distintas pruebas para observar cómo reaccionaban estos materiales frente a condiciones ambientales adversas.

Más allá de dejarlos en su estado de colonización para el crecimiento del hongo, se decidió exponerlos a condiciones normales, como las que se encontrarían en un entorno de construcción. Esto implicó dejarlos a la intemperie sin las condiciones específicas de oscuridad y humedad que se habían utilizado inicialmente para el crecimiento del hongo.

Observamos que estos materiales mostraron una adherencia y una colonización mucho más robusta en comparación con los experimentos anteriores que involucraban materiales contemporáneos. Además, se observó una competencia más sólida en comparación con el sustrato utilizado inicialmente para la observación.

Después de aproximadamente una semana de llevar a cabo pruebas alternativas para evaluar la adherencia y la reacción del micelio después de su muerte, se observó que, a pesar de estar completamente inerte, el hongo aún mostraba ciertas reacciones frente al contacto con otros organismos, tanto los presentes en otros ladrillos utilizados, generados a partir del mismo micelio, como las interacciones humanas habituales, como la observación directa y el contacto cotidiano.

Estas pruebas se llevaron a cabo en un entorno similar al de un hogar común, con diversas interacciones humanas. Se observó que el hongo, en ciertas condiciones, dejaba de crecer, volviéndose un material inerte, similar a los ladrillos convencionales utilizados en construcción. Sin embargo, también se observó un fenómeno interesante: los ladrillos apilados comenzaron a fusionarse de manera orgánica, volviéndose completamente rígidos. Además, se observó que estos ladrillos se unían al sustrato sobre el cual se habían colocado originalmente, el cual era de madera, un material inerte.

Este fenómeno sugiere que, bajo ciertas condiciones de interacción humana y exposición a la intemperie, el material puede encontrar nuevas formas de crecimiento y desarrollo. Este descubrimiento podría abrir la puerta a futuros experimentos para explorar cómo esta unión orgánica podría utilizarse para eliminar la necesidad de adhesivos en la construcción o para reforzar estructuras en entornos de construcción convencionales.

En la imagen anterior, se pueden observar los ladrillos apilados, los cuales se fusionaron orgánicamente en la parte inferior. El ladrillo en el medio es uno de los utilizados para la observación inicial, mostrando que el hongo había muerto y no había experimentado un crecimiento significativo. Los otros dos ladrillos en la parte frontal también fueron utilizados en la observación inicial, junto con la base de los cinco experimentos originales. A pesar de estar colonizados eficientemente por el micelio, no experimentaron un crecimiento adicional cuando se expusieron a condiciones de crecimiento normales durante varias semanas. Esto resalta el papel crucial de la interacción humana y la exposición a la intemperie en el crecimiento y desarrollo de estos materiales experimentales.

El siguiente paso en esta experimentación sería llevar a cabo pruebas técnicas para evaluar la efectividad de estos materiales en construcción. Es crucial someterlos a pruebas de resistencia bajo la supervisión de ingenieros y arquitectos especializados, quienes pueden comprender su aplicación práctica en la construcción. También es necesario tener en cuenta las normativas colombianas para determinar si estos materiales cumplen con los estándares requeridos para su uso en proyectos arquitectónicos y de construcción.

Estas pruebas técnicas abordarían diversos aspectos, desde la resistencia estructural hasta consideraciones estéticas y de diseño. Se evaluaría la capacidad de estos materiales para resistir cargas y tensiones, así como su durabilidad a largo plazo en condiciones climáticas variables. Además, se analizaría su viabilidad para su uso en fachadas y elementos arquitectónicos, así como su integración en la estructura de los edificios.

Para llevar a cabo estas pruebas, se utilizarían los laboratorios de la Universidad Javeriana, aprovechando su infraestructura y experiencia en investigación. Estas pruebas no solo permitirían determinar la idoneidad de los biomateriales para su uso en la construcción, sino que también podrían proporcionar información valiosa para futuros desarrollos en este campo emergente de la arquitectura sostenible.



*Ilustración 23 bioplásticos de residuos orgánicos, finalización observación*

### **Conclusión del uso de bioplásticos basados en desechos orgánicos frutales**

Después de aproximadamente dos semanas de experimentación, se llegó a la conclusión de que los bioplásticos no eran viables para continuar con la investigación planificada. A diferencia de los ladrillos de micelio, que mostraron resultados prometedores desde el inicio, los bioplásticos no cumplieron con las expectativas en términos de resistencia y durabilidad. El objetivo principal de estas pruebas era explorar la posibilidad de utilizar bioplásticos en

contextos estructurales y como revestimientos para edificios, comparándolos con materiales contemporáneos.

Durante las tres semanas de observación, se observó que los bioplásticos comenzaron a deformarse y perder resistencia. Específicamente, aquellos combinados con materiales que carecían de resistencia inherente se desintegraron, adquiriendo una textura similar a la arena. Esta falta de resistencia, elasticidad y durabilidad descarta en gran medida su aplicación en la construcción. Aunque se consideró la posibilidad de utilizarlos en maquetas arquitectónicas, no se contemplan para futuros experimentos ni para el objetivo final de esta investigación, que busca una aplicación efectiva en la práctica de la arquitectura y la construcción. Por lo que para los resultados, enfoque del artículo final y esta investigación, se finaliza el experimento con los bioplásticos de forma final en esta investigación, y de forma indeterminada en el planteamiento de la manipulación en el contexto de la arquitectura genética.

Tabla 19

Resumen porcentual resultados observación

| Crecimiento durante la observación del hongo(% aprox) | 1er día | 3er día | 5to día | 6to día | 13er día | 20vo día (preliminar al día de las pruebas de resistencia) |                  |
|---|---------|---------|---------|---------|----------|--|------------------|
| Yeso  | 0%      | 30.00%  | 40.00%  | 50.00%  | 85.00%   | 100.00%  | Muerte del hongo |
| Cemento+ agua   | 0%      | 20.00%  | 30.00%  | 35.00%  | 80.00%   | 95.00%   | Muerte del hongo |
| Concreto  | 0%      | 30.00%  | 35.00%  | 45.00%  | 80.00%   | 100.00%  | Muerte del hongo |
| Sustrato (aserrín-paja)                               | 0%      | 10.00%  | 40.00%  | 55.00%  | 75.00%   | 100.00%  | Muerte del hongo |
| Bioplástico ENCERADO                                  | 0%      | 5.00%   | 15.00%  | 15.00%  | 10.00%   | 0%   | No útil          |
| Bioplástico ENCERADO ROJO                             | 0%      | 5.00%   | 15.00%  | 15.00%  | 5.00%    | 0%   | No útil          |
| Moldes con bioplástico                                | 0%      | 5.00%   | 10.00%  | 10.00%  | 5.00%    | 0%   | No útil          |

**Evaluaciones técnicas, visión preliminar**

Para llegar a conclusiones definitivas sobre la viabilidad de estos materiales en la práctica arquitectónica y su relevancia en el ámbito académico, es crucial llevar a cabo evaluaciones exhaustivas de resistencia y absorción esencialmente. Estas pruebas nos permitirán comprender cómo estos materiales responderían en situaciones reales.

Se propone realizar un total de 5 experimentos de compresión y 5 experimentos de absorción, distribuidos entre los cinco experimentos más exitosos de entre los prototipos mostrados. Estos incluyen los ladrillos de micelio que demostraron una adherencia efectiva de manera orgánica, así como los tres principales que involucran concreto, sustrato y cemento con agua.

El objetivo de estas pruebas es obtener una comprensión completa de cómo se comportan estos materiales bajo diferentes condiciones y presiones. Esto nos permitirá llegar a una conclusión definitiva sobre su aplicabilidad en la arquitectura y su potencial para futuras consideraciones en la vanguardia de la disciplina.

**Evaluaciones técnicas**

Como se mencionó anteriormente, los laboratorios de la facultad de ingeniería están equipados con las instalaciones necesarias para llevar a cabo diversas pruebas de resistencia. Estas pruebas son cruciales para determinar la idoneidad de los materiales en arquitectura y construcción. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los resultados pueden variar considerablemente, incluso si se tiene conocimiento previo sobre el uso y la experimentación de estos materiales.

Inicialmente, se llevaría cabo una prueba de compresión, que proporcionaría resultados destacados para poder determinar las siguientes pruebas. Posteriormente y de forma idónea, se realizaría la prueba de absorción de agua, ambas de vital importancia para determinar los posibles usos de estos materiales. Es fundamental señalar que dentro del alcance de esta investigación se incluyen estos experimentos, que son los primeros en llevarse a cabo en relación con la experimentación de estos materiales.

Es importante reconocer que estos resultados iniciales, aunque significativos, deben ser sometidos a pruebas adicionales con el tiempo y en diversas aplicaciones. Esto incluye tanto el micelio de hongo como los materiales convencionales utilizados, como el concreto y el yeso.

Después de consultar con los expertos encargados de llevar a cabo estas pruebas, llegamos al día programado para la experimentación. En esta etapa, se consideraron cuatro experimentos que representaban los cuatro prototipos discutidos teóricamente. Estos incluían el uso del yeso, el concreto, el cemento con agua y el sustrato orgánico. La elección de estos materiales nos permitiría no solo comparar sus propiedades entre sí, sino también contrastarlos con sus equivalentes convencionales en la construcción, como los revestimientos de yeso y los materiales de concreto estándar. Además, exploraríamos las posibilidades que ofrece el sustrato de micelio en este contexto.



*Ilustración 24 Modelo de prensa de compresión Instron 3369*

Especificaciones:

La Instron 3369 es una máquina de ensayo universal que se utiliza para realizar pruebas de tracción, compresión, flexión, cizalladura y otros tipos de pruebas en una amplia variedad de materiales y productos. De forma general estas son algunas especificaciones típicas de la Instron 3369:

1. Capacidad de carga: Variable dependiendo del modelo específico, pero generalmente desde unos pocos Newtons hasta varias toneladas.
2. Velocidad de prueba: Ajustable, típicamente desde velocidades muy bajas para pruebas de materiales sensibles hasta velocidades más altas para pruebas de materiales más rígidos.

3. Rango de temperatura: Algunos modelos pueden estar equipados con cámaras de temperatura para realizar pruebas a diferentes temperaturas, desde ambiente hasta temperaturas elevadas o bajas.
4. Exactitud y precisión: Alta precisión en la medición de fuerza y desplazamiento, con capacidades para cumplir con estándares internacionales de pruebas.
5. Software de control: Viene con software dedicado para controlar y registrar datos durante las pruebas, con capacidades para análisis de datos y generación de informes.
6. Accesorios: Variedad de accesorios disponibles para adaptarse a diferentes tipos de muestras y aplicaciones de prueba, como mordazas de sujeción, platos de compresión, dispositivos de flexión, etc.
7. Dimensiones físicas: Tamaño y peso de la máquina pueden variar dependiendo del modelo y de los accesorios instalados.
8. Requisitos eléctricos: Voltaje de alimentación y consumo de energía de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

**Sacado de** (福步外贸建站-www.fobwebs.com, 2018)

### **Prueba número uno: Yeso**

La prensa hidráulica que se utilizará para llevar a cabo las pruebas de resistencia será crucial para determinar las características que serán determinantes en los resultados de esta investigación. Por esta razón, se determinó por el laboratorio que se utilizaría la prensa de compresión Instron 3369, una herramienta estándar reconocida por su versatilidad en pruebas de flexión, compresión y otras modalidades. Esta prensa ofrece la capacidad de aplicar una amplia gama de pruebas, incluida la prueba de compresión, que es fundamental para el propósito de la investigación. El proceso se inició con la prueba del yeso, material que ha sido identificado como uno de los más relevantes para el alcance de esta investigación, debido a que fue de los que mejores resultados dio frente a las observaciones.

Tabla 20

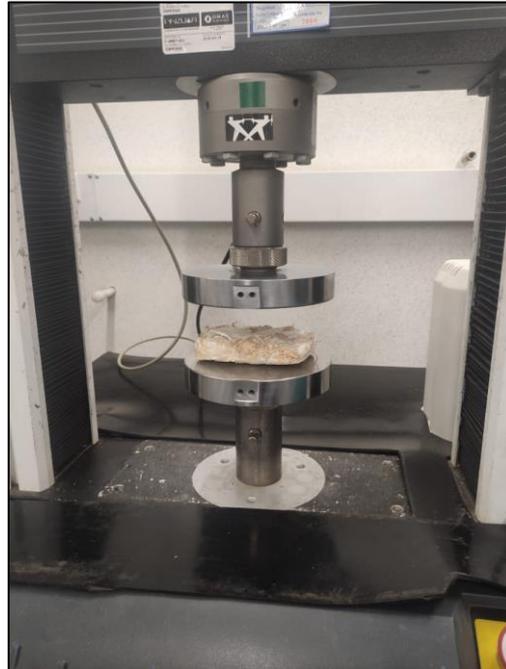
Resultados primera prueba: muestra de yeso

|      |  |                 |             |
|------|--|-----------------|-------------|
| 1    | Entradas de texto : Etiqueta de la probeta | MUESTRA DE YESO |             |
| 2    | Dimensión : altura del plato de compresión | 99              | mm          |
| 3    | Dimensión : Área                           | 0,2602          | cm^2        |
| 4    | Ensayo : Velocidad 1                       | 2               | mm/min      |
| 5    |  |                 |             |
| 6    | Tiempo                                     | Extensión       | Carga       |
| 7    | (sec)                                      | (mm)            | (N)         |
| 8    | 0  | 0               | 0,09606     |
| 9    | 0,1  | -0,00044        | 0,04122     |
| 10   | 0,2  | -0,00231        | 0,03024     |
| 11   | 0,3  | -0,00456        | -0,2095     |
| 12   | 0,4  | -0,00619        | -0,23301    |
| 13   | 0,5  | -0,00838        | -0,3756     |
| 14   | 0,6  | -0,00994        | -0,61065    |
| 15   | 0,7  | -0,0115         | -0,71563    |
| 16   | 0,8  | -0,01344        | -0,86136    |
| 17   | 0,9  | -0,01481        | -0,92091    |
| 18   | 1  | -0,0165         | -1,0212     |
| 19   | 1,1  | -0,01806        | -0,87233    |
| 20   | 1,2  | -0,02019        | -1,04627    |
| 21   | 1,3  | -0,02169        | -1,17476    |
| 22   | 1,4  | -0,02313        | -1,19043    |
| 23   | 1,5  | -0,02506        | -1,30169    |
| 24   | 1,6  | -0,02656        | -1,30012    |
| 25   | 1,7  | -0,02831        | -1,38317    |
| 26   | 1,8  | -0,02969        | -1,28131    |
| 27   | 1,9  | -0,03188        | -1,49129    |
| 28   |  |                 |             |
| 29   |  |                 |             |
| 8484 | 847,60006                                  | -18,77181       | -40306,4579 |
| 8485 | 847,7                                      | -18,77475       | -40310,6123 |
| 8486 | 847,80006                                  | -18,77831       | -40374,6843 |
| 8487 | 847,9                                      | -18,7815        | -40399,0418 |
| 8488 | 848,00006                                  | -18,78487       | -40454,492  |
| 8489 | 848,10006                                  | -18,78831       | -40490,3084 |
| 8490 | 848,12606                                  | -18,78906       | -40503,4632 |

En esta tabla se detallan los diferentes momentos en los que se llevaron a cabo las pruebas de resistencia a la compresión. En este caso específico, el procedimiento consistió en colocar el material sobre la prensa, determinar sus dimensiones y el área de ensayo para comprender cómo se aplicaría la fuerza. Además, se estableció la velocidad de prueba, fijada en 2 milímetros por minuto, lo que permitió una observación detallada y precisa del comportamiento del material a través de la interfaz de la computadora conectada a la prensa.

Es importante tener en cuenta que el resultado final proporcionaba la resistencia a la cual el material comenzaría a deformarse de manera irreversible. Por lo tanto, se consideraron los umbrales normales de resistencia de los materiales, que generalmente oscilan entre 5 y 100 megapascales. Por ejemplo, los ladrillos suelen tener una resistencia entre 5 y 30

megapascales, mientras que el concreto varía entre 30 y 70 megapascales. Estos datos preliminares se tuvieron en cuenta para determinar los parámetros más relevantes y necesarios para evaluar los materiales durante las pruebas.



*Ilustración 25 Ladrillo de micelio con yeso en la prensa*

Para determinar la cantidad de resistencia en megapascales que tiene este material es necesario primero determinar el área en metros cuadrados, para así determinar la fuerza total que se distribuye en el prototipo.

El área de una cara rectangular (que es la del prototipo del material) se calcula multiplicando la longitud por el ancho. En este caso, tenemos tres caras con dimensiones 12x9 cm, 9x3 cm y 12x3 cm.

El área total sería la suma de estas áreas:

$$\text{Area total} = 2 \times (\text{Largo} \times \text{Ancho}) + 2 \times (\text{Ancho} \times \text{Alto}) + 2 \times (\text{Largo} \times \text{Alto})$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Area total} = 2 \times (12 \times 9) + 2 \times (9 \times 3) + 2 \times (12 \times 3)$$

$$\text{Area total} = 2 \times 108 + 2 \times 27 + 2 \times 36$$

$$\text{Area total} = 216 + 54 + 72$$

$$\text{Area total} = 342 \text{ cm}^2$$

Para calcular la presión en MPa con una fuerza de 40503 Newtons sobre el área total del objeto, primero se necesita convertir la fuerza de Newtons a kilonewtons (kN) y luego dividirla por el área total en metros cuadrados. Dado que 1 kilonewton (kN) equivale a 1000 Newtons, se convierte 40503 Newtons a kilonewtons dividiendo por 1000:

$$\text{Fuerza (kN)} = \frac{40503 \text{ N}}{1000} = 40.503 \text{ kN}$$

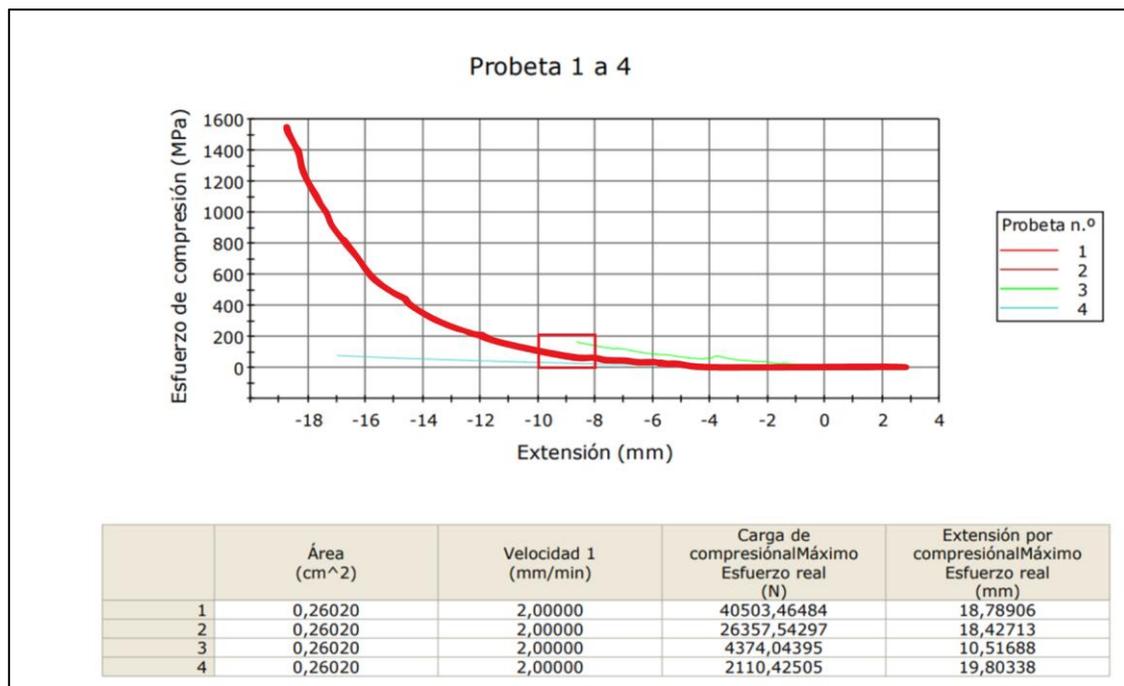
El área total del objeto es de 0.0342 metros cuadrados (ya calculado anteriormente). Ahora, se puede calcular la presión en MPa:

$$\text{Presión (MPa)} = \frac{\text{Fuerza (kN)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Presión (MPa)} = \frac{40.503 \text{ kN}}{0.0342 \text{ m}^2}$$

$$\text{Presión (MPa)} \approx 1183.95 \text{ MPa}$$

Entonces, con una fuerza de 40503 Newtons aplicada sobre el área total del objeto, la presión ejercida sería aproximadamente 1183.95 MPa.



*Ilustración 26 gráfico de compresión, resultados específicos del yeso*

Para determinar los megapascales finales que caracterizarían la resistencia de los ladrillos en cuestión, se consideró la resistencia final alcanzada en cada caso específico. Después de aplicar una compresión máxima de 18,7 mm, se obtuvo una fuerza de 40,503 newtons, equivalente a 40.5 kilonewtons. Este valor representaba el esfuerzo máximo antes de que la muestra se deformara de manera permanente.

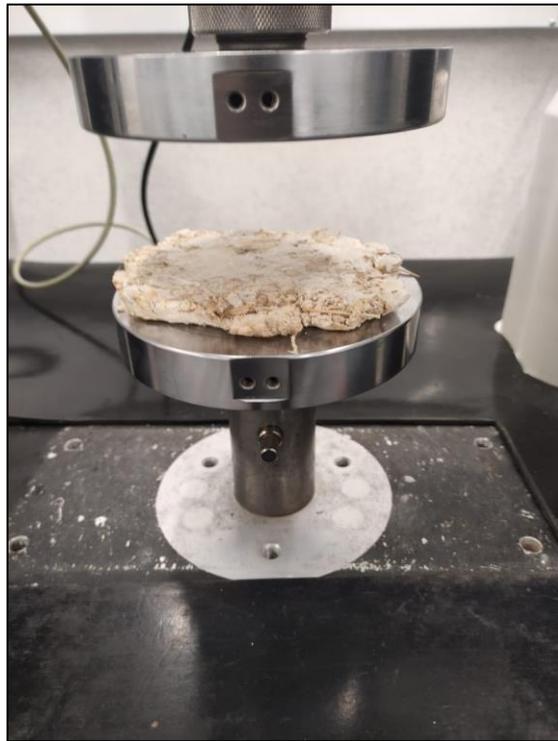
Sin embargo, gracias a la gráfica generada durante el ensayo, se pudo identificar el punto exacto en el cual la muestra comenzaba a deformarse, lo que indicaba los megapascales de resistencia efectiva. Se determinó que estos megapascales rondaban entre 5 y 10, justo antes de que la deformación fuera evidente. Esto sugiere una resistencia similar a la de los ladrillos convencionales, con la salvedad de que, al iniciarse la deformación, esta resistencia se vería comprometida.

En términos prácticos, esto significaba que los megapascales finales estarían entre 2 y 4, adecuados para usos en estructuras livianas. Por lo tanto, más allá de su aplicación en construcción convencional, podrían ser considerados para proyectos de menor envergadura, cuyos detalles se definirían al analizar cada una de las pruebas de forma específica.

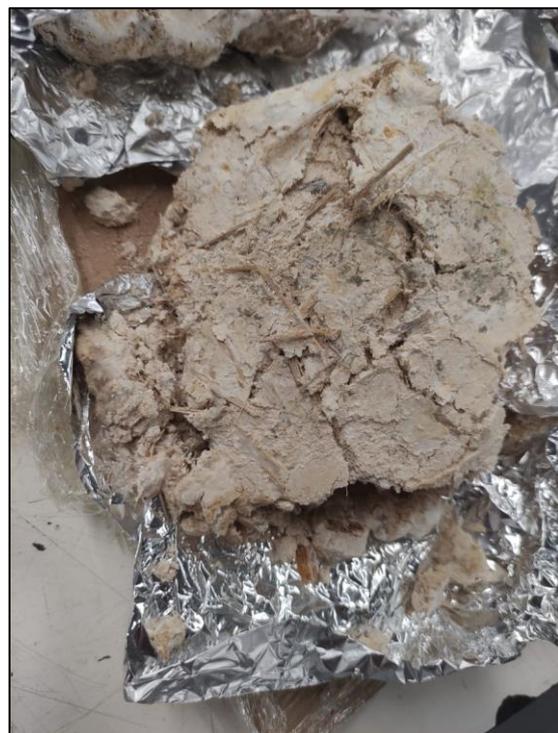


*Ilustración 27 Deformación prototipo durante ensayo*

La deformación se volvió catastrófica desde los 9 Kn, desmoronándose en pedazos, y exponiendo el interior del material.



*Ilustración 28 Prototipo post ensayo*



*Ilustración 29 Estado material final*

**Prueba número dos: Cemento + agua**

Tabla 21

Resultados segunda prueba: muestra de cemento + agua

|      |  |                        |             |  |
|------|--|------------------------|-------------|--|
| 1    | Entradas de texto : Etiqueta de la probeta | CEMENTO CON AGUA       |             |  |
| 2    | Dimensión : altura del plato de compresión | 99 mm                  |             |  |
| 3    | Dimensión : Área                           | 0,2602 cm <sup>2</sup> |             |  |
| 4    | Ensayo : Velocidad 1                       | 2 mm/min               |             |  |
| 5    |  |                        |             |  |
| 6    | Tiempo                                     | Extensión              | Carga       |  |
| 7    | (sec)                                      | (mm)                   | (N)         |  |
| 8    | 0  | 0                      | 0,05157     |  |
| 9    | 0,1  | -0,00081               | 0,09701     |  |
| 10   | 0,2  | -0,00563               | -0,09416    |  |
| 11   | 0,3  | -0,00975               | -0,07849    |  |
| 12   | 0,4  | -0,01306               | -0,26339    |  |
| 13   | 0,5  | -0,01681               | -0,301      |  |
| 14   | 0,6  | -0,01988               | -0,66767    |  |
| 15   | 0,7  | -0,02356               | -0,37935    |  |
| 16   | 0,8  | -0,02656               | -0,61283    |  |
| 17   | 0,9  | -0,03006               | -0,69901    |  |
| 18   | 1  | -0,03363               | -0,74758    |  |
| 19   | 1,1  | -0,0365                | -0,53761    |  |
| 20   | 1,2  | -0,04031               | -0,75698    |  |
| 21   | 1,3  | -0,04313               | -0,75385    |  |
| 22   | 1,4  | -0,04675               | -0,91055    |  |
| 23   | 1,5  | -0,04981               | -0,89645    |  |
| 24   | 1,6  | -0,05338               | -1,02494    |  |
| 25   | 1,7  | -0,05681               | -0,98107    |  |
| 26   | 1,8  | -0,06006               | -1,08762    |  |
| 27   | 1,9  | -0,06356               | -1,22865    |  |
| 5532 | 552,4                                      | -18,41344              | -26248,8127 |  |
| 5533 | 552,5                                      | -18,41669              | -26281,2406 |  |
| 5534 | 552,60006                                  | -18,42006              | -26290,1336 |  |
| 5535 | 552,7                                      | -18,42344              | -26337,8143 |  |
| 5536 | 552,80006                                  | -18,42656              | -26355,7077 |  |
| 5537 | 552,81806                                  | -18,42713              | -26357,5435 |  |

Dado que la muestra anterior comparte las mismas dimensiones que los moldes utilizados en las pruebas principales de concreto, yeso y cemento, que también registraron 342 centímetros cuadrados, ya podemos determinar el área total en centímetros cuadrados de esta muestra.

Esto nos permite avanzar directamente hacia las pruebas y cálculos cruciales para obtener los resultados en megapascuales.

Teniendo cómo resultados las ecuaciones anteriores se deben usar newtons para poder realizar la conversión a Mpa, quedando así:

$$\text{Fuerza (N)} = 26,357 \times 1000 = 26357 \text{ N}$$

Ahora se pueden calcular los MPa:

$$\text{Presión máxima (MPa)} = \frac{\text{Fuerza (N)}}{\text{Área total (m}^2\text{)}}$$

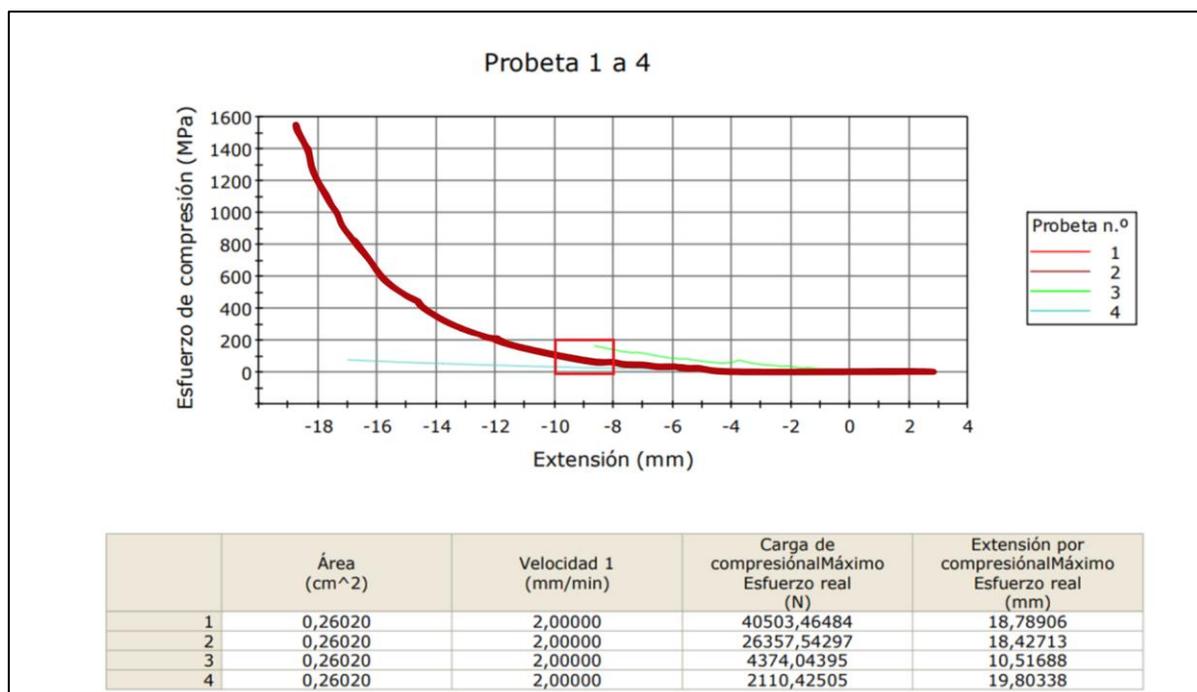
$$\text{Área total (m}^2\text{)} = \frac{342}{10^4} = 0.0342 \text{ m}^2$$

$$\text{Presión máxima (MPa)} = \frac{26357}{0.0342}$$

$$\text{Presión máxima (MPa)} \approx 770990.64 \text{ MPa}$$

$$\text{Presión máxima (MPa)} = \frac{770990.64}{1000000}$$

$$\text{Presión máxima (MPa)} \approx 770.99 \text{ MPa}$$



*Ilustración 30 gráfico de compresión, resultados específicos del cemento + agua*

En esta ocasión, al igual que en la prueba anterior, el enfoque principal radicó en identificar el punto crucial que nos permitiera comprender dónde se encontraba el límite de resistencia en megapascuales. Se consideró el punto final en el cual el material alcanzó un grado de

deformación que lo volvía inutilizable. Específicamente, se observó que, tras una compresión de aproximadamente 18,42 mm a una velocidad constante, la muestra soportó una presión de 26,357,5435 newtons.

Estos datos son fundamentales para comprender la compresión en materiales convencionales. Sin embargo, es importante señalar que, aunque este material mostró una resistencia notable, aún estaría por debajo de lo óptimo. En el ámbito de la construcción, la flexibilidad es esencial, y los materiales no deben ser excesivamente rígidos. Idealmente, la resistencia no debería superar los 150 megapascuales, garantizando así la capacidad de respuesta ante diversos factores, como cambios de temperatura, fuerzas del viento y sismos. Esta flexibilidad es crucial para evitar posibles fracturas y asegurar la durabilidad de las estructuras construidas.



*Ilustración 31 Ladrillo de micelio con cemento y agua en la prensa*

Durante la observación del ensayo, se destacó una rigidez notable en este material en particular, superando considerablemente la del yeso. La deformación se produjo a un ritmo menos acelerado en comparación con el yeso, lo cual indica una mayor eficiencia y utilidad en términos de construcción. Aunque el gráfico muestra similitudes con el yeso, el material alcanzó el punto de falla mucho antes, lo que sugiere una usabilidad más efectiva y óptima. El punto de ruptura o deformación máxima del material fue similar al observado en la prueba anterior, situándose entre los dos y cuatro megapascuales. Aunque este valor no es ideal para proyectos de gran escala o construcciones convencionales, sí podría ser adecuado para aplicaciones en proyectos de menor envergadura. En resumen, este material muestra un potencial prometedor para su uso en construcciones de menor tamaño o en mezclas de concreto menos exigentes.



*Ilustración 32 Deformación prototipo durante ensayo (finalización)*

**Prueba número tres: Concreto**

Tabla 22

Resultados segunda prueba: muestra de concreto

|      |  |                        |           |
|------|--|------------------------|-----------|
| 1    | Entradas de texto : Etiqueta de la probeta | CONCRETO               |           |
| 2    | Dimensión : altura del plato de compresión | 99 mm                  |           |
| 3    | Dimensión : Área                           | 0,2602 cm <sup>2</sup> |           |
| 4    | Ensayo : Velocidad 1                       | 2 mm/min               |           |
| 5    |  |                        |           |
| 6    | Tiempo                                     | Extensión              | Carga     |
| 7    | (sec)                                      | (mm)                   | (N)       |
| 8    |  | 0                      | 0,24894   |
| 9    |  | 0,1                    | -0,00081  |
| 10   |  | 0,2                    | -0,00563  |
| 11   |  | 0,3                    | -0,00981  |
| 12   |  | 0,4                    | -0,01294  |
| 13   |  | 0,5                    | -0,01688  |
| 14   |  | 0,6                    | -0,01988  |
| 15   |  | 0,7                    | -0,02338  |
| 16   |  | 0,8                    | -0,0265   |
| 17   |  | 0,9                    | -0,03     |
| 18   |  | 1                      | -0,0335   |
| 19   |  | 1,1                    | -0,03656  |
| 20   |  | 1,2                    | -0,04019  |
| 21   |  | 1,3                    | -0,04331  |
| 22   |  | 1,4                    | -0,04681  |
| 23   |  | 1,5                    | -0,04975  |
| 24   |  | 1,6                    | -0,05356  |
| 25   |  | 1,7                    | -0,05681  |
| 26   |  | 1,8                    | -0,05994  |
| 27   |  | 1,9                    | -0,06344  |
| 3158 |  | 315                    | -10,50006 |
| 3159 |  | 315,1                  | -10,50331 |
| 3160 |  | 315,2                  | -10,50669 |
| 3161 |  | 315,30003              | -10,51006 |
| 3162 |  | 315,40003              | -10,51306 |
| 3163 |  | 315,5                  | -10,51688 |
| 3164 |  | 315,6                  | -10,51994 |
| 3165 |  | 315,62003              | -10,52075 |

Como se ha mencionado previamente, estos prototipos comparten las mismas dimensiones.

Ahora, el enfoque se centra en calcular cómo se desarrollan los megapascales dentro de estos prototipos. Por lo tanto, procederemos de inmediato al cálculo de los megapascales para cada una de las variantes consideradas en esta prueba: concreto con sustrato y colonización micelial.

$$\text{Area total} = 2 \times (\text{Largo} \times \text{Ancho}) + 2 \times (\text{Ancho} \times \text{Alto}) + 2 \times (\text{Largo} \times \text{Alto})$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Área total} = 2 \times (12 \times 9) + 2 \times (9 \times 3) + 2 \times (12 \times 3)$$

$$\text{Área total} = 2 \times 108 + 2 \times 27 + 2 \times 36$$

$$\text{Área total} = 216 + 54 + 72$$

$$\text{Área total} = 342 \text{ cm}^2$$

$$\text{Fuerza (kN)} = \frac{4369.40 \text{ N}}{1000} = 4.3694 \text{ kN}$$

$$\text{Desplazamiento total (m)} = \frac{10.52 \text{ mm}}{1000} = 0.01052 \text{ m}$$

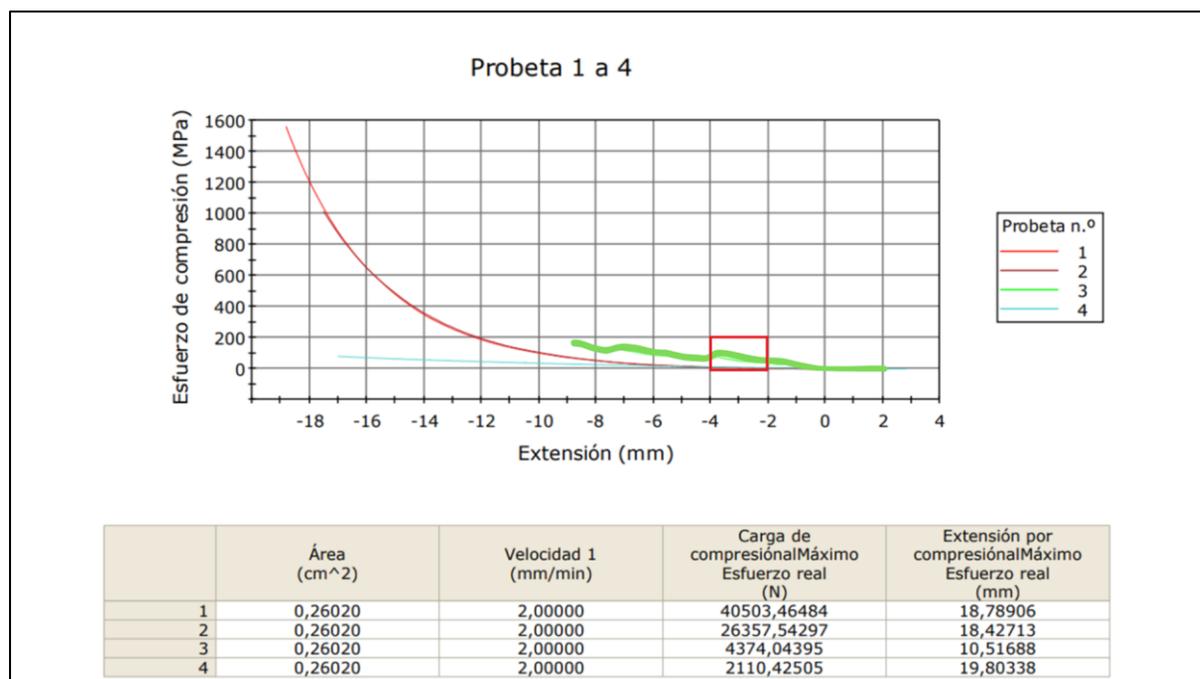
$$\text{Presión (MPa)} = \frac{\text{Fuerza (kN)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

$$\text{Presión (MPa)} = \frac{4.3694 \text{ kN}}{0.0342 \text{ m}^2}$$

$$\text{Presión (MPa)} \approx 127.75 \text{ MPa}$$

Con una fuerza total de 4369.40 Newtons y un desplazamiento total de 10.52 mm por segundo sobre el área total del objeto, la presión ejercida sería aproximadamente 127.75 MPa.

Estos resultados reflejan una mayor coherencia y se alinean más estrechamente con el uso convencional del concreto, lo que sugiere que se asemeja a la resistencia típica esperada en el concreto estándar. Sin embargo, aún es importante observar las comparaciones en la tabla y visualizar las deformaciones totales, tal como se intentó inicialmente a través del gráfico.



*Ilustración 33 gráfico de compresión, resultados específicos del concreto*

El gráfico revela una tendencia más favorable para el concreto en combinación con el micelio en comparación con el yeso y el cemento solos. Esta tendencia se atribuye a la linealidad del gráfico, que indica una respuesta más predecible a medida que se aplica la fuerza. Sin embargo, es importante tener en cuenta las irregularidades que surgen en las pruebas, principalmente debido a las porosidades internas y externas en los prototipos, resultado de la combinación con el micelio. Estas porosidades pueden contener aire, lo que podría clasificar este concreto más cerca de la variedad conocida como "concreto pobre". Aunque este tipo de concreto podría tener aplicaciones más limitadas en comparación con las estructuras convencionales, especialmente en edificaciones más grandes, como se evidencia en la tabla donde muestra un punto de fallo en el rango de 10 a 15 megapascales, sigue siendo una opción viable para usos residenciales de baja altura, típicos en Colombia.

Es crucial destacar que la presencia del sustrato orgánico y la colonización del hongo dentro del concreto delimitan ciertos espacios dentro del ensayo, debido a que pueden generar distintos espacios entre los prototipos. Por lo tanto, con una mezcla más cuidadosa y

adaptada, esta combinación de materiales podría ser viable para aplicaciones más amplias en construcción. Esta representaría una primera exploración en la integración de estos materiales, indicando la posibilidad de futuras pruebas y refinamientos para su uso consciente en la construcción, y en el marco futuro de la investigación que abre este trabajo de grado.



*Ilustración 34 Ladrillo de micelio con concreto en la prensa*



*Ilustración 35 Rupturas del concreto en su esfuerzo máximo (finalización ensayo)*

En esta ilustración se observan claramente las rupturas evidentes que ocurrieron durante el ensayo a fallo. Estas rupturas revelan la incapacidad del concreto para deformarse, a diferencia de los otros materiales que sí pudieron ser comprimidos y aplastados. El concreto alcanzó su punto de falla, rompiéndose bajo la carga, lo que proporciona información importante sobre su comportamiento frente a las fuerzas típicas en la construcción. Este resultado representa un avance en la comprensión de la usabilidad del material en escenarios reales, especialmente en comparación con los demás materiales y pruebas realizadas hasta el momento.

Es importante destacar que el concreto mostró ser más efectivo en términos de resistencia a cargas naturales, como podrían ser las fuerzas sísmicas, esto por su resistencia final frente a

los newtons arrojados por la maquinaria. Esto sugiere que podría ser una opción más sólida en entornos donde la resistencia a los movimientos del suelo es crucial.

### Prueba número cuatro: Sustrato de aserrín y paja

Tabla 23

Resultados segunda prueba: muestra de sustrato

| 1    | Entradas de texto : Etiqueta de la probeta | SUSTRATO               |             |
|------|--|------------------------|-------------|
| 2    | Dimensión : altura del plato de compresión | 99 mm                  |             |
| 3    | Dimensión : Área                           | 0,2602 cm <sup>2</sup> |             |
| 4    | Ensayo : Velocidad 1                       | 2 mm/min               |             |
| 5    |  |                        |             |
| 6    | Tiempo                                     | Extensión              | Carga       |
| 7    | (sec)                                      | (mm)                   | (N)         |
| 8    | 0  | 0                      | 0,12973     |
| 9    | 0,1  | -0,00131               | -0,02384    |
| 10   | 0,2  | -0,00587               | -0,13196    |
| 11   | 0,3  | -0,00981               | -0,24635    |
| 12   | 0,4  | -0,01281               | -0,04734    |
| 13   | 0,5  | -0,01669               | -0,10532    |
| 14   | 0,6  | -0,01981               | -0,0536     |
| 15   | 0,7  | -0,02331               | -0,07398    |
| 16   | 0,8  | -0,02644               | 0,08899     |
| 17   | 0,9  | -0,02994               | -0,01757    |
| 18   | 1  | -0,03344               | -0,0019     |
| 19   | 1,1  | -0,03644               | -0,07084    |
| 20   | 1,2  | -0,04019               | -0,02226    |
| 21   | 1,3  | -0,04306               | -0,13039    |
| 22   | 1,4  | -0,04681               | 0,00907     |
| 23   | 1,5  | -0,04969               | -0,11158    |
| 24   | 1,6  | -0,05338               | -0,06614    |
| 25   | 1,7  | -0,05681               | -0,16643    |
| 26   | 1,8  | -0,05988               | -0,3294     |
| 27   | 1,9  | -0,0635                | -0,19463    |
| 5943 | 593,5                                      | -19,78344              | -2104,21979 |
| 5944 | 593,60006                                  | -19,78644              | -2104,85142 |
| 5945 | 593,7                                      | -19,79013              | -2106,28193 |
| 5946 | 593,80006                                  | -19,79306              | -2105,94665 |
| 5947 | 593,9                                      | -19,79688              | -2109,33909 |
| 5948 | 594  | -19,79969              | -2106,98862 |
| 5949 | 594,10006                                  | -19,80338              | -2110,42501 |
| 5950 | 594,14406                                  | -19,80463              | -2109,37988 |

En este caso específico, se obtuvieron respuestas considerablemente más satisfactorias en relación con la investigación, especialmente porque este elemento era el foco principal del análisis en busca de posibles aplicaciones. Este se refiere al sustrato orgánico compuesto por paja y aserrín, el cual se sometió a prueba combinando tres ladrillos de dimensiones más

pequeñas que los utilizados inicialmente (10x7x2.5). Estos ladrillos se unieron de forma orgánica, como se mencionó anteriormente durante el desarrollo de esta investigación.

Este enfoque nos permitió determinar cómo estos materiales podrían funcionar realmente, aprovechando el organismo del micelio del hongo junto con su sustrato habitual, donde suele predominar y colonizarse con mayor frecuencia en su entorno natural, y a la hora de cultivarlo a consciencia.

$$\text{Área total} = 2 \times (\text{Largo} \times \text{Ancho}) + 2 \times (\text{Ancho} \times \text{Alto}) + 2 \times (\text{Largo} \times \text{Alto})$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Área total} = 2 \times (20 \times 7) + 2 \times (7 \times 5) + 2 \times (20 \times 5)$$

$$\text{Área total} = 2 \times 140 + 2 \times 35 + 2 \times 100$$

$$\text{Área total} = 280 + 70 + 200$$

$$\text{Área total} = 550$$

$$\text{Fuerza (kN)} = \frac{2109.37 \text{ N}}{1000} = 2.10937 \text{ kN}$$

$$\text{Desplazamiento total (m)} = \frac{19.80 \text{ mm}}{1000} = 0.0198 \text{ m}$$

$$\text{Presión (MPa)} = \frac{\text{Fuerza (kN)}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$$

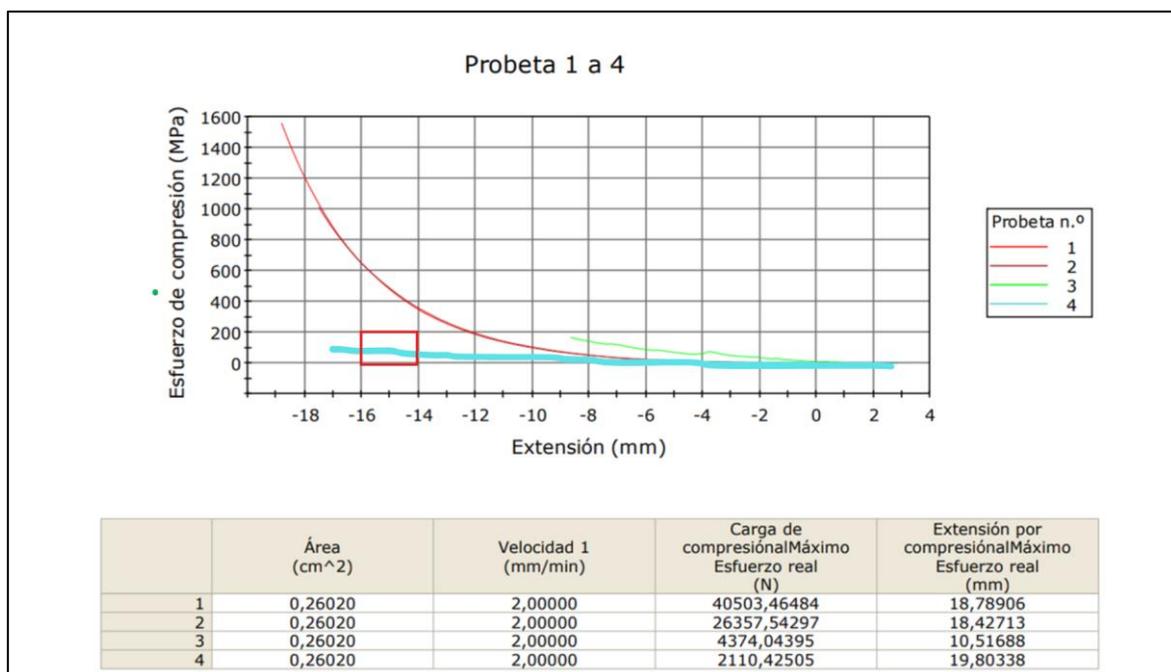
$$\text{Presión (MPa)} = \frac{2.10937 \text{ kN}}{0.055 \text{ m}^2}$$

$$\text{Presión (MPa)} \approx 38.35 \text{ MPa}$$

Entonces, con unas dimensiones de 20x7x5 centímetros, una fuerza total de 2109.37 Newtons y una velocidad de compresión final de 19.80 mm, la presión ejercida sería aproximadamente 38.35 MPa.

Sorprendentemente, el resultado obtenido en el sustrato fue notablemente similar a lo que se esperaría encontrar en materiales de construcción. Esto se logró mediante la combinación del sustrato orgánico con el micelio de hongo, distribuido de manera uniforme y colonizado casi en su totalidad. Además, se identificó un margen de mejora que podría explorarse mediante diferentes métodos de distribución y aplicación del micelio, como la inyección directa en el sustrato o utilizando otros elementos orgánicos para su fijación, diferentes del grano de maíz.

Para lograr estos resultados, se requirió una cuidadosa observación preliminar para comprender cómo el micelio se desarrollaba en este sustrato. Aunque los resultados son solo preliminares y no llegaron al punto de fallo real, es importante destacar que el prototipo experimentó cierta deformación sin llegar a compactarse, desmoronarse o agrietarse significativamente.



*Ilustración 36 gráfico de compresión, resultados específicos del sustrato*

Al analizar los resultados y observar la gráfica correspondiente, se destaca que el sustrato mantuvo una resistencia constante en comparación con los otros prototipos. Sin embargo, es importante señalar que, en este caso específico, la deformación significativa ocurrió más tarde en la prueba, específicamente después de 9 minutos de estudio. Este ensayo se posiciona como el más exitoso dentro del conjunto, alineándose con los objetivos preliminares establecidos.

Es crucial tener en cuenta que estos experimentos se llevaron a cabo principalmente con fines de observación y no estaban inicialmente diseñados para pruebas de compresión. A pesar de esto, los datos obtenidos muestran una relevancia significativa en el estudio de este material para su potencial uso futuro en construcción.

Los resultados revelan una resistencia notable, alcanzando entre 15 y 20 megapascales, lo cual podría ser determinante para identificar de manera efectiva su aplicabilidad en el ámbito de la construcción.



*Ilustración 37 Ladrillos de micelio con sustrato en prensa*



*Ilustración 38 Ladrillos de micelio con sustrato en prensa deformados (finalización)*

### **Comparación entre prototipos de micelio y ladrillos prensados livianos**

La elección del ladrillo liviano, específicamente el prensado liviano de 24,5 \* 12 \* 6 cm de arcilla, de la ladrillera Santa Fe, se basa en varias consideraciones importantes. En primer lugar, fue recomendado por un asesor conocedor del uso de ladrillos en construcción, ingeniero civil, quién sugirió que este tipo de ladrillo sería ideal para las necesidades de una comparación apropiada, especialmente en lo que respecta a las divisiones interiores que se han hecho a consideración. Este ladrillo posee una resistencia estructural adecuada para su aplicación interior y exterior, clasificándose en la categoría 1 de resistencia, que abarca los 25

megapascales de resistencia, lo que lo convierte en un material relevante para la comparación.

Además, las dimensiones del ladrillo, así como las especificaciones proporcionadas en las fichas técnicas de la ladrillera Santa Fe, lo hacen especialmente adecuado para propósitos de investigación. También se consideró el precio del ladrillo, lo que me permitirá realizar comparaciones posteriores con los prototipos desarrollados, especialmente en términos de rendimiento y costos.

Es importante destacar que, aunque esta comparación proporciona información valiosa sobre la resistencia y el rendimiento estructural de ambos ladrillos, aún quedan muchas otras pruebas por realizar. Esta comparación preliminar se centra principalmente en la resistencia a la compresión, pero hay otras pruebas y consideraciones que deben abordarse en el futuro para obtener una comprensión completa del rendimiento de estos materiales en diferentes aplicaciones de construcción.

Estas son las especificaciones más relevantes para el estudio:

**Dimensiones:**

- Largo: 24,5 cm
- Ancho: 12,0 cm
- Alto: 6,0 cm

**Tolerancia Dimensional:**

- Largo:  $\pm 4$  mm
- Ancho:  $\pm 3$  mm
- Alto:  $\pm 2$  mm

- Nota: Hasta el 2% de las piezas puede estar excedido de estas tolerancias, sin superar el máximo de +4mm.

**Material:**

- Arcilla

**Color:**

- Terracota (varía dentro de una gama similar a la que se observa en la foto de aplicación)

**Características:**

- Lisa por sus cuatro (4) caras
- Tabique exterior: + 22 mm
- Tabique interior: + 22 mm

**Rendimiento:**

- Peso por unidad: 2,2 Kg
- Rendimiento por metro cuadrado: 56 Unidades/m<sup>2</sup>
- Peso por metro cuadrado: 123,2 Kg/m<sup>2</sup>

**Resistencia a la Compresión:**

- Categoría: 1
- Mínima Individual: 25 MPa (250 Kgf/cm<sup>2</sup>)
- Promedio (5 Unidades): 30 MPa (300 Kgf/cm<sup>2</sup>)
- Normas: C56, C212, C216 AIS ICONTEC ASTM 0.35

**Recomendaciones:**

- Almacenamiento: Plano, seco, aislado del terreno, protegido de la escorrentía.
- Instalación: Seguir las instrucciones del fabricante.
- Lavado: Seguir las recomendaciones del Manual de Lavado del fabricante.

**Accesorios:**

- Piezas complementarias disponibles.

**Normas Aplicadas:**

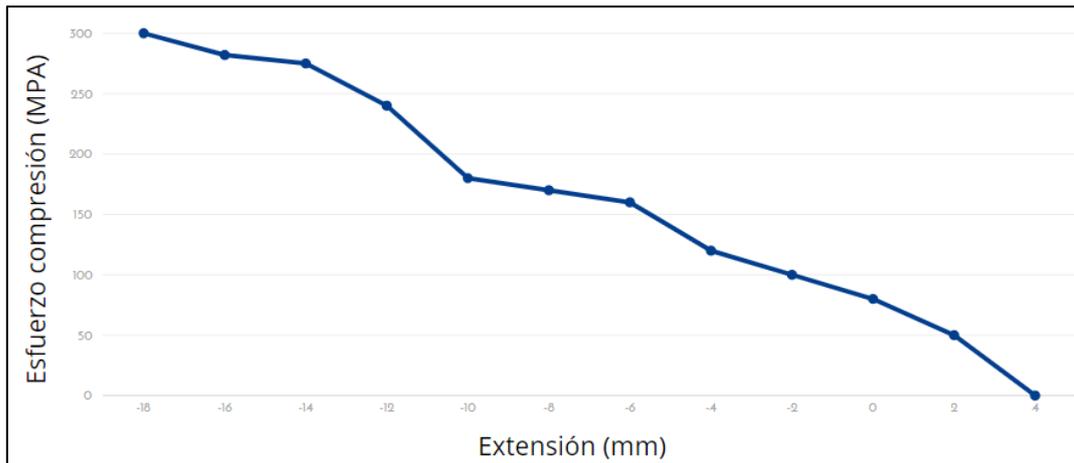
- NSR 10 Título D
- NTC 4205-1, NTC 4205-3

(2021, noviembre 17). Ladrillera Santafé.

<https://www.santafe.com.co/productos/fachadas/prensadas/ladrillo-prensado-liviano-6-cm-terracota/>

En este caso, con los datos obtenidos de las últimas dos pruebas de resistencia, podemos comparar la resistencia final y la resistencia ideal antes del fallo del ladrillo prensado liviano en relación con los prototipos de concreto y sustrato. Estos datos son cruciales para nuestra evaluación, ya que nos proporcionan información sobre cómo se desempeñaron los diferentes materiales en las pruebas realizadas en los laboratorios de ingeniería.

Como se analizó anteriormente, podemos observar en la gráfica de estado que los prototipos de concreto y sustrato alcanzaron una resistencia combinada de aproximadamente 10 megapascales, mientras que el sustrato alcanzó los 20 megapascales antes de su deformación y eventual fallo. Estos datos nos permiten comparar la resistencia del ladrillo prensado liviano con los materiales previamente evaluados y determinar cómo se sitúa en términos de resistencia estructural.



*Ilustración 39 Ejemplo gráfico de ensayo de compresión para un ladrillo prensado liviano*

El gráfico anterior proporciona una representación visual de cómo reaccionaría un ladrillo convencional ante fuerzas de compresión y velocidades típicas, similares a las utilizadas en los prototipos estudiados durante la investigación. Esta comparación nos permite determinar cómo, además de los datos recopilados y analizados, las especificaciones técnicas del ladrillo obtenidas de la ladrillera pueden influir en nuestra conclusión final sobre su rendimiento.

### **Comparación precios**

Para entender el proceso de construcción de un ladrillo convencional, especialmente referido al usado para la comparación de este caso:

#### **1. Extracción de Materias Primas (Arcilla):**

- Costo: Variable según la ubicación y el método de extracción, que puede incluir gastos de excavación, transporte y licencias ambientales.
- Estimación: 100-200 pesos colombianos por unidad.

**2. Preparación de la Mezcla:**

- Esto implica triturar, mezclar y homogeneizar la arcilla con otros materiales como arena, ceniza volante, y/o aditivos para mejorar las propiedades del ladrillo.
- Costo: Energía eléctrica, mano de obra y mantenimiento de equipos.
- Estimación: 50-100 pesos colombianos por unidad.

**3. Moldeo y Prensado:**

- La mezcla preparada se introduce en moldes y se prensa para darle la forma deseada al ladrillo.
- Costo: Energía eléctrica, mantenimiento de maquinaria y mano de obra.
- Estimación: 150-250 pesos colombianos por unidad.

**4. Secado:**

- Los ladrillos prensados se secan para eliminar la humedad.
- Costo: Energía eléctrica o combustible para hornos, mano de obra y mantenimiento.
- Estimación: 50-100 pesos colombianos por unidad.

**5. Cocción:**

- Los ladrillos se colocan en hornos para ser cocidos a altas temperaturas, lo que les proporciona resistencia y durabilidad.
- Costo: Combustible para hornos, energía eléctrica, mantenimiento y mano de obra.
- Estimación: 200-300 pesos colombianos por unidad.

**6. Control de Calidad:**

- Se realizan pruebas para verificar la resistencia, dimensiones y otras propiedades del ladrillo.

- Costo: Mano de obra y equipos de control de calidad.
- Estimación: 50-100 pesos colombianos por unidad.

#### 7. Embalaje y Distribución:

- Los ladrillos se emban y se distribuyen a los puntos de venta o directamente a los clientes.
- Costo: Materiales de embalaje, transporte y mano de obra.
- Estimación: 100-150 pesos colombianos por unidad.

Esta información estimada, se logra con el precio unitario, y el precio de venta de 1.200 pesos colombianos, proporcionados por los distribuidores y la misma ladrillera.

Para el proceso de creación de los ladrillos de micelio, considerando únicamente el sustrato orgánico:

##### 1. Precio de cada molde:

- Precio de un molde de 24 oz, 14 x 19 x 6 cm: 340 pesos colombianos
- Cantidad de moldes: 100

Entonces, el costo total de los 100 moldes sería:  $340 \text{ pesos/molde} * 100 \text{ moldes} = 34,000$  pesos

##### 2. Costo de la bolsa de micelio:

- Precio de la bolsa de micelio, suficiente para 100 moldes: 50,000 pesos colombianos

##### 3. Costo del aserrín y la paja:

- Precio total de un kilo de aserrín y 500 gr de paja: 38,000 pesos colombianos

$$\text{Precio Unitario Total} = \frac{\text{Costo Total}}{\text{Cantidad de Moldes}}$$

$$\text{Precio Unitario Total} = \frac{34,000 \text{ pesos} + 50,000 \text{ pesos} + 38,000 \text{ pesos}}{100 \text{ moldes}}$$

$$\text{Precio Unitario Total} = \frac{122,000 \text{ pesos}}{100 \text{ moldes}}$$

$$\text{Precio Unitario Total} = 1,220 \text{ pesos/molde}$$

Con la información de los materiales usados durante las observaciones y la consideración de moldes de aluminio similares a lo que se usaron, siendo más apropiados para la creación de ladrillos con dimensiones adecuados para su comparación con el ladrillo prensado liviano, siendo dimensiones más tradicionales, el precio final del ladrillo de micelio, según los insumos usados durante la observación y los ensayos finales fue 1220 pesos, considerando distintos factores como el uso del agua, se considera que podría variar hasta 1500 pesos.

### **Resultados comparación**

Para confirmar la capacidad estructural de los prototipos y comprender las limitaciones de resistencia identificadas durante las pruebas de compresión en los laboratorios de ingeniería, observamos cómo el ladrillo convencional exhibe una resistencia más estable hasta su ruptura, a diferencia de los materiales prototipo que muestran una deformación preliminar. Específicamente, en el caso del concreto afectado por sustrato orgánico y micelio, así como del propio sustrato, se observa un mayor afinamiento del material, con resistencias posteriores registradas entre 10 y 20 megapascales.

A pesar de que los ladrillos convencionales son esperados a tener una resistencia estimada de alrededor de 10 megapascales según la normativa, las ladrilleras colombianas suelen ofrecer resistencias de al menos 25 megapascales. Esto refuerza la idea de que, más allá de

considerar estos materiales prototipo para usos estructurales, podrían ser más adecuados para labores no estructurales, como divisiones interiores o estructuras fácilmente desmontables. Por ejemplo, podrían ser útiles en pabellones de corta duración, no excediendo los 3 o 4 días. Aunque se podría contemplar su uso en estructuras de uno o dos pisos, se recomendaría su uso temporal y limitado, como ya se ha mencionado. Es crucial considerar estos hallazgos y conclusiones al evaluar estos materiales en este nivel de investigación.

Aunque estas afirmaciones se dan únicamente bajo el marco de los ensayos de compresión realizados, cabe recalcar que son una visión optimista resultado de las últimas dos pruebas, se tiene en consideración el hecho de que no se han realizado todas las pruebas pertinentes para poder ser considerados para una real integración en construcciones, además de su uso experimental o recreacional, cómo en el uso de pabellones o ejercicios similares a los hechos por los estudiantes de primer semestre de la Pontificia Universidad Javeriana durante la construcción del módulo de final de semestre.

En comparación con los ladrillos convencionales, cuya producción suele demorar aproximadamente tres días, y teniendo un precio final de venta de 1200 pesos, los ladrillos de micelio presentan algunas consideraciones adicionales. Aunque su precio de realización es similar al de los ladrillos convencionales, su precio de venta podría ser mayor, considerando factores como la disponibilidad de proveedores y otros costos asociados, como el uso de agua y otros materiales con los que se pueda combinar, cómo el concreto, aunque esta comparación, cómo mencionado con anterioridad, se basa únicamente en el uso del sustrato orgánico.

Es importante tener en cuenta que el tiempo de producción de los ladrillos de micelio aumenta significativamente, llegando a ser hasta un 300% más largo. Esto se debe a que el tiempo estimado para que el hongo colonice completamente el sustrato puede rondar las dos o tres semanas. Por lo tanto, la eficiencia del tiempo se convierte en un factor determinante al considerar el uso de estos materiales en la construcción.

Aunque potencialmente podrían reducirse los costos de producción en comparación con los ladrillos convencionales, en el contexto de esta investigación se comprende que, por el momento, estos materiales pueden estar limitados en términos de eficiencia y gestión general. Esta visión integral es fundamental para concluir los resultados de la comparación de manera adecuada.

### **Consideraciones posteriores a las evaluaciones de resistencia**

*Nota:* En el marco de este trabajo, las pruebas finales se llevaron a cabo con el objetivo primordial de determinar su viabilidad para su integración en la construcción. Se buscaba comprender si estas innovaciones podrían haber representado alguna limitación en proyectos a nivel mundial, particularmente aquellos que se adhieren a los principios de la biomímesis o biomimética. Además, se examinó si el concepto de arquitectura genética había sido adecuadamente entendido o implementado en estos proyectos.

Después de completar exhaustivamente las principales consideraciones de esta investigación y de haber interpretado todos los resultados obtenidos de los materiales ensayados, se ha determinado que en ciertos casos estos materiales podrían llegar a tener aplicaciones dentro

del campo de la construcción. Específicamente, se observó un potencial destacado en el concreto y el sustrato, mientras que el yeso y el cemento con agua también mostraron resultados que podrían ser válidos en ciertos contextos arquitectónicos y de construcción.

Sin embargo, es importante señalar que aún quedan pruebas por realizar, las cuales podrían arrojar datos más concretos sobre la utilidad práctica de estos materiales en la construcción real. Durante los ensayos, con la ayuda de expertos en ingeniería, se observó que los materiales demostraron una absorción de agua mínima, esto debido a la naturaleza de los prototipos y la experimentación, además de la consideración de cómo quedaron los materiales una vez terminaron las pruebas, lo cual es un factor importante a considerar en su usabilidad.

Para determinar completamente el potencial de estos materiales en la práctica de la construcción, se deberán realizar pruebas adicionales que aborden aspectos como la resistencia a diferentes condiciones ambientales, la absorción de agua, y ensayos de compresión, flexión y tracción, entre otros. Especialmente en el caso del yeso, el concreto y el sustrato, es crucial evaluar su comportamiento ante estas pruebas, ya que podrían desgastarse prematuramente debido a su exposición al agua, su reacción a la temperatura y el viento, durante los ensayos y su potencial realización *in situ*.

A pesar de los desafíos encontrados durante esta investigación, se reconoce que estos resultados representan solo el comienzo de un extenso estudio sobre el potencial de estos materiales en la arquitectura y la construcción. Se vislumbra la posibilidad de una amplia gama de investigaciones y experimentos futuros, no solo con estos materiales específicos, sino también explorando diversas combinaciones de hongos, sustratos y materiales convencionales.

En última instancia, estos resultados abren nuevas oportunidades y perspectivas en el ámbito de la investigación destinada a la arquitectura, ofreciendo un amplio espectro, si no infinito, de posibilidades que podrían transformar la manera en que entendemos y aplicamos la materialidad en la práctica arquitectónica contemporánea.

Además de los hallazgos que puedan surgir de esta investigación, se espera que su impacto trascienda más allá de sus resultados concretos. No solo se trata de los hallazgos encontrados en esta investigación, sino también del potencial inspirador que pueda tener en aquellos que la lean o la utilicen como punto de partida para explorar el estudio de materiales genéticamente manipulados, específicamente el micelio de ostra utilizado en este estudio. Se espera que esta investigación sirva como una fuente de inspiración para futuros estudios y proyectos relacionados con la ingeniería de materiales y la arquitectura genética. Al compartir los descubrimientos y los desafíos enfrentados durante este proceso, se crea una base sólida para que otros investigadores, estudiantes y profesionales puedan profundizar en este campo emergente.

La investigación sobre el micelio de hongo y su aplicación en la construcción no solo representa un avance investigativo o incluso con dotes científicos, sino también una oportunidad para explorar nuevas formas de interactuar con el medio ambiente y aprovechar los recursos naturales de manera sostenible. Se espera que este trabajo inspire a una amplia gama de personas, desde científicos y arquitectos hasta artistas y diseñadores, a contribuir al desarrollo y la aplicación de esta emergente innovación en los materiales.

En el ámbito medioambiental, se ha buscado siempre fomentar la sostenibilidad a través de los estudios realizados en esta investigación. Desde las pruebas comparativas hasta el análisis general del concepto de arquitectura genética y el uso del micelio de hongo en la creación de estructuras, se ha tenido en cuenta el impacto ambiental de estas tecnologías emergentes.

Sin embargo, es importante destacar nuevamente, que aún se necesitan pruebas pertinentes para determinar cómo estos materiales responderían a diferentes efectos y fenómenos ecológicos. Esto sería crucial para definir su idoneidad en diversos entornos y para orientar futuras investigaciones en este campo. Hay varios factores a considerar, como el tiempo requerido para la colonización, las condiciones específicas necesarias para ello y los posibles efectos de olores durante este proceso, dado que el micelio utilizado para la generación de hongos comestibles puede generar olores considerables durante la colonización.

Además, es relevante tener en cuenta que, si bien el material es biodegradable una vez muerto, durante su proceso de colonización pueden surgir ciertos inconvenientes. No obstante, esta característica biodegradable abre la posibilidad de explorar su uso en diversas aplicaciones estructurales, con la perspectiva de encontrar resultados más favorables a medida que se realicen más pruebas y experimentaciones en diferentes contextos.

### **Horizontes posibles**

Bajo la atenta mirada de la investigación y el valioso respaldo de profesionales, asesores, directores y guías, se ha explorado una visión de la arquitectura que no suele ser considerada desde lo habitual, una que se fusiona con el mundo biológico y redefine nuestra relación con los espacios que habitamos. A través de la observación meticulosa y la experimentación con materiales como el micelio de hongo, el *Pleurotus ostreatus*, se ha

podido comenzar a vislumbrar horizontes donde la arquitectura no solo nos proporciona un lugar para vivir, sino cómo un potencial organismo, que coexiste y evoluciona junto a nosotros.

¿Qué pasaría si empezáramos a concebir la arquitectura como un organismo vivo, capaz de interactuar y adaptarse a su entorno? Los resultados preliminares de esta investigación, invita a considerar esta posibilidad. El micelio de hongo, aunque inerte en su estado final, revela una sorprendente capacidad para reaccionar ante otros organismos y materiales, fusionándose y transformando los espacios que habita, cómo se pudo observar durante toda la observación y los resultados finales de esta primera fase de la investigación, en la que por si sólo ha sido capaz de reaccionar, incluso en fusionarse a sí mismo gracias a su interacción y la de organismos externos cómo el simple vivir de los seres humanos.

Imaginar un futuro donde nuestros hogares y edificios no sean simples estructuras estáticas, sino entidades dinámicas que cohabitan con nosotros y con la naturaleza que las rodea, podría empezar a considerarse como una potencial realidad. ¿Qué sucedería si nuestros espacios pudieran transformarse según nuestra interacción con ellos, respondiendo tanto a nuestras necesidades como a las de otros seres vivos que los habitan?

Estas son solo algunas de las preguntas que surgen a partir de esta investigación. Aunque aún está en las etapas iniciales, los hallazgos abren un vasto horizonte de posibilidades para la arquitectura del futuro. Desde pabellones temporales hasta construcciones permanentes, los resultados del trabajo nos pueden llevar a imaginar un mundo donde la arquitectura y la biología convergen, dando lugar a nuevos conceptos y prácticas que transformarán la forma en que habitamos el mundo.

Posiblemente la transformación del habitar por el *cohabitar*.

## Conclusiones

Teniendo presente que el objetivo principal de esta investigación era evaluar el impacto potencial de la manipulación genética y la concepción del concepto de arquitectura genética en la construcción y en la creación de entornos arquitectónicos innovadores, con un enfoque hacia la sostenibilidad, tanto en el ámbito experimental como teórico, se concluye que la exploración en arquitectura genética revela horizontes prometedores para la aplicación de estos materiales en la práctica arquitectónica, y en su entendimiento desde lo teórico. Esta investigación ha representado un paso significativo hacia la comprensión y la aplicación de la “arquitectura genética” en la práctica, desde la perspectiva de un estudiante. Desde la exploración del micelio de hongo hasta la experimentación con diferentes materiales y sustratos, se ha logrado vislumbrar un potencial donde la arquitectura se fusiona con la biología de una manera innovadora y transformadora.

Los hallazgos de esta investigación muestran que los materiales basados en micelio, finamente, ofrecen una prometedora alternativa para la construcción, con propiedades que van más allá de las convenciones de los materiales tradicionales. Si bien es cierto que aún quedan muchas pruebas por realizar y desafíos por superar, los resultados preliminares alientan, de manera personal cómo se espera externa, al poder explorar más a fondo el potencial de estos materiales en la práctica arquitectónica.

Además, esta investigación invita a repensar nuestra relación con el entorno construido y a considerar nuevas formas de coexistencia entre la arquitectura y la naturaleza. La idea de la

arquitectura como un organismo vivo, capaz de adaptarse y evolucionar junto con nosotros, abre un amplio abanico de posibilidades para el diseño y la construcción del futuro, además de la experimentación posible.

En última instancia, esta investigación no solo representa un avance en el campo de la arquitectura genética, sino que también nos insta a imaginar un mundo donde la creatividad, la innovación y la sostenibilidad se unen para dar forma a entornos construidos más resilientes, habitables, en armonía y consideración con la naturaleza.

## Referencias

Bar-Cohen, Y. (2006). *BIOMIMETICS Biologically Inspired Technologies*.

Blackmore, S. (1999). *El poder de los memes*.

Chayaamor-Heil, N. (2023). *From Bioinspiration to Biomimicry in Architecture: Opportunities and Challenges*.

Cogdell, C. (2018). *TOWARD A LIVING ARCHITECTURE?*

Dawkins, R. (1976). *El gen egoísta: Las bases biológicas de nuestra conducta*.

Imhof, B., Gruber, P., & Reichert, S. (2016). *Blending Architecture and Biology Built to Grow*.

Knippers, J., Schmid, U., & Speck, T. (2019). *Biomimetics for Architecture: Learning From Nature*.

Knippers, J., Speck, T., & Nickel, K. G. (2014). *Biomimetic Research for Architecture and Building Construction*.

*Ladrillo Prensado Liviano 6 cm Terracota*. (2021, noviembre 17). Ladrillera Santafé.

<https://www.santafe.com.co/productos/fachadas/prensadas/ladrillo-prensado-liviano-6-cm-terracota/>

Persiani, G. L. S. (2020). Design Science and Innovation.

Primrose, S. B. (2020). Biomimetics.

Sussman, A., & Hollander, J. B. (2014). Cognitive Architecture.

福步外贸建站-www.fobwebs.com. (2018, 24 julio). *Instron 3369 universal testing machine with good price.*

hydraulicuniversaltestingmachine.com. <https://www.hydraulicuniversaltestingmachine.com/es/universal-tensile-testing-machine.html>