

PROCESOS DE DISEÑO GENERATIVO A TRAVÉS DE REGISTROS CIMÁTICOS: ETAPA DE *FORM FINDING* EN EL DISEÑO DE HUERTA URBANAS BASADAS EN PRINCIPIO DE ACUAPONIA¹

*DURÁN, Elvert*²
*CORREIA DE MELO, João Victor*³
*RIPPER, José Luiz*⁴
*REBOLLEDO, Alonso*⁵

Resumen: Este caso de estudio aborda tópicos en relación con los nuevos desafíos en temas de sustentabilidad y diseño digital, haciendo énfasis en la optimización de recursos hídricos en futuros escenarios críticos, tales como escasez de agua y el autocultivo de alimentos en espacios comunitarios. A través del proceso del diseño de huertas urbanas se ilustrarán procesos de investigación aplicada a través de la metodología RtD⁶. La utilización de parámetros geométricos obtenidos de la observación de patrones cimáticos y su posterior interpretación por medio del uso de herramientas computacionales y modelos análogos en procesos proyectuales de diseño, serán los principales aspectos empleados en este caso de estudio. Por medio de una serie de experimentos se determinará una co relación cimática – geodésica, proyectada para ser construida con técnicas vernáculas en bambú y otros materiales de bajo impacto ambiental. Es importante remarcar que el objetivo transversal de este caso de estudio considera la relación causal entre los conceptos geométricos relacionados con el movimiento del agua, medido a través de frecuencias hertz, y su influencia en los potenciales usuarios, considerando el agua como el elemento vital en este tipo de organismos. Esta investigación se enmarca en el trabajo investigativo desarrollado entre el Laboratorio de Atividades do Amanhã y el Laboratorio de Investigação em Livre Desenho, Brasil.

Palabras claves: búsqueda de forma, cimática, vernáculo digital, diseño paramétrico

¹ Este texto es una extensión del artículo presentado en el congreso Graphica (International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design), Rio de Janeiro, Brasil, 2019.

² Laboratório de Investigação em Livre Desenho - PUC-Rio – vivancoduran@gmail.com

³ Laboratório de Investigação em Livre Desenho - PUC-Rio – jvictor@puc-rio.br

⁴ Laboratório de Investigação em Livre Desenho - PUC-Rio – vivancoduran@gmail.com

⁵ Universidad del Bío-Bío – CCP – prebolledo@ubiobio.cl

⁶ Research through Design.

Abstract: This case study addresses topics related to the new challenges in sustainability and digital design, emphasizing the optimization of water resources in future critical scenarios, such as water scarcity and self-cultivation of food in community spaces. Through the process of designing urban bio-gardens, applied research processes will be illustrated through the RtD methodology. The use of geometric parameters obtained from the observation of cimatic patterns and their subsequent interpretation through the use of computer tools and analogous models in design processes, will be the main aspects used in this case study. By means of a series of experiments a cimatic-geodesic relation will be determined, projected to be built with vernacular techniques in bamboo and other materials of low environmental impact. It is important to emphasize that the transversal objective of this case study considers the causal relationship between the geometric concepts related to the movement of water, measured through hertz frequencies, and its influence on potential users, considering water as the vital element in this kind of organisms. This research is part of the research work developed between the Laboratório de Atividades do Amanhã and the Laboratório de Pesquisa em Livre Design, Brazil.

Keywords: form finding, cymatic, digital vernacular, parametric design.

1 Introdução

Los procesos creativos en la concepción de geometrías complejas han sido durante el transcurso del tiempo un foco constante en procesos de búsqueda formal. Dominio de herramientas, métodos y lenguajes específicos son demandadas que varían rápidamente en concordancia con avances tecnológicos, y que inciden directamente en el tipo de resultado y las variables de la investigación. Con el advenimiento de las tecnologías de visualización virtual, han surgido nuevos paradigmas en torno al rol facilitador que ofrecen los distintos soportes en la ideación, evolución y resultados finales durante las etapas del proceso creativo. Términos como el *form finding*⁷ son cada vez más recurrentes para el diseño y optimización de superficies generativas, considerando tanto los antiguos y tradicionales métodos análogos de representación, análisis y construcción, como aquellos que utilizan la tecnología como medio para la comprensión de los diferentes fenómenos involucrados en la obtención de la forma idónea. Sin embargo, cabe preguntarse ¿es posible encontrar un balance entre combinaciones que permitan proveer métodos de investigación más certeros, sustentables y por sobre todo con un alto grado de diferenciación en la antesala de una forma definitiva?

⁷ Form finding: término referido a proceso de búsqueda de forma en estructuras con elementos en tracción las que determinan geometrías auto portantes. Algunos de los exponentes más destacados en este tema son Frei Otto y Antonio Gaudí.

2 Técnicas convivenciales entre la investigación a través del diseño de sistemas y superficies complejas

La Investigación a través del diseño, también conocida como *RtD*⁸ (Frayling 1993), es la versión de investigación donde el proceso proyectual de diseño es el epicentro o foco de estudio. De acuerdo con el autor, ésta manera de investigar considera una mejora constante del proceso de diseño y al mismo tiempo se cobija bajo el alero de métodos más rigurosos en lo que a investigación científica concierne. Otro aspecto característico es el grado de importancia que poseen los prototipos o modelos operativos dentro del proceso metodológico. Finalmente, ésta opción se identifica por tener un enfoque transdisciplinario, aspecto característico de lo que actualmente es difundido como un perfil profesional del diseñador industrial.

En esa misma línea de investigación aplicada, por más de 3 décadas, investigadores del Laboratorio de Livre Design (LILD) vienen desarrollando técnicas para el desarrollo de construcciones livianas, móviles y de bajo costo energético. Las construcciones autoportante desarrolladas por el LILD son el resultado de la combinación de elementos conocidos en el laboratorio como unidades de juego (Moreira y Ripper, 2014), las que se ven representadas fundamentalmente por secciones o duelas de bambú y fibras naturales, entre una serie de materiales de bajo impacto ambiental. Los autores añaden que *“el manoseo de la materialidad, diferentemente de la contemplación, permite la formación de imágenes táctiles y motoras”*. Este procedimiento o manera de observar es también llamado por los autores como el desarrollo de la técnica. Por lo tanto, la adquisición o dominio de la técnica es para el LILD un proceso que vincula la práctica sobre el material y el medio donde se inserta. Es relevante mencionar, que la observación sobre el material que los autores mencionan, es una actividad que promueve el pensamiento creativo, puesto que al observar el comportamiento y las formas de los materiales, se aumenta la injerencia y dominio, lo que a postre incrementa además conocimiento adquiridos provocando en gran medida aspectos determinantes en el proceso proyectual de la investigación.

En este sentido, los registros fotográficos de las figuras pasadas, evidencian el trabajo de modelos a escalas desarrollados durante el proceso de génesis formal del espacio propuesto. Es en esta etapa del proceso metodológico donde el LILD busca que el investigador sea destituido de los conceptos técnicos previos, esto a través de la interacción con objetos puestos en una realidad concreta, ya sean modelos reducidos,

⁸ Research Through Design

a escala real y/o objetos en estado de uso (Correia de Melo, 2011). Esta práctica es impulsada aún más cuando la experimentación se realiza en estados de la materia en su condición natural, tal como lo demuestran las figuras 4 y 5, resultado del análisis en superficies mínimas en burbujas y modelos funiculares (Otto y Rasch, 1995).

Por otro lado, entendiendo las complejidades que esta línea de investigación que el LILD considera, es innegable el aporte que los modelos virtuales ofrecen, sobre todo en la captura, observación y registro de este tipo de fenómenos, tanto en la generación de variables, como en la precisión y ahorro de tiempo invertido en las distintas etapas del proceso de diseño. Actualmente, el laboratorio viene combinando progresivamente nuevas tecnologías de visualización virtual y modelos construidos análogamente, dando un nuevo enfoque híbrido análogo-virtual a su línea de investigación. (Correia de Melo, Ripper y Moreira, 2013). Según los autores, tanto la versión virtual como la tangible, son caminos paralelos y complementarios, las diferencias en este sentido apuntan a criterios de objetividad y subjetividad de lo observado. Del mismo modo, es importante citar las acciones realizadas por el LILD en lo que se refiere a técnicas constructivas vernáculas con materiales de bajo impacto ambiental, haciendo hincapié en el estudio superficies ligeras, domos geodésicos, tenso estructuras y estructuras colaborantes en bambú, entre otros temas concernientes al diseño de espacios de uso temporal o efímero.

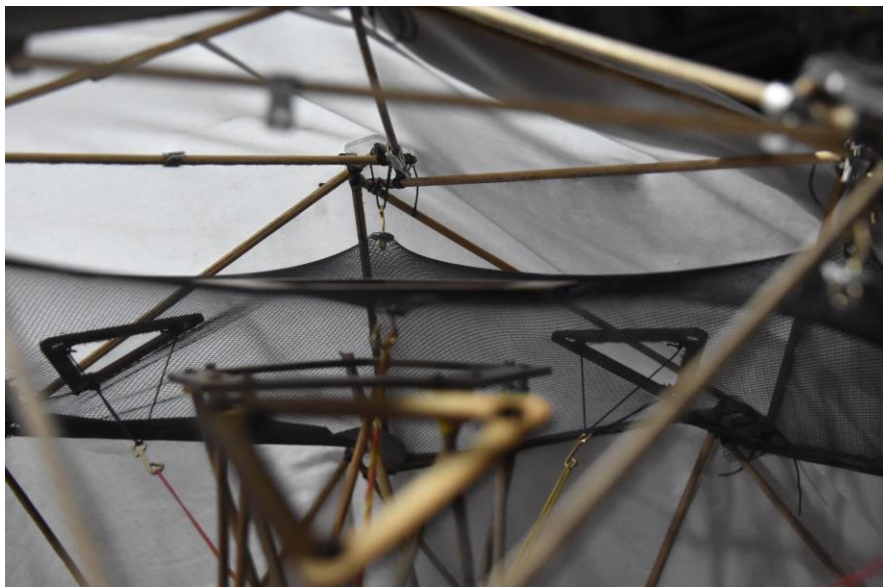
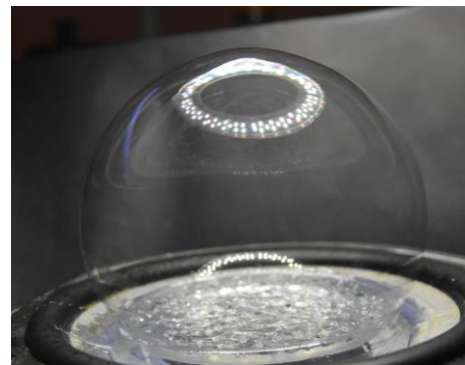


Figura 1 - Detalle maqueta domo frecuencia V2 con membrana interna de regulación térmica.
Fuente: Autores



Figuras 2 y 3 - Maqueta domo acústico construido con fibras bambú, barro y resina de mamona. Detalle embarrillado y nudo escondido en estructuras colaborantes en Bambú *phyllostachys aurea* Fuente: Autores



Figuras 4 y 5 – Modelo a escala estructura colaborante cubierta con resina natural (LILD). Análisis de deformación en superficies mínimas estimulado por frecuencias sonoras . Fuente: Autores



Figuras 6 y 7 - Set de análisis cimático. Estructura geodésica con módulo acuapónico y banca vegetal . Exposición Museu da Amanha 2019.Fuente: Autores

Por otro lado, considerando un enfoque histórico, Forty, A. (2008) afirma que el diálogo producido por la combinación entre el diseño industrial y artesanía es un capítulo que comienza a tomar forma a fines del siglo XVIII, como consecuencia del

advenimiento de un soporte productivo masivo en la generación de bienes de consumo. En aquel momento, tanto artesanos como artistas especializados en un determinado oficio, comienzan a dar origen a una virtuosa cadena productiva, forjando en gran medida los orígenes del diseño industrial y su relación con la producción seriada. Fue aquel modelo económico productivo el que prevaleció durante gran parte de nuestra historia. A través del tiempo, esa masificación exacerbada tuvo como consecuencia un desbalance en lo que a generación de desechos y medio ambiente concierne. Triste pero cierto, la realidad de esta armonía medioambiente-sociedad no ha sido de las más saludables. Desafortunadamente, dicha relación se ha basado en una postura de dominio o imposición de fuerzas por sobre la utilización de recursos naturales, situación cada vez más recurrente, donde una planificación estratégica errada ha incrementado las consecuencias y el desbalance naturaleza-sociedad. (Durán, E. 2020). Actualmente el concepto de desarrollo se basa en una relación matriz productiva, lo que mantiene un dominio global unificado y distribuidos verticalmente por todo el territorio (Santos, M., 2001).

Felizmente, desde hace ya algunas décadas, este tipo de impacto ambiental ha comenzado a regularizarse, convirtiéndose en requisito para una política de consumo sostenible y más conciente con nuestro planeta. Desde entonces las sociedades venideras paulatinamente han ido adaptándose a esta nueva realidad que compromete las demandas para un desarrollo cada vez más sostenible, donde el buen uso recursos locales es un factor determinante en la conformación de una sociedad que valora conocimientos y materias primas del lugar.

Con el advenimiento tecnológico de hoy, aquel concepto ya no tiene la misma validez. Diferentes versiones de profesionales del área han surgido como consecuencia de variaciones dentro de la escala de acción del quehacer del diseñador, como por ejemplo la versión del *Homo Faber* (Cardoso, R., 2016), cambiando el paradigma de ver y ejercer la profesión del diseño.

En la presente investigación, procuraremos ir más allá de lo que versa la concepción clásica del diseño industrial, la cual se concibió en un período donde no existía el debate sobre la sostenibilidad y el ciclo de vida de los objetos. Esta lógica que otrora fue una realidad con escasa o nula conciencia ambiental, y que desafortunadamente aún hoy opera en los sistemas de gestión, fabricación y consumo de productos masivos. Diseñadores, arquitectos, artistas, artesanos, entre otros, han venido reconquistando terreno olvidado, encontrando una oportunidad para el desarrollo local, en temas de difusión cultural, tomando parte importante de una nueva escena

productiva, la que hoy es conocida como escena la industria creativa local. (INAPI, 2018). En ese aspecto, lo vernáculo se asocia comúnmente a características nativas o internas de una comunidad, donde se pueden observar ciertas respuestas objetuales a la vida cotidiana como una serie de soluciones otorgadas por una parte importante y representativa de aquella localidad a determinados problemas de la vida cotidiana. En el caso de los objetos vernáculos tridimensionales, (Finizola, 2009), señala la definición de artefacto vernáculo, la que describe el resultado de la reorganización de elementos asociados por criterios netamente funcionales, y por medio de la recodificación de estos, lo que a la postre genera un estado de hibridez conceptual, aspecto característico de los artefactos denominados por Valse (2001) bajo el nombre de “inventos urbanos”.

3 Visualización virtual: parámetros gráficos para el proceso proyectual en diseño

Parámetros de adaptación formal y funcional, procesos optimización y customización, prototipado aditivo y sustractivo, scanning y diseño paramétrico, entre otras nuevas maneras que facilitan el ejercicio proyectual, han modificado el paradigma de cómo concebir formas geométricas de complejidad superlativa. Tal como lo mencionamos anteriormente en la metodología LILD, hoy en día, se hace innegable la necesidad de conocer y saber proceder con aquellos códigos virtuales de la simulación por computador (Lopes, Werner et al, 2009). Tan inminente se tornó la representación 3D virtual, que ya casi olvidamos o no necesitamos saber cómo es el *modus operandi* de cómo se procesa la información en el interior de aquella caja de pandora llamada ordenador. A pesar de la proliferación de ideas y conceptos en aquel mundo virtual que impera en nuestros días, es importante saber que mucho antes de la existencia del universo electrónico moderno lo virtual ya existía aquella palabra en nuestra lengua. Sus raíces tienen origen en el término latino *virtus*, lo que trae consigo las ideas de virtud, fuerza y poder. Podemos inferir que el término virtual fue extrapolado a este contexto inmediato, haciendo posible la comprensión y relación que el objeto electrónico-virtual trae consigo (Spitz, R. 1993). En ese aspecto, a pesar de que aquella premisa es cada vez más cotidiana, en verdad esta representación de la realidad no es una entidad incorporada en nuestro espacio concreto, sin embargo es en ella que se contiene gran parte de la información para un potencial futuro físico, tangible y construible. (Correia de Melo, J. 2017). Las figuras a continuación ilustran procesos de visualización de formaciones cónicas y su relación con frecuencias medidas en hertz y figuras geométricas con origen concéntrico, de 3, 4, 5, 8 y 10 lados.

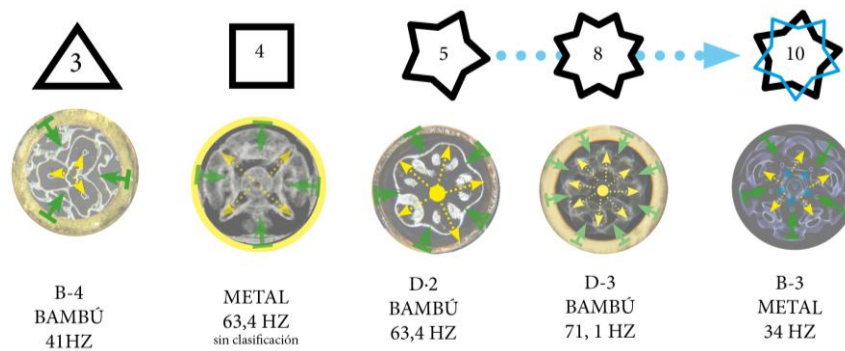


Figura 8 - Digitalización y análisis de coreografías cimáticas. Relación a hertz y figuras geométricas. Fuente: Autores.

Para el geógrafo Milton Santos (2009), el ordenador no simplifica lo que es realmente complejo, pero contribuye a su representación simplificada de lo que es una abstracción o proceso de reducción brutal. El autor añade que, para ser eficaz, el pensamiento de ordenador excluye el accidente (resultado) y somete el desarrollo intelectual de una práctica donde la sistematización y estandarización impone su propia lógica, o sea, el dominio de la lógica matemática en la lógica histórica. De la misma forma, Santos argumenta que, en relación a la gestión lógica de programación, algo característico de esta plataforma virtual, se basa principalmente en el desarrollo de un software que moldea formas por acción de una lógica binaria. Del mismo modo, Correia de Melo (2017) apunta que este sistema virtual se basa principalmente en una lógica de acción basada en la matemática euclidiana/cartesiana, siendo un principio geométrico usado para describir formas digitales en un espacio tridimensional complejo con una mayor precisión y rapidez. No obstante, los parámetros definidos por el ordenador en este caso, no siempre representan el espacio, ni materiales utilizados, tampoco los procesos constructivos demandados, relatando lo que vendría siendo una simulación que permite al usuario ver formas, sistemas y sus potenciales relaciones. Para el autor, son estos aspectos característicos de la modelación virtual los que implican un cuidado exhaustivo durante el proceso de diseño. Es por eso que se debe tener en cuenta que el resultado de dicho proceso es consecuencia de una abstracción de la realidad multidimensional que nos rodea, la que es codificada por una representación matemática clásica y que luego se hace posible por medio de la utilización de una interfaz bidimensional; la pantalla del ordenador como una plataforma de observación. Luego así, dicha representación funciona dos universos diferentes, el

humano-real y el universo del aparato. Para entender y parametrizar sus reglas de funcionamiento, trabajamos en un intento de controlar esta forma virtual en su coordenada de espacio y tiempo. (Correia de Melo, 2017).



Figura 9 - Registros cimáticos en contenedor polímero (PVC) y sección transversal de bambú (*bambusa vulgaris*). Representación digital del fenómeno observado. Fuente: Autores

En este aspecto, el diseño paramétrico refleja una de las más recientes tendencias en diseño asistido por computador, tanto en la investigación académica como también en la innovación del mercado de formas cada vez más audaces y diferenciadoras, permitiendo el control en la generación y representación de objetos a partir de una programación de algoritmos matemáticos (DAVIS, 2011).

Es necesario mencionar que el término paramétrico se deriva del sustantivo parámetro, sinónimo de variable de una ecuación o un sistema. Dicho de otro modo, el modelo paramétrico se refiere a un modelo digital basado en el conjunto de variables, donde las formas tridimensionales o patrones digitales resultantes pueden ser modificadas con antelación (Chiarella & Pastor, 2015). De acuerdo con los autores, la fundamentación geométrica se encuentra en el campo teórico de superficies evolutivas del proceso proyectual. Esto significa que el modelo digital final no es íntegramente desarrollado por el diseñador, sino más bien por el diseñador-programador, quién procede a través de una secuencia de instrucciones o pasos lógicos, como consecuencia de un conjunto de fórmulas matemáticas que derivan en una gama de opciones geométricas.

Este renacimiento en la concepción de formas complejas, perteneciente al campo de la geometría descriptiva, auxiliado actualmente por softwares Nurbs⁹, como lo son Rhinoceros y Grasshopper (entre otros), han propiciado el cambio de paradigmas en nuevas maneras de cómo parametrizar matemáticamente nuestros modelos, por medio

⁹ NURBS (Non-uniform rational B-spline)

de una lógica procedimental o secuencia de pasos. Finalmente, en esta nueva versión del diseño asistido por computador, dónde el proceso del diseño paramétrico se basa en la incorporación de nuevos recursos instrumentales, expandiendo un abanico de posibilidades, las cuáles obviamente dependen de las capacidades creativas del profesional que proyecta (Chiarella & Pastor, 2015). Según los expertos, la programación paramétrica ofrece no sólo una solución, sino una familia de soluciones para el mismo problema o desafío planteado.

Cognitivamente, y específicamente hablando de la interfaz tecnológica, es un nuevo desafío para el mundo de creativo, no sólo por la cantidad de información al que podemos considerar en el modelo virtual, sino también por permitir obtener un feedback más revelador y preciso, ésto antes de continuar hacia una etapa constructiva o tangible.

Sin embargo, este nuevo vocabulario paramétrico, lleno de códigos y funciones matemática-geométrica, es también un desafío para el ejercicio proyectual. En otras palabras, la sintáxis antigua del modelado virtual cambia radicalmente a un estado de criterios o razones para una conciencia de cómo y por qué el ordenador hace lo que hace. Cabe mencionar que, el dominio de ese idioma o vocabulario paramétrico es algo que viene del mundo de la programación de computadoras. Este tipo de "pesadilla de interfaz" entre el proyectista y el ordenador, todavía no posee una relación tan fluida como lápiz y papel, mano y arcilla o una maqueta análoga que facilite la comunicación durante el proceso en cuestión.

4 Libertad de inspiración; observación y extrapolación de parámetros codificados en fenómenos de la naturaleza

En el proceso evolutivo de nuestro planeta, organismos y sus ecosistemas naturales han pasado por un largo proceso evolutivo, posibilitando la optimización de funciones y estructuras en el afán de subsistir en el ambiente que habitan (Correia de Melo, Ripper y Moreira, 2013). Abundan ejemplos de estrategias de supervivencia de adaptación y transformación de las diferentes especies. No es casualidad que sus tipologías, morfologías, patrones de crecimiento y comportamiento, se convirtieran en una fértil fuente de información e inspiración para diferentes áreas del conocimiento. La observación de proporciones áureas, secuencias de Fibonacci, fractales, subdivisión proporcional de Voronoi, son sólo algunos ejemplos que han contribuido con aquel sesgo de sabiduría ancestral, siendo una suerte de código genético heredado por la naturaleza. Pero vale la pena preguntarse: ¿es posible reescribir sus estructuras, editar

sus relaciones y sistemas generativos?, ¿será el lenguaje de la naturaleza y su sintáxis lo que orienta a nuevos desafíos de parámetros y criterios de adaptabilidad en el mundo artificial?

Podemos afirmar que este tipo de información codificada es cada vez más recurrente en las diferentes áreas del conocimiento, las que se nutren directamente de la fuente llamada Biomimética. Dicho término proviene del griego *mimetes* que significa imitación. Área del saber que se basa en el estudio de soluciones utilizadas por la naturaleza en su voluntad de adaptación y resiliencia a través de los años. (Brajovic, 2016). Si bien es cierto que descifrar y representar aquella información a la perfección es un desafío aún pendiente, desde el punto de vista geométrico matemático, los patrones de crecimiento, su capacidad de adaptación, resistencia y ligereza, son incógnitas que bien podrían ser decodificados y descritos en una lógica binaria (Correia de Melo, Ripper y Moreira, 2013).

Actualmente, gracias a los avances tecnológicos de las herramientas digitales, comenzamos a entender e intentar traducir aquella complejidad de formas, estructuras y procesos generativos a través de programaciones algorítmicas aplicadas a modelos virtuales. El desafío futuro sería entonces cómo poder materializar dichos alcances, ya sea con métodos tradicionales análogos o por otros medios más precisos, como lo son las actuales tecnologías de materialización. A continuación, se muestran evidencias del registro virtual y prototipado digital de estructuras cimáticas materializadas por medio de impresión 3D en ácido poliláctico (PLA).

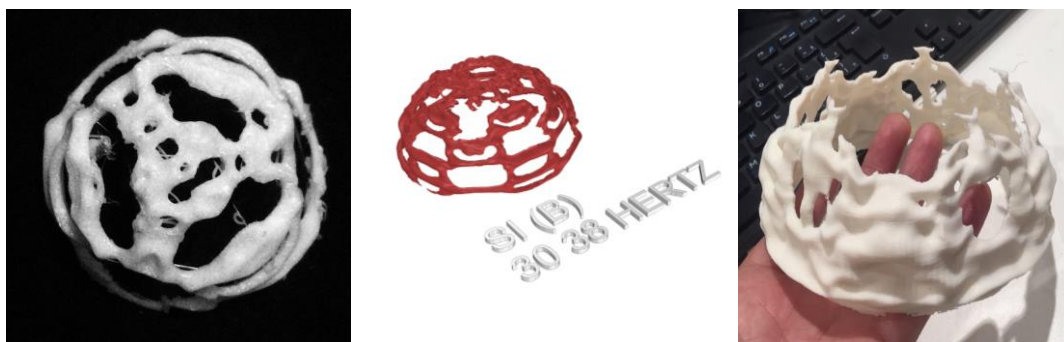


Figura 10 - Test de Impresión 3D. Frecuencias cimáticas 30.38 y 55 Hertz. Fuente: Autores

El siguiente caso, expone parte del método de estudio para el análisis de patrones cimáticos, en los procesos de captura, síntesis y abstracción, bajo determinadas condiciones de luz, sonido, temperatura, densidad, entre otros importantes factores de este fenómeno de la naturaleza. Los siguientes experimentos consideran la alteración de la tensión superficial de un fluido, pasando desde un estado

pasivo a otro movimiento cíclicamente altermadamente. Posteriormente se propone estudiar distintas alternativas de registros cimáticos, procurando detectar aquellas de configuración geométrica radial. La selección de dichas frecuencias fueron determinadas por un rango de estímulos sonoros en ocasiones imperceptible para el oído humano (figuras 11, 12 y 14). Cabe mencionar que en los experimentos realizados se utilizaron métodos comparativos de distintas gamas sonoras, algunas obtenidas de la naturaleza y otras provenientes de códigos musicales, optando finalmente por aquellas frecuencias medidas en Hertz, principalmente debido a la constancia en sus niveles de oscilación sonora.

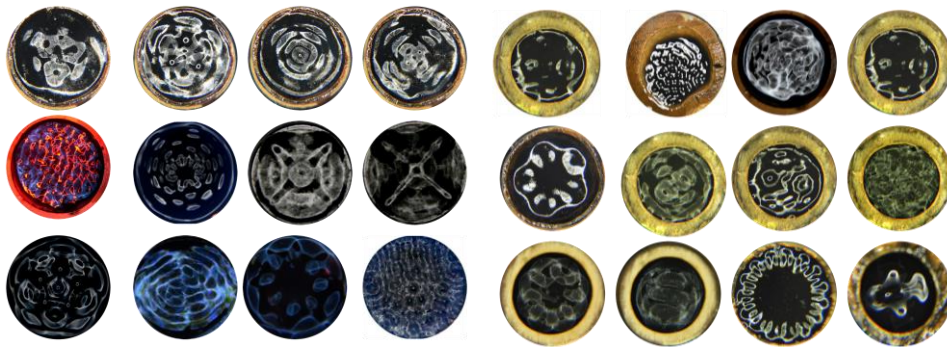


Figura 11 - Registro cimático, Laboratorio de Actividades da Amanha. Rango de frecuencias 16 - 158 hertz. Registro análogo, Cámara Nikon D5500. Iso 2000. Vel.40. Fuente: Autores

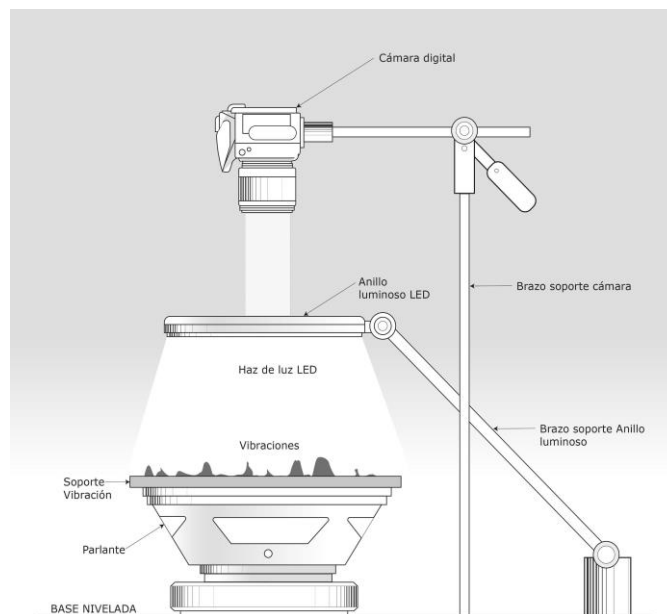
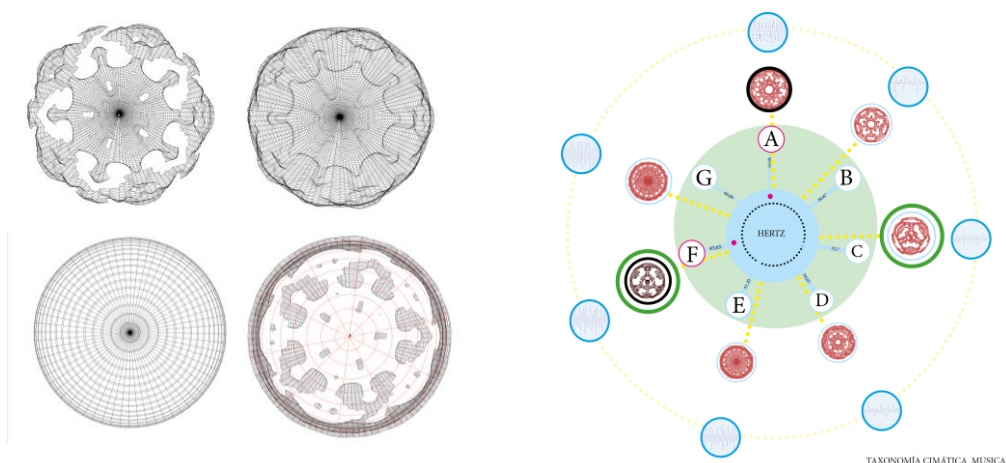


Figura 12 – Diagrama de registro cimático través de nuevos medios. Laboratorio de Actividades del Mañana. Fuente: Autores

Primero que todo, es necesario definir qué es un patrón cimático, y de cómo este referente de los estados de la materia puede ser un insumo válido para la creación de espacios, dónde el agua es representada como elemento fundamental para el origen y desarrollo de la vida. El término cimática es acuñado en el campo de física y se refiere al análisis de movimientos nodales de materiales no conformados. Bautizado así por Hans Jenny (1904-1972), médico suizo y pionero en este campo, utilizado para referirse a los efectos de movimientos periódicos que la vibración, a través del sonido, se manifiesta sobre los distintos estados con conformados de la materia, como por ejemplo en los líquidos, creando una onda variable, la que por medio de ciertas condiciones lumínicas, puede ser observada por el ojo humano y replicada en su organización a la manera de un patrón geométrico de movimiento cíclico. Ésto no es algo nuevo, la observación de este tipo de coreografía fluída sonora ya era materia de estudio en época del renacimiento, partiendo por Da Vinci y posteriormente Galileo, por mencionar solo algunos eruditos en estudios de la naturaleza, quiénes comenzaron a registrar este tipo de fenómeno en el comportamiento de auto regulación de estados no conformados de la materia. Posteriormente fue Ernest Chladni, en su libro “Descubrimientos en la teoría del sonido” (1787), quien describe una serie de patrones geométricos por medio de efectos vibratorios observados en gránulos de arena sobre una superficie de metal, que con la ayuda de un arco de violín se logra conformar una serie organizaciones simétricas. A través del tiempo, un importante número de expertos del mundo científico, artístico y terapéutico, han podido demostrar los avances en el registro de dichos patrones y su aplicación en diferentes contextos, haciendo el sonido una versión visible y tangible.



Figuras 13 y 14 – Esquema de sustracción booleana para análisis de nervaduras cimáticas. Diagrama comparativo tonal-cimático. Fuente: Autores.

5 Caso de estudio

En pos de una sinergia en el desarrollo del conocimiento aplicado, en parceria con otras instituciones, el LILD se propone desarrollar casos de estudios concernientes a patrones cimáticos y su posterior aplicación en procesos de form finding de coberturas para espacios de uso temporario. Dicho espacio geodésico, tiene como función la optimización de recursos hídricos y la producción de alimentos a escala domiciliaria, basado principalmente en sistemas acuapónicos. Cabe mencionar que este eje temático se desprende de las acciones que tiene el Museu do Amanhã, a través de su Laboratorio de Actividades del Mañana (LAA), quién viene desarrollado una serie de actividades relacionadas con la innovación y experimentación, principalmente en prospección de escenarios críticos en lo que concierne a la alimentación del futuro.



Figura 15 - Ensayo y visualización en el diseño de estructuras recíprocas virtuales. Primeros modelos operativos en el diseño de huertas basada en principios de acuaponía. Fuente: Autores

En síntesis, se propone un sistema de cultivo que combina la acuicultura y la hidroponía, donde animales acuáticos y plantas coexisten en una relación simbiótica. Dentro de este espacio se alberga un acuario de peces en cautiverio con fines alimenticios, ornamentales y /o terapéuticos. Dicho volumen de agua es proporcional a la cantidad de plantas y peces. Para que este balance ocurra, es de vital importancia la creación de espacios con características idóneas para mantener el equilibrio entre los ambientes generados, como por ejemplo, los factores climáticos, biológicos y químicos, los que podrían afectar el bienestar de las especies en su interior. El concepto de acuaponía (Hidroponía-Piscicultura), representa una revolución en lo que respecta a la aplicación de tecnologías modernas de información y comunicación (TIC) en la agricultura, no sólo como una respuesta a las grandes explotaciones en desmedro de la naturaleza, sino también por representar las nuevas tendencias de innovación social en contextos de agricultura y piscicultura colaborativa a nivel mundial.

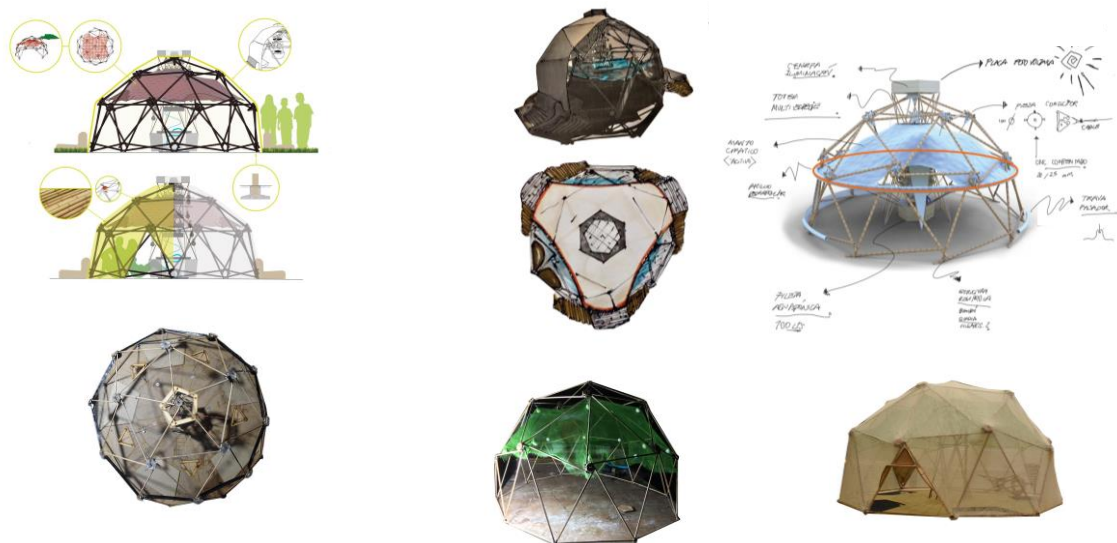


Figura 16 - Diseño preliminar virtual Bio Huerta. Esquema de funcionamiento de sistema acuapónico en Domo geodésico , incluyendo mesh interna inspirada en movimientos cimáticos. Modelo físico Domo 2V y manto cimático 34 Hertz , vista frontal y superior. Modelos virtuales y análogos. Fuente: Autores

En términos esquemáticos, el diseño se basa en la fusión de los materiales y técnicas constructivas locales, además de nuevos métodos para la creación y análisis estructural del diseño de espacios, considerando los distintos elementos que inciden en el buen funcionamiento tanto en su interior como en el exterior.

Como factor diferenciador de este proceso científico-creativo, este diseño hace hincapié en la fase de búsqueda de la forma para su posterior aplicación en el diseño estructural recíproco, modularización, y principalmente en la creación de una segunda piel interna con fines prácticos en el confort térmico de su interior a tarves de efecto convectivo también conocido como efecto *Stack*. Para la obtención de la geometría de esta superficie cimática, se utilizó como fuente de inspiración la observación en el comportamiento de volúmenes de agua estimulada por frecuencias sonoras (10-160 Hertz, figura 11), resultando la configuración de patrones geométricos circulares, los que posteriormente son traducidos según criterios de inter-relación paramétrica digital y modelos análogos a escala. Cabe mencionar que dicha obtención del manto cimático, guarda relación con otro tipo de frecuencia, en este caso frecuencias de la geometría geodésica, específicamente aquellas pertenecientes a estructuras de domos geodésicos de frecuencia $\sqrt{2}$ y $\sqrt{3}$, conocimientos altamente desarrollados por Buckmustefuller (Durán, 2020).

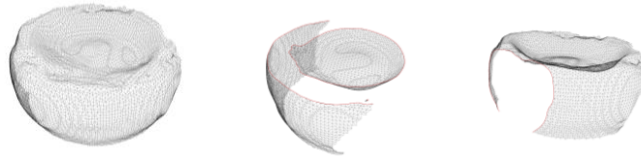


Figura 17 – Modelos virtuales de secciones de bambusa vulgaris scaneada con 3D Snanner Sense. Fuente: Autor

Otro factor crucial a considerar en los experimentos realizados, es la utilización de secciones cilíndricas de especies bambúseas, principalmente *bambusa vulgaris*. Este *input* de la investigación, no sólo considera este tipo de material por su excelente capacidad conductiva para vibraciones sonoras, su ligereza, densidad y capacidad de contener, sino también para posteriormente ser utilizado como insumo principal en la etapa de construcción de la estructura que contiene y conforma el manto cimático analizado. Dicha superficie es capturada y representada por medio de herramientas computacionales de diseño paramétrico como lo son Rhinoceros y Grasshopper, y sus plugins asociados a registros sonoros (*Firefly*), cimática de sólidos (*Parekeet*), construcción de mantos entrelazados (*Weaverbird*), estructuras colaborantes y/o tensoestructuras (*Kangaroo*), entre otras herramientas digitales tal como es ilustrado en la programación de la siguiente figura.

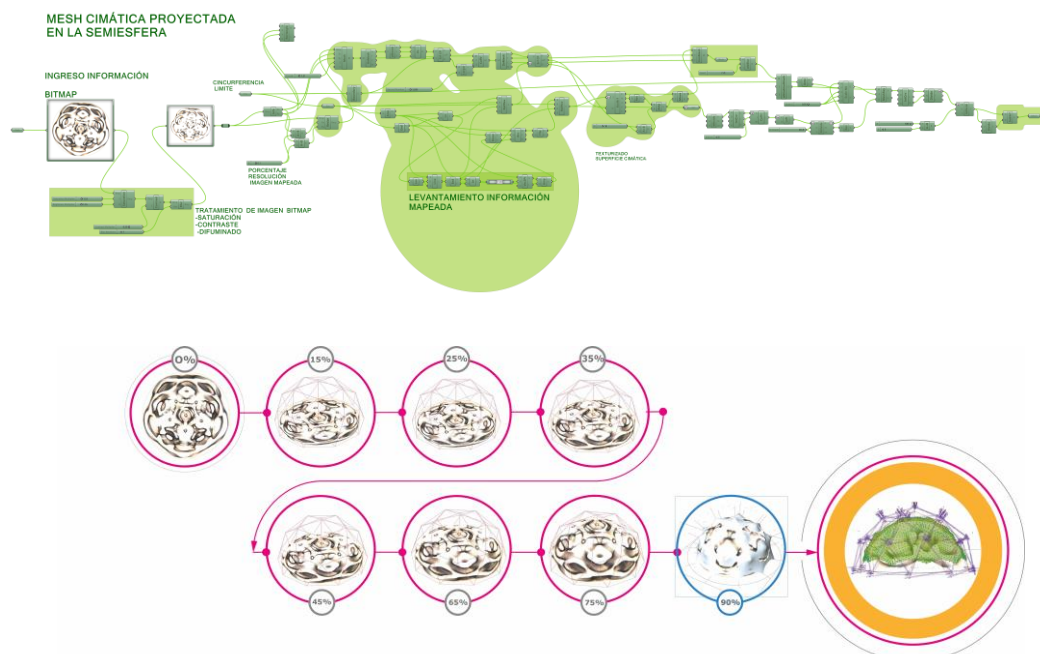


Figura 18 y 19 - Secuencia obtención de superficie cimática y su sincronización con estructura geodésica frecuencia V2. Fuente: Autores

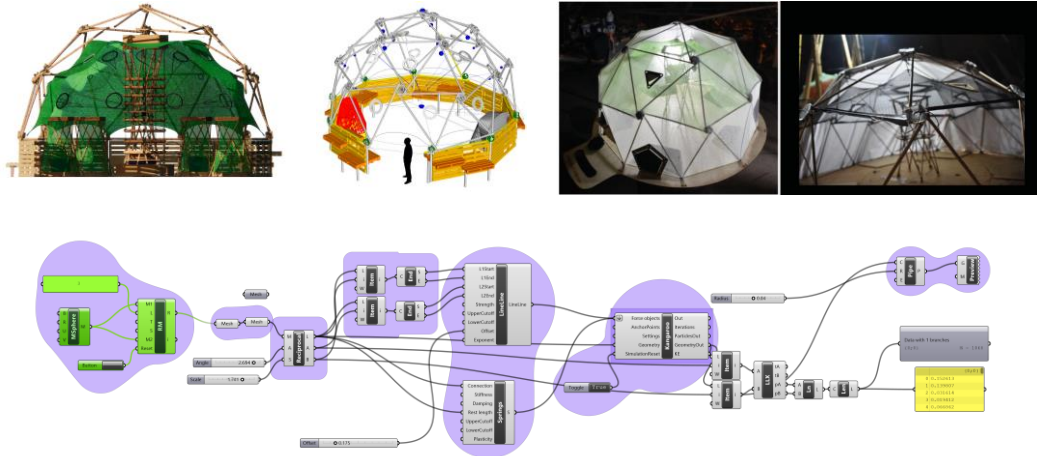


Figura 20 y 21: Modelos vituales y análogos Bio Huerta de estructura geodésica colaborante en bambu con manto cimático de 34 hertz. Abajo: Workflow para la obtención de estructura colaborante y sistema cimático modelados en NURBS, Plugins Kangaroo. Fuente: Autores.

6 Conclusión

En la actualidad, podemos incluir distintos factores y/o variables que contribuyen al proceso de diseño, como también en el abordaje del mundo físico de los estados de la materia, material e y sus posibilidades geométricas, estructurales y constructivas, entre otros factores relevantes del proceso de búsqueda de forma. Sean análogos o digitales, en alineación con dos, tres o hasta cuatro dimensiones (cimática), todos los experimentos y modelos realizados describen aproximaciones sucesivas, a través de procedimientos basados errores y aciertos, métodos válidos para permitir visualizar posibles soluciones al desafío planteado. Ambos modos colaboran recíprocamente, y entre los dos ofrecen resultados con características sustancialmente diferenciadoras.

Lo importante aquí es encontrar parámetros que combinen las libertades que traen consigo lo virtual, para luego hacerlas dialogar con lo concreto y tangible, siendo los modelos operativos, maquetas y prototipos un estado aún más complejo de resolver, debido principalmente a la incorporación de un componente fundamental, la usabilidad.

De la misma forma, en relación al mundo orgánico estructural, esta morfología tan compleja para modelar, es un aspecto que hace que los resultados del diseño paramétrico sea más atractivo, posiblemente debido a esa relación natural-artificial que los métodos de esta manera de diseñar trae consigo. Podemos advertir en éste libre albedrío de métodos digitales o análogos, acarrear una serie de variables que

repercuten directamente en aspectos cualitativos y cuantitativos de los procesos de investigación.

Esto nos hace pensar en un campo fructífero para una conversación entre ambos modos de pensar y hacer diseño, en ese sentido, el libre albedrío en procesos de búsqueda de forma, tiene como condición *per se* mantener el balance entre los dos mundos, el virtual y el tangible.

Referencias

- BRAJOVIC, M. **“In nature we trust”**. ISBN 9788592822002. Brasil, 2016.
- CARDOSO, R. (2016) . **Design para um mundo complexo**”. Brasil, 2016.
- CHIARELLA & PASTOR, **Pensamiento Gráfico y Desarrollo Colaborativo. Geometrías desarrollables en composiciones plegadas Arquitectónicas**, SIGRADI, 2015.
- CHLADNI, E. **Descubrimientos en la teoría del sonido**, 1787.
- CORREIA DE MELO, J. **Modelos em linguagem mecânica e modelos em linguagem eletrônica: as interações na metodologia do LILD**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2011.
- CORREIA DE MELO, J. **Processo de obtenção de formas para baseadas em superfícies mínimas e formações naturais** Rio de Janeiro: Tese de Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2017.
- CORREIA DE MELO, J., RIPPER, J., & MOREIRA, L. **Development of Bamboo Structures Based on Minimal Surfaces and Natural Formations**. IASS Symposium 2013 - Beyond Limits of Man, (p. 8). Wroclaw, 2013.
- DAVID, R. M. **Rapid Ethnography: Time Deepening Strategies for HCI Field Research**. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=347763>, 2011.
- DURÁN , E. **Patrones cimáticos: aplicación de nuevos medios y técnicas vernáculos en procesos de diseño de espacios sustentables para uso temporario**. Tese de Doutorado em Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. PUC.- Rio, 2020.
- FINIZOLA , F. **Tipografia Vernacular Urbana , uma análise dos letreiramentos populares**. 2009.
- FORTY , A. **Objetos de Desejo, design e sociedade desde 1750**. 2007.
- FLUSSER, V. **O Mundo Codificado**. São Paulo: Cosac Naif. 2007.
- FRAYLIN , C. **Reserach in Art and Design**, 1993.
- INAPI, **Instituto de Propiedad intelectual en Chile**. Edición Gobierno Chileno. 2014.
- LOPES, J., AZEVEDO, S., BRANCAGLION J. & WERNER J, H. **Tecnologias 3D: Desvendando o passado, medelando o futuro**. Rio de Janeiro: Lexikon. 2013.
- MOREIRA, L. E., & RIPPER, J. M. **Jogo das Formas - Lógica do Objeto Natural**. 2014.
- OTTO, F., & RASCH, B. **Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal**. Stuttgart: Axel Menges, 1995.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Editora da universidade de São Paulo, 2009.

SPITZ, R. **O papel da computação gráfica no ensino de desenho industrial: a percepção de dirigentes, docentes e alunos**. Rio de Janeiro: Tese (Doutorado em Artes e Design Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. PUC.- Rio, 1993.

VALESSE, A. **Design Vernacular Urbano: a produção de artefatos populares em São Paulo como estratégia de comunicação e inserção social**. 2007.