

EL DOMO GENERATIVO. MODELACIÓN MORFOLÓGICA Y DISEÑO PARAMETRICO. BASE DEL ESTUDIO DE ENSAMBLES MODULARES EN LA FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS PARA SISTEMAS CAD-CAN*

Artículo de Investigación - Recibido: 24 de septiembre de 2014. Aceptado: 15 de diciembre 2014

Ps. Omar Cañete Islas**
Universidad de Valparaíso, Chile - ocanetei00@yahoo.es

Felipe Mateo López***
Universidad de Valparaíso, Chile - felipemateolopez@gmail.com

Para citar este artículo / to reference this article:

Cañete, O.; López, F. (2015). El domo generativo. Modelación morfológica y diseño paramétrico. Base del estudio de ensambles modulares en la fabricación de prototipos para sistemas CAD-CAN. *Módulo Arquitectura CUC*, Vol.14 N°2 105-132. Doi:

Resumen

El presente artículo explora las aplicaciones morfológicas al desarrollar procesos creativos con sistemas CAD-CAM. Para esto, los autores tomaron el desafío de trabajar nuevos maderas de abordar el clásico problema del domo arquitectónico. En este proceso, nuevos problemas de diseño fueron abordados tales como temas morfológicos propios del diseño algorítmico paramétrico, o el carácter no geodésico del modelo del domo final, o el problema de la doble curvatura, o como estandarizar el corte de paneles y el ensamble en los prototipos. Finalmente, se discuten la importancia de temas como el crecimiento y la fragmentación en la modelación morfológica para una arquitectura contemporánea.

Palabras clave:

Domos no- geodésicos / morfología fractal / Ensamblés modulares / diseño paramétrico / Sistemas CAD-CAM.

* Artículo desarrollado en el marco de los proyectos adelantados desde la facultad de arquitectura de la Universidad de Valparaíso-Chile.

** Psicólogo Docente Escuela de Arquitectura.

*** Arquitecto de la Universidad de Valparaíso, Chile.

*THE GENERATIVE DOMO. MORPHOLOGICAL MODELATION
AND PARAMETRIC DESIGN. BASES OF MODULAR ENSAMBLES
IN DEVELOP OF PROTOTYPES TO CAD-CAM SYSTEMS*

Abstract

Present paper explores morphological application to develop modular creative processes with CAD-CAM systems. For this, authors took challenge of working a new way to aboard classic problem of architectural domo, working with fractal and iterated system to model basic pattern. In this process, new problem of design was aboard as morphological and algorithmic-parametric issues in design, or no geodesic character of final model of domo, or problem of double curves, or who to standardize cutting of panels and prototypes ensemble. Finally, authors discuss about relevance of modeling morphological fragmentation or growing process in contemporary architecture.

Keyword:

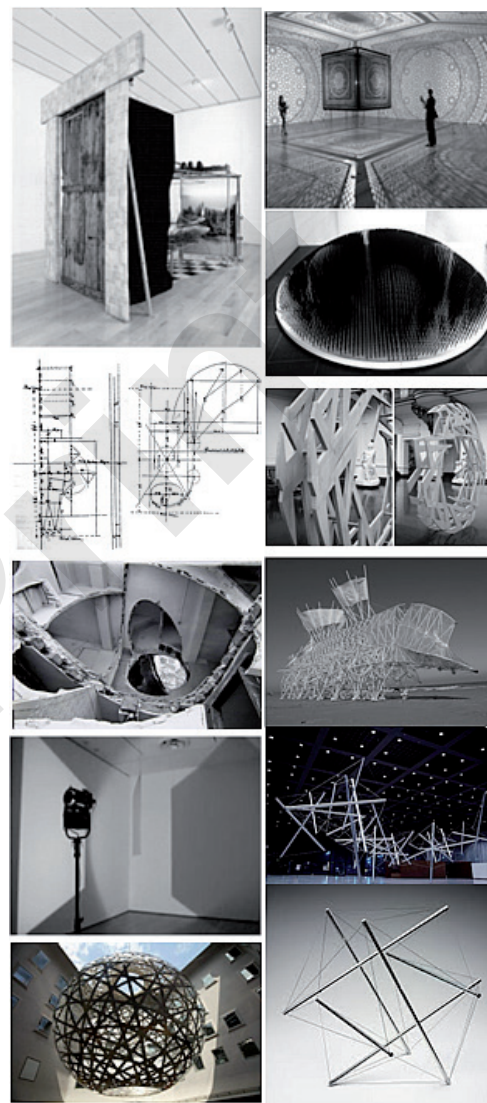
Non geodesic domes / fractal morphology / modular assemblies / parametric / CAD -CAM design systems .

Presentación

*“Todos los sistemas estuarios de los ríos de todo el mundo recuerdan a árboles en alzado, a estructuras que se bifurcan fractalmente y que siguen ramificándose eternamente... incluso las líneas dibujadas al azar recurren a las costumbres.”
Toyo Ito, “Conversaciones con estudiantes”*

Parametros, Diseño Generativo, y Paneles Morfológicos

El constante estudio de patrones y morfologías por parte del equipo durante estos años, ha llevado a poner interés en herramientas de modelación espacial en base a parámetros, tales como Grasshopper de Rhino. Este tipo de softwares, permite importar patrones o morfologías vectorizadas, que han sido modeladas previamente y susceptibles de serlo en estos mismos programas, las cuales, permiten someter estas formas a diversas operaciones de transformación e interacción con otras morfologías, generando nuevas operaciones entre sí, integrado en un solo proceso continuo,



Imágenes 1.. Desde arriba: a) Patrones áureos subyacen a la iconografía medieval del Salterio de Castilla, b) Patrones visuales armónicos en el Descenso de la Cruz de Rubens, c) Estudios de proporciones en las cuadraturas circulares como principios generativos, de Leonardo Da Vinci, folio 453r del Códice Atlantis, d) Descomposición armónica basado en sistema modular, e) diseño regular de vitral casa Samfield, de Josef Albers, f) descomposición irregular de patrones en Vitrales de Chagall, g) descomposición cinética de patrones de Jhon Whitney y Willem van Weeghel, y h) vectorización fractal de los autores, FONDART 2012.

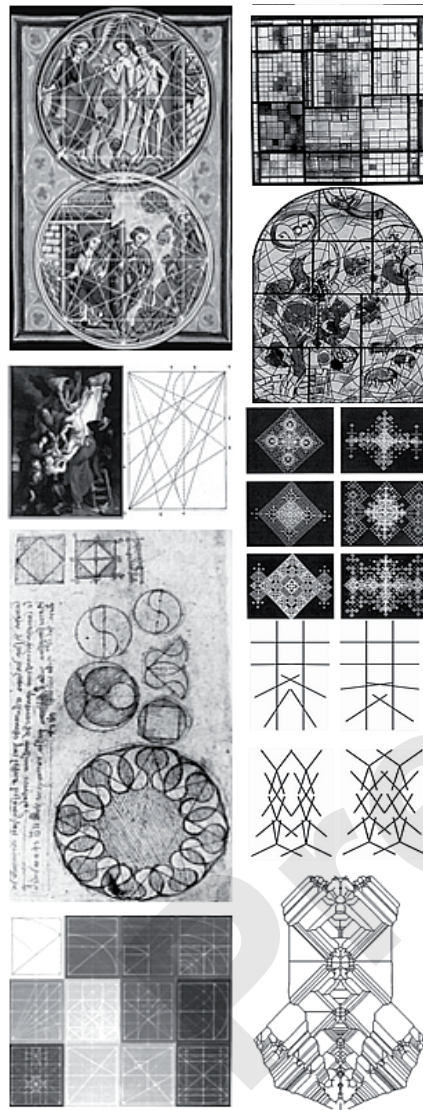


Imagen 2. Instalaciones de Duchamp, Gordon Matta-Clarck Olaffur Eliasson, y Anila Quayyum Agha, Aayoi Kusama y Alejandra Rudolff. También destacan instalaciones kinéticas como las de Theo Janssen y basada en principios de tensegridad, obras como las de Kenneth Snelson y Takaaki Bando.

el diseño, la forma y su espacialización, y la definición de sus parámetros y medidas. Este procedimiento de modelación morfológica inicial, se ha llamado genéricamente Diseño Generativo, el que ha potenciado además, nuevas posibilidades de expresión y modelación como aplicación directa en el desarrollo de instalaciones, prototipos, diseño de paneles, entramados modulares y maquetas a escala. Por lo mismo, la parametrización (asignación de valores de medida al diseño generativo) ha hecho más dúctil esta herramienta según el propio avance de nuevos softwares de modelación morfológica de patrones, como por su vinculación a la aparición de plotter 3D (con materiales como resina o plásticos), cortadoras (CNC) de metal, y routers para el diseño de unidades y ensamblajes modulares constructivos que responden a este tipo de formatos de trabajo. Esta permite el diseño creativo de unidades, módulos o incluso estructuras auto-soportantes que después, al ensamblarse en la obra, permiten la generación de superficies, instalaciones, y verdaderos mantos o pieles realizados en diversos materiales, ya sea en placas de metal, madera y/o materiales sintéticos, entre otros.

En este marco, se discute la relevancia de estas herramientas, no solo en un sentido secundario de diseño, sino de modelación y pensamiento creativo, en el uso de la forma arquitectónico-constructiva.

Marco Teórico. La Armonía del Cristal y la Panelización Modular

“... lo que el artista hace, a través de aquel extraño “producirse” del efecto, no podrá ser jamás considerado como una copia, medida sobre la verdad a despecho de su falta. El dudosísimo producto es denominado por Platón phantasma..” (Pablo Oyarzun, 2000; Anestésica del Ready Made)

Forma y Arte. De la Sección Aurea y los Mecanismos de Combinatoria y Crecimiento a la Fragmentación e Interacción Compositiva

Desde la antigüedad y hasta inicios del Renacimiento, la composición del plano de representación, se han pensado a partir del juego de proporciones entre sus partes, especialmente generado a partir de la inscripción e intersección proporcionada de círculos en rectángulos o del abatimiento de la diagonal del cuadrado o rectángulo visual en función de la proporción aurea. La llamada sección de oro, es posiblemente, uno de los más grandes y bellos descubrimientos geométricos y morfológicos, y podemos afirmar que aún no parece agotar todos sus secretos y posibilidades, al replantearse desde la geometría fractal en relación a una mirada desde las transformaciones a escala que esta propicia. Pero en este largo camino, especialmente en la pintura y escultura, será durante el Renacimiento el juego de las series armónicas derivadas de

la sección la que aparece al centro del juego de reglas de composición y ordenamiento proporcional, usado de un modo esencialmente invisible al ojo de manera directa, sino sólo en la medida, en que le organizaban la distribución, cadencia y proporción entre los objetos perceptuales que son dispuestos. Resulta interesante que el límite del desarrollo de la proporción aurea quedo dado por la idea marco de una combinatoria que subyacía a su uso compositivo. Un claro ejemplo de esto será el modelo Modular, desarrollado por Le Corbusier durante el siglo XX. Sin embargo, en el Barroco esta proporción será una dúctil herramienta de composición de detalles, ornatos y toda una estética del pliegue (como denomina Deleuze), -de igual modo que el ostinato musical recompone en el fragmento, variaciones de la misma monodia de base-, además de regular la composición y armonía visual general de manera cada vez más estática, alegórica y figurativa. El objetivo es una organización armónica e ideal de las figuras en el plano de representación visual que es estático e ideal.

Instalación de Entramados y Yuxtaposiciones Paisajísticas

En esta evolución, serán los trabajos de las vanguardias artísticas del siglo XX, donde cada vez se toma más conciencia artística del rol del observador y su complejidad, y para quienes el uso de las proporciones queda enfrentado a los



Imagen 3. Modelación de texturas en base a procesos de crecimiento y fragmentación morfológica Ver Cañete, 2014

procesos de descomposición morfológica en las artes, lo que hace replantearnos el problema de la representación desde el concepto de dispositivo o instalación por un lado, y de los procesos de fragmentación como mecanismo compositivo alternativo a la proporción aurea, la perspectiva u otro. Como señala Marchan Fiz (2008) hacia mediados del siglo XIX, estas nuevas generaciones se sentían atraídas, no sólo: *“... por el vuelco que suponía el abandono de la perspectiva central y las consecuencias potenciales que se desprendían de la simultaneidad especial de sus visiones”*,.. sino también por: *“el orden visual conflictivo, las leyes dinámicas en disonancia, donde las arquitectura se desintegran en facetas y se fragmentan en sus formas geométricas, y no en una distribución racional”* (p. 45).

En nuestro caso, resultan interesantes como antecedente, la fructífera continuidad que lograron los así denominados expresionistas y post-cubistas alemanes, tendiendo un puente entre el Romanticismo e idealismo alemán de fines del siglo XIX, y las propuestas formalistas post-constructivistas de inicios del siglo XX, que terminaran en la consolidación del diseño de instalaciones, especialmente a partir de las performances dadistas y de los trabajos de Duchamp, en adelante. Destacan en este punto, artistas como Lager, Braque inicialmente, y luego, Feininger, Meidner, Delaunay, M. y B. Taut, Luckart, entre otros, y, como nos recuerda Marchan Fiz (2008), las

fértiles y poco estudiadas elucubraciones y desarrollos en torno a la imagen del cristal y el prisma como constructo estético por excelencia de esta etapa. Posteriormente, la irrupción de la instalación en numerosas tendencias después de la post-guerra, será un punto de inflexión para tendencias como el action-painting, el op art, el materismo y las variadas formas de mixtura, incluida las renovadas formas minimalistas que a partir de la pintura abstracta (Mondrian, Klee o Albers) y se extenderá a los primeros artistas computacionales gráficos, con nuevas herramientas como el plotter, el computador, y recientemente el router. Las numerosas variantes de este constructo, como la maquina, el mecanismo, nos permite enfatizar la importancia de operaciones como el ensamble, montaje, panelización, crecimiento o fragmentación modular de las partes del dispositivo. Esto supone, además de los mecanismos post-cubistas que describe Fiz, estrategias de yuxtaposición y disposición y transformación según principios o incluso formas azarosas, o como en nuestro caso, asociado a procesos de fragmentación iterada a escala, los cuales progresivamente se van estructurando de algún modo, acomodándose uno a otro en un orden o estado de cosas donde se sitúan, formando una unidad orgánica de tramas dispuestas en una coreografía mayor. Como conjetura Adriana Valdés (2008) sobre aquel posible encuentro – nunca realizado– entre Benjamin y Warburg, respecto de éste último:

“las secuencias no quedaban congeladas; los famosos paneles oscuros sobre los que Warburg colocaba las imágenes eran lugares concebidos para hacer modificaciones, y al modificarse las secuencias de imágenes surgían necesariamente nuevas posibilidades de argumentar, nuevas secuencias de pensamiento. Al inventar los paneles, creó una nueva forma de mostrar, un ordenamiento que no implicaba ni una razón totalizadora emanada del sujeto ni tampoco una pura arbitrariedad. Sus montajes no estaban hechos para generar y fijar un determinado sentido; eran más bien artefactos capaces de ir suscitando sentidos múltiples... verdaderas máquinas de imaginar” (pp. 44-45).

Por último, destacamos como las nociones de instalación, dispositivo, montaje y mecanismo no sólo gatillan la aparición de un elemento nuevo en el arte, el del dinamismo, diversidad, mutabilidad, variabilidad y multiplicidad de escalas de la observación, sino que influyen en la disposición espacial de tramas y relaciones complejas como eje de nuevas propuestas y búsquedas (llevando, en términos bejaminianos: a un “*entrecruzamiento de los espacios*”), en diversos grados de “*porosidad*”, como nos sugiere Deote (2012). De algún modo, esto deriva en una mirada rica en mixturas, afín a las tramas paisajísticas e interactivas, en tanto relaciones dinámicas de conjunto, como eje integrador para disciplinas como la arquitectura, las instalaciones escultóricas, la computa-

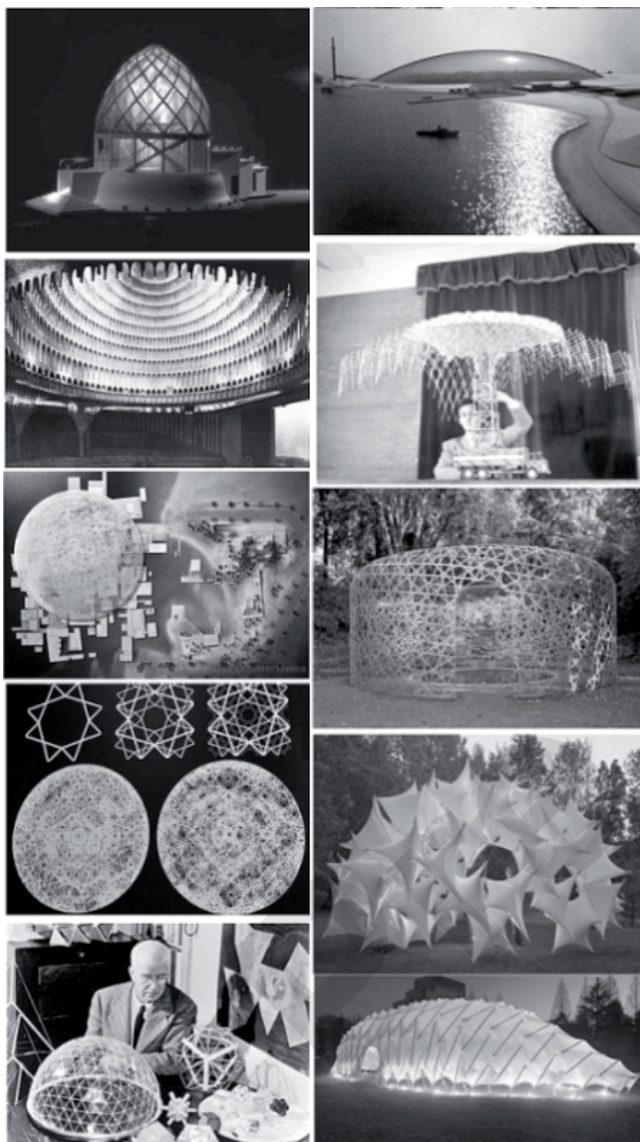


Imagen 4. Serie de domos.; de B. Taut, Cúpula teatro de Berlín de Hans Poelzig, Domos de Nouvel (proyecto para Dubai) Fuller, Frei-Otto (proyecto de ciudad domo para al ártico, Pérez-Piñero y Eliasson. Abajo: Domo tenso-estructurados de alumnos Ball State University, USA y domo de la luna (tenso-estructurado) de Kazuhiro-Kojima, en base a principios de tensegridad y diseño paramétrico.

ción, el arte digital, el diseño paramétrico, el arte kinético o los dispositivos transformacionales, entre otros. Como señala Garofaro (2007): “De este modo, cambia la noción de paisaje o mejor, se transforma. Ahora ya no hacemos arquitectura tan sólo para entrar en contacto con el exterior de un modo visual. Primero lo definimos como un interior, como un lugar cerrado dentro de unos límites, y luego, mediante el arte, intentaremos romper dichos límites” (p. 29). Nos permitimos destacar en este punto, expresiones plásticas abiertas a esta porosidad interdisciplinar, como las de Gordon Matta-Clarck, Olaffur Eliasson, Thorsteinn, Theo Jansen, Kenneth Snelson, Takaki Bando, o Wilhem von Weelhem, entre tantos, ubicados en estas fronteras dinámicas entre ciencia, técnica y tecnología por un lado, y arte e intervenciones e instalaciones arquitecturales y paisajísticas, por otro.

Morfología y Arquitectura. El Desafío del Domo

En relación a nuestra propuesta, cual es, el diseño paramétrico de un domo fractal, hemos de destacar la clásca evolución que ha tenido, fuertemente asociado al soporte estructural y diseño ingenierril de entramados metalicos del neo gótico romantico de fines del siglo XIX (Kibble, Glsgow, Knoblauch o Schwedler) hasta las cubiertas esféricas, mallas articuladas y domos geodésicos de Stöner, B. y M. Taut y algunas obras de Gropius (desde la Bauhaus). Posteriormente,

seran los grandes reticulados estructurales de Fuller, Frei Otto, Loos, llegando a las exploraciones fantásticas de ARCHIGRAM, y mas recientemente los trabajos de Calatrava, Tschumi o Nouvel, desde el punto de vista estructural, además de la amplia revisión de estructuras y entramados móviles que ha realizado Feliz Escrig de la obra de Emilio Pérez Piñero. De esta evolución, un elemento importante que rescatamos, dice relación con la distinción entre domo geodésico y no geodésico, en tanto descriptor de los mecanismos de triangulación interna de las unidades que conforman la grilla o trama regular o irregular, entendiéndose que no todas las tramas internas han de estar formadas por conexiones de triángulos. En nuestro caso, el domo resulta ser mixto, es decir, contempla un diseño tanto geodésico, en tanto incluye patrones triangulares en su grilla y entramado original (aunque son de diversos tamaños, formas y escalas) las que sin embargo, quedan en estrecha relación con otras tramas irregulares que se generan, incluyendo porciones de tramas abiertas, sin un cierre perimetral poligonal, lo que lo hace ser en muchos sentidos, una grilla no geodésica también. Por otro lado, destaca en nuestro desarrollo, la panelización de sus trazas, a modo de costillas de barco (como el Domo de Florencia de Brunelleschi), que además considera la unión mediante ensambles semi-modulares entre sus partes, siguiendo estrategias paramétricas en relación a diseño de patrones de la trama original. Esto, creemos,

enriquece la exploración morfológica y creación de este tipo de estructuras, con nuevos modos de diseño. Un aspecto presente en el análisis estructural es lo que hoy se denomina tensoestructura o tensegrity. Este principio, si bien no es explorado en la presente propuesta, nos permite profundizar en la forma de reticular una malla, comprendida a partir de ciertos principios de mayor flexibilidad.

Antecedentes

Bases de la Propuesta

"Hasta ahora las extensiones tecnológicas de los sentidos han reforzado la primacía de la vista, pero las nuevas tecnologías también pueden ayudar al cuerpo [...] a destronar la mirada desinteresada del espectador cartesiano desencarnado". J. Pallasmaa, "Los ojos de la piel".

La génesis de los ejercicios que se han desarrollado en el presente proyecto, provienen de la observación sistemática, del dibujo del paisaje natural y urbano de la región, no de intereses -a priori- por la modelación digital, esta se comprende como herramienta asociada a la resolución de encargos específicos de diseño, experimentación formal e investigación, mediante mapeo de patrones geométricos dentro de mallas de curvas; teselaciones en diferentes relieves, superficies virtuales tridimensionales y reales, los cuales integrados en las

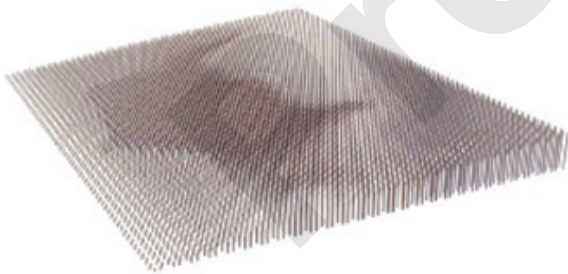
distintas proposiciones volumétricas que se presentan, permiten explorar mediante una asociación a otras operaciones espaciales, como las de atracción, escala, simetría, iteración, etc. e indagar de cerca en distintos sistemas complementarios de geometrías u órdenes; Euclidiano y Fractal, sistemas de crecimiento modular y sistemas constructivos. Lo que nos ha hecho rozar algunas disciplinas ligadas al arte, especialmente a través de la instalación de módulos, el arte digital, la música y la arquitectura (2012)¹. En este transcurso ha sido pertinente recurrir a distintos autores, que han sido referentes formulando planteamientos o propuestas afines, los que nos han allanado un largo camino, desde hitos significativos y sucesos visionarios, que dicen de la urdimbre entre observación de la naturaleza y arte; desde la gráfica rupestre, la representación del espacio mediante perspectivas, la arquitectura gótica o la producción en serie del vidrio, la pintura cubo-expresionista y las vanguardias modernas, para luego mediante la masificación del uso de ordenadores domésticos y nuevas tecnologías asociadas, abrir un camino concatenado a diferentes campos que han sido focos de estudio, para las contemporáneas Teorías de Complejidad (Cañete, 2014), las cuales, transversales a la Geometría Fractal, así denominada por B. Mandelbrot (1987), han sido fuente de inspiración y aplicación para diversos creadores; escritores, pintores, músicos, arquitectos, etc. Al punto que desde hace un par de décadas, se habla claramente acerca del Arte de los Nuevos Medios, como corriente

de fundamento para la comprensión de la realidad contemporánea y la temática en torno a la noción de redes. Autores como Mark Tribe (2006) señalan que: *“Para muchos artistas, el advenimiento de Internet supuso un cambio de actitud con respecto al ordenador, este dejó de ser un simple instrumento con el que manipular imágenes, diseñar invitaciones para exposiciones y redactar solicitudes de beca”*. O ideas que devienen de las experiencias ligadas a la multiplicación o reproductibilidad de la obra, según lo entiende Dieter Honisch (1979) no se quiere “simplemente tratar un tema iconográfico o formal, sino que un medio, que como la tipografía y la técnica gráfica, han hecho un aporte a la democratización del arte o una idea determinada de este”. Uno de los puntos en que ha decantado esta serie de ejercicios, ha sido el trazado de un vínculo desde la experimentación mediante modeladores virtuales 3D, programación de geometría compleja, modelación analógica y croquis, sistemas constructivos modulares y fabricación digital (CAD; Diseño asistido por computador. CAM; Manufactura asistida por computador). Con lo que se ponen en relevancia temas como; La optimización de materiales, planificación de tiempos, costos en la producción estructural, prefabricación, posibilidades de modificación espacial y/o crecimientos modulares, relaciones de cálculo y de precisión en el paisaje, etc.

Por otro lado, la experiencia de estudiar en profundidad los acontecimientos arquitectónicos en la región, la interac-

ción entre morfología natural/material, formas de hacer y modos de habitar, es una tarea que deriva en una variedad de información, muy diversa y contingente, que de poco sirve almacenar en archivos. Observamos que la riqueza del paisaje es su principal oportunidad, dado que hoy ha sido su mayor problema. Laderas y quebradas convertidas en espacios residuales, evidencian una tendencia sostenida, de que lugares que causan rechazo, sigan causándolo. Expusimos la consideración de este tema, junto a Juan Luis Moraga y Omar Cañete (2011) 6, reafirmando la importancia de la condición morfológica en la conurbación, el desarrollo de barrios y externalidades que la afectan, producto de la inercia del descuido. Teniendo en cuenta que también existen bolsones de periferia dentro de la ciudad, entre otras observaciones se estableció que las características morfológicas que soportan la compleja estructura de barrios en la (periferia de la) conurbación, son fenómenos complejos e importantes de mapear, con ello surge la consecuente pregunta y desafío acerca de ¿Cómo mapearlos?, teniendo en cuenta que la importancia patrimonial de la ciudad, en cierta medida, se ve afectada por la relación espacial de centros vs periferias, surgen otras preguntas que dicen relación, con el planteamiento de los modelos proyectuales, que se expusieron; ¿Cuándo un centro pierde su condición o qué tipo de herramientas nos permiten anticipar o planificar la generación de un centro o (el cuidado) de una periferia? de lo que deviene la pertinencia

de la noción de gradiente de contacto y la modelación de patrones climáticos de asoleamiento y viento, en mallas tridimensionales, que simulan la morfología del relieve del territorio. Las cartografías diseñadas nos entregaron argumentos para la propuesta de intervención teórica, en distintos niveles de espacialidad, con el paisaje de las laderas mapeadas (Ver fig.3-6). Del interés que surge por esta información, que derivó en parte, del desarrollo del Seminario Tema de arquitectura, en la Universidad de Valparaíso, con guía del profesor Pablo Ortúzar (López, 2012) por parte del entonces alumno, Felipe Mateo López. Se da pié a un desarrollo en torno a la resolución de encargos y propuestas modulares, para el Proyecto Regional de Artes Visuales FONDART: “Morfologías Digitales” dirigido por el profesor Cañete (ver Cañete et al, 2012) el que también es recibido con interés por parte del público y comunidad académica. Se reafirma entonces la pertinencia y las posibilidades que ofrece el ámbito de la modelación digital, junto a los medios de corte computarizado o de fabricación digital, teniendo en cuenta el creciente interés por una estética que deriva de los procesos de fragmentación/unión, reproductibilidad y especificación de la forma, ya sean mapeados desde series de datos; de clima, densidades, morfología, demográficos, etc. Con lo que ha sido posible pulir una exploración en la producción de mapas o modelos generativos, relieves digitales y desarrollos constructivos, como un modo de expresión material (analógica) del paisaje virtual



Imágenes 5 – 6. Exploraciones
cimáticas y mapeo de puntos
de video HD. En la foto: Músico
Anibal Correa.

(modelado). Para ello se han utilizado algunas estrategias de diseño, basadas en diagramación de algoritmos gráficos, modelados en 3d, luego planificación y diseño de detalles en: anclajes, laminación, repetición de plantillas en tablero y ensambles de paneles, los que son planteados desde diferentes grillas irregulares, generadas por lenguaje iterado o L-System, y por diferencias de sólidos de revolución, dibujados primero libremente en croquis, posteriormente digitalizados y parametrizados (Fig. 6). Con esta experiencia se han investigado numerosas posibilidades estéticas, que ofrece esta disposición de geometrías transformacionales, junto a la seriación de módulos, patrones y superficies tridimensionales, con materialidades y detalles constructivos definidos. Procesos que han ido desde la fabricación de revestimientos, a las experimentaciones que se adjuntan en esta muestra, como parte de la evolución propia del trabajo realizado desde el año 2011. También es significativo mencionar como experiencia, desarrollada en el marco de los estudios del proyecto, una continuidad en las actividades realizadas previamente junto al equipo del año 2012; donde se buscó mapear patrones en la distribución de partículas granulares, colocadas sobre una lámina metálica y empotrada al amplificador del teclado del destacado pianista Anibal Correa (Imagen 5-6). La experiencia arrojó una gran variedad y diversidad de tramas en transformación, diferentes generaciones de centroides y periferias, a medida que se ejecutaba en piano una partitura minima-

lista, diseñada gráficamente por el equipo de músicos, que participó del proyecto. Se observó que el resultado final siempre estuvo condicionado por las características físicas, de los distintos dispositivos que se incluían en la instalación, es decir; los instrumentos y los medios donde se generaba la forma compleja a mapear. El tipo de pulsación realizada por el destacado músico Aníbal Correa, y la consiguiente vibración emitida por el amplificador, la geometría de la placa, etc. Pues bien, al interpretar notas agudas y melódicas, las partículas tendían a levitar sutilmente sobre el tablero, arrastrarse y agruparse lentamente en filamentos alargados. Al interpretarse notas graves, e intensas pulsaciones de percusión, las partículas fueron literalmente saltando, libremente hasta agruparse entre sí, formando nuevos órdenes, patrones de ramificación, nubes de puntos, cúmulos, islas y cuencas morfológicas irregulares. Resultó interesante ver como variables como densidad de las partículas del material utilizado, incidía en la formación de agrupaciones, pues cuando se experimentó con maicena y café (en polvo), los órdenes de ambos elementos se fundían, para luego reagruparse entre sí. Mientras que al agregar agua en las partículas y ejecutar la partitura, se observaron formas tridimensionales ovoideas, muy similares a la forma de una semilla, configuraciones asociadas a la tensión superficial, densidad, talud y roce entre partículas. De este tipo de experiencia, destaco la importancia de las formas y patrones irregulares como ejes aglutinadores de la materia y la



Imágenes 7 - 8. Exposiciones FONDART 2012. Foyer Teatro Municipal de Viña del Mar y Museo Lord Cochrane

organización morfológica. Debe señalarse que activamente se buscó la formación de patrones irregulares, por sobre los regulares señalados en la bibliografía vigente, evitando una transmisión de las vibraciones desde un solo foco central y equidistantes de la fuente de vibración.

Estas configuraciones fueron registradas en fotografías y videos, de los que se extrajeron mapas bidimensionales vectoriales y luego animaciones en 3D, expuestas como resultado en la instalación final, montada en Sala El Farol de Valparaíso, además de la Sala Foyer del Teatro Municipal de Viña del Mar, en Agosto del 2012 y Junio del 2013 (Fig. 4). De este modo la generación de la forma (o morfogénesis), estuvo sujeta -siempre a cada variación de los elementos, que componían el dispositivo de la instalación registrada. Ello nos hizo reflexionar acerca de la capacidad de los elementos para determinar el conjunto o forma final, por contraste con la tendencia (en diseño) de que el conjunto determine a los elementos, como bien expone Felix Escrig (2013), en sus estudios acerca de los módulos constructivos desplegados diseñados por Emilio Pérez-Piñero. (imagen 4).

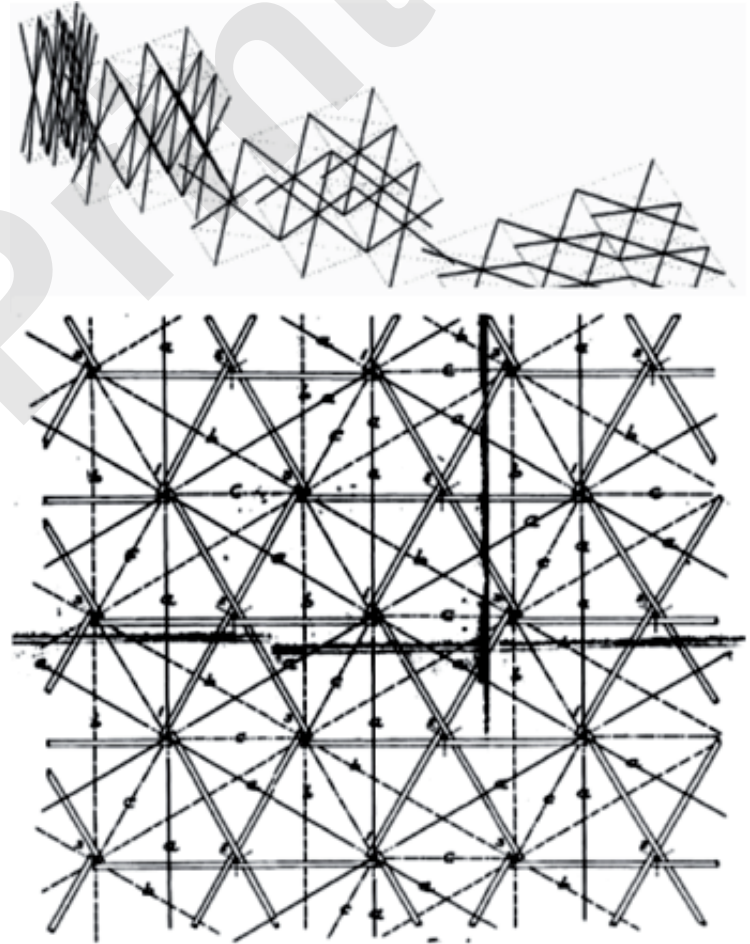
El pensamiento sistémico ha cambiado desde el determinismo clásico, la complejidad de los factores que afectan la generación de la forma en el medio, es tal que de no ser mapeados o reconocidos sistemáticamente, asociados a otras disciplinas afines e integrados al diseño, configuraciones sujetas a la proyección

humana, como son nuestras ciudades, en vías de desarrollo, estén destinadas a suplir errores, más que a anticiparlos. Estos conceptos e intereses que provienen desde ramas y expresiones diversas, se vienen experimentando intensamente en arquitectura, desde la primera década del siglo pasado, especialmente en los grupos de arquitectos alemanes, destacando B. y M. Taut, W. Luckhardt, W. Gropius, H. Scharoun – por mencionar algunos- ligados a las corrientes expresionistas de vanguardia, las que preparan el camino tanto para una nueva perspectiva naturalista en composición, color y soluciones constructivas. Quedando relacionadas con los planteamientos de los primeros maestros de la Bauhaus, quienes previamente formaban el Novembergruppe. A lo largo de casi todo el siglo veinte, otras corrientes recogen propuestas ligadas a la modulación -en términos generales- nuevamente valiéndose del avance en nuevas tecnologías (y planteamientos teóricos), gracias a las que ha sido posible pensar desde; Metabolismos urbanos, identificación y aplicación de Lenguajes de patrones (Alexander, 1981a y b), ciudades (crecimientos) paramétricas, conjuntos de volúmenes acordes a factores climáticos, conos de vistas, variación de (planillas de datos) densidad de población, vegetación, o atractores múltiples. Modos virtuales de cartografiar o mapear el entorno natural, concebido como campo de estudio útil, en consideraciones proyectuales, de urbanismo, ecología y arquitectura.

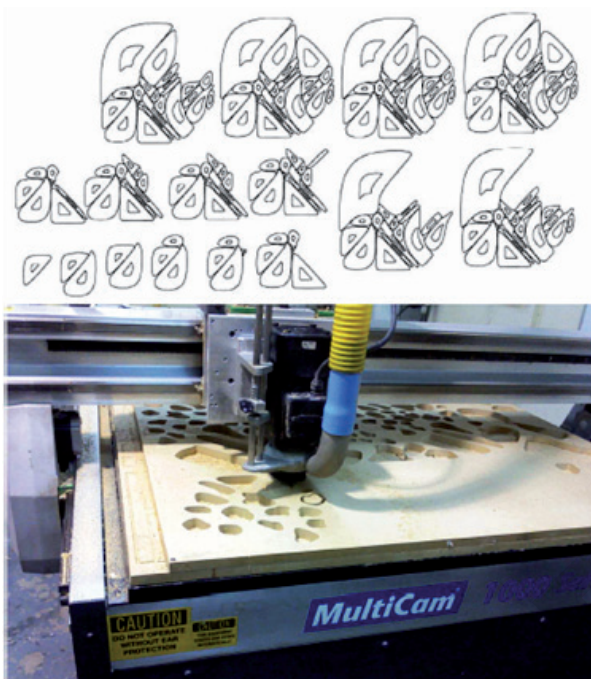
Estandarización de Procedimientos, Propuestas de Módulos y Entramados Generativos

Primeras Experiencias de modelación 3D por parte del equipo.

A mediados del año 2011, en el marco de los talleres de fabricación digital WS1, realizamos las primeras experiencias de construcción de maquetas en papel y poliestileno de alto impacto, para propuestas concretas de modulación en serie y proyectos de construcción de pequeña escala. En ello se utilizó una seriación de plantillas, numeradas y diagramadas en software, las que luego fueron impresas, en conjunto con el desarrollo (simultáneo) de una estrategia constructiva de anclajes simples, vinculando las piezas por medio de remaches pop metálicos o correas plásticas. Estos primeros y sencillos ejercicios, llevaron a una evidencia de la importancia de concebir procesos globales e integrados de diseño y construcción, a diferencia de los tradicionales métodos, que separan el diseño (como un ejercicio abstracto) de modo independiente al proceso constructivo, proposición de detalles y montajes. Luego en una segunda instancia práctica, se fabrican tres modelos laminares, mediante corte computarizado, utilizando una Router Multicam 1000 Series; modelos de tablero MDF de 15 mm de espesor, en base a serie de paneles apilados y encolados de acuerdo al diseño virtual – tridimensional- propuesto. Estos resultados fueron expuestos como parte del proyecto



Imágenes 9. Despliegue de una estructura plana formada por módulos de haces

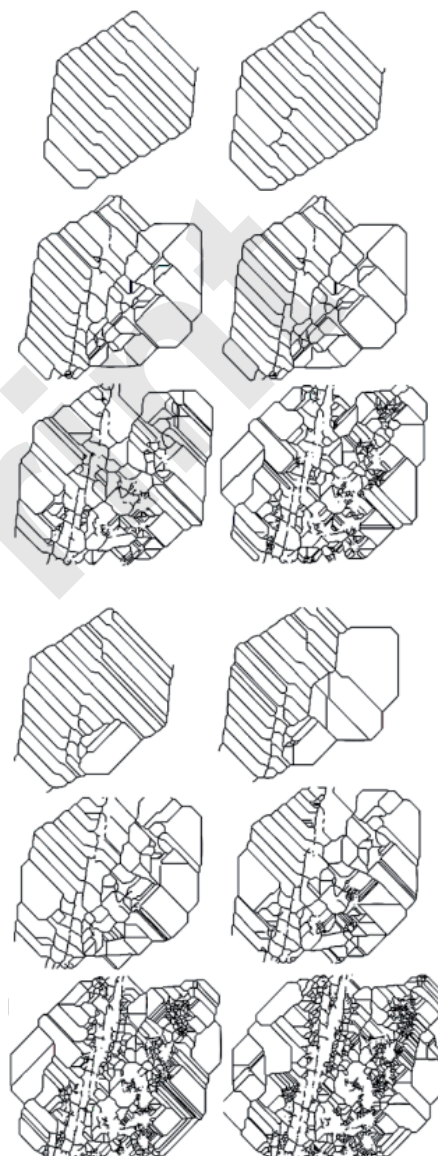


Imágenes 10-12. Curvas de nivel para plantillas de corte. Proceso de corte computarizado y modelo final de prueba, ensamblado.

del equipo Morfologías Digitales 2012, en el marco del FONDART regional de artes visuales, durante los años 2012 y 2013, en diversos centros de exposición de la región. En dicha propuesta, la geometría de base provino desde una serie de curvas fractales, obtenidas media mediante vectorizaciones (ver Cañete, 2012, imagen 13) las que luego al ser importadas a GRSSHOPER, fueron tratadas mediante estrategias morfológicas de generación de volumetrías, de acuerdo a operaciones tales como el uso de puntos atractores (externo a la trama vectorial), el cual se sitúa en el espacio virtual, fuera de la grilla, tomando una distancia precisa en eje Z. La forma así extruida (modelación por atractor), se ordena en función de una serie de paneles o plantillas de corte, de acuerdo a la variación de las alturas de cada componente del módulo.

Con esto, se obtiene una suerte de puzle, que a la vez, es un plano detallado del armado del volumen y definido en cada una de sus partes, lo que permite proceder a una unión y ensamble del módulo unitario final (o experimentar con el tipo de unión), una vez que es llevado al router de corte, con su escala previamente definida en Auto-Cad. Esta estrategia minimizó alteraciones, en el ítem asociado a presupuestos y tiempos de ejecución del proyecto, además de ser un procedimiento eficaz y replicable, para llevar a cabo en la construcción de un revestimiento metálico, como parte de un encargo de diseño de interior. La estandarización del procedimiento es puesta a prueba en este nuevo ejercicio, que consiste en diseñar y ejecutar una piel-

revestimiento, en base a placas de acero de 2mm de espesor, (vinculadas mediante anclaje, al tabique que compone la barra de la sala principal del local) diseñados de forma similar, pero donde cada uno tiene diferencias particulares, en la acentuación tridimensional del pliegue. Esto permite que en su unión, generen una unidad mayor distintiva. Se proponen 32 placas cortadas y perforadas mediante tecnología plasma, plegadas en taller y ancladas al tabique in-situ. Primero se investigan las posibilidades de plegar la placa, usando el trazo (curvo) principal de los recorridos interiores de las salas, es decir; la curva longitudinal al tabique, por lo tanto responsivas al recorrido (del observador) entre ellas y el sector del baño; mientras se va en una dirección el pliegue de las placas se aprecia abierto, mientras que caminando en sentido contrario se ven cerrados. Usando el editor de algoritmo gráfico Grasshopper, como parte de la exploración de operaciones (geométricas) proyectuales, se llega al diseño del pliegue final de la placa y los detalles constructivos en perfilería de acero, asociados a la superficie a recubrir. La serie de diferentes perforaciones que se trazan en cada pieza, permite el paso tenue de la luz -cintas de luz led- a través de estas, en el total del largo (10mt.) del módulo instalado. Así cada pliegue posee, sutilmente, distinta acentuación tridimensional y diferentes texturas, que varían de acuerdo al punto de vista del observador. Esta experiencia nuevamente satisfizo las expectativas tanto de tiempos de ejecución, presupuestos y espaciales proyectadas en el inicio del encargo.



Imágenes 13. Morfologías fractales generadas a partir de crecimiento y fragmentación modular vectorial. Ver Cañete 2012.

*El problema del Domo.
Exploraciones morfológicas actuales*

Usando la modelación digital en base a patrones geométricos específicos y dando cuenta de la estandarización de los procedimientos constructivos, es que volvemos a experimentar dentro de este nuevo proyecto de arte Fondart 2015, abordando el problema clásico, de la modelación de un Domo, pensado como una instalación que incluya el diálogo de la luz, con el material y las maquetas en bases de distintas geometrías fractales propuestas (ver imágenes 9-12). Búsqueda que nos permite, mediante el uso de los diferentes dispositivos modulares y diagramación de paneles, generar los volúmenes y sus detalles, tanto en la modelación virtual, como su fabricación a escala y explorar sus posibilidades estéticas. Como parte de este proceso debe reiterarse que; mediante el algoritmo gráfico diagramado, las formas fractales seleccionadas se convierten en volumetría extruida según parámetros específicos, como parte de la serie de operaciones ejecutadas, también son modeladas por diferencias de sólidos de revolución diseñados (imágenes 18-20). Las primeras observaciones que surgen acerca de los modelos generados, se desprenden de la continuidad de la estructura irregular – no geodésica- del módulo, para lo que se deben ajustar las curvas y tramas iniciales o geometría de base,

de modo que se tenga una cierta cantidad de entrecruces y así generar mayor cantidad de uniones o ensamblajes, que garanticen auto-estabilidad. Se diferenciaron dos posibilidades de discriminación a aplicar:

1. **Trabajar la continuidad de las curvas iniciales**, desde la planta.
2. **Trabajar el volumen**, desde la superficie envolvente del sólido de revolución (interior y exterior). En este caso (ver imágenes 18-20) el semi-elipsoide, de modo que la cáscara sea una estructura geométrica y constructivamente estable en sí misma, como una malla ensamblada, adecuada para tales efectos.
3. **Mixta**. Se opta por ambas; modificar la volumetría propuesta, o escalarlo de modo no uniforme, respetando un plano de referencia o base del escalamiento y el centroide. Posteriormente se experimenta ajustando las curvas iniciales y las extrusiones que se obtienen con diferencias de superficies toroidales, paraboloides, elipsoides, esferas y semi-esferas, a modo de cúpulas o domos no geodésicos. En esta etapa se exploran las posibilidades de recorrer visualmente, algunos modelos en animación 3d, posteriormente editados en software. Las que son musicalizadas por el destacado pianista Aníbal Correa, para efectos de la instalación final del trabajo.

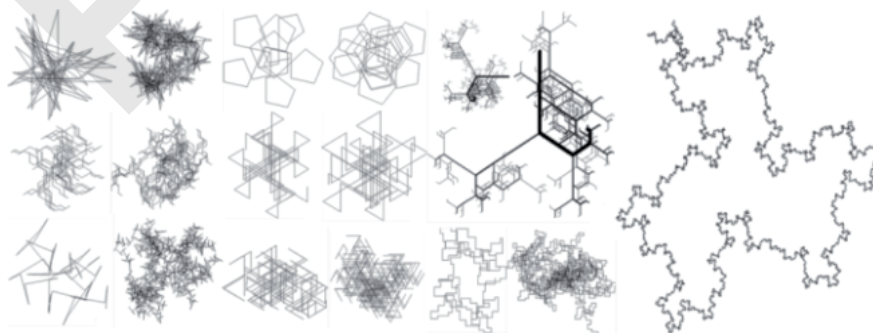
De esta manera, el proceso abarca desde la exploración morfológica al ensamble constructivo de unidades, como parte de un único proceso que incluye la solución de problemas de diseño constructivo. En este marco, nos hemos planteado, un ciclo de Investigación de Estandarización paramétrica de modelos constructivos en torno a la clásica problemática del Domo, donde primero se realizan exploraciones morfológicas, en base a softwares de modelación de patrones y lenguaje iterado de funciones (imágenes 11-12) para luego ser importadas, volumetrizadas y parametrizadas en Grasshoper (imagen 13), hasta definir unidades constructivas de ensamblaje con sus respectivas medidas. Respecto a la modelación, se trabaja una trama de patrones vistas en planta o 2D, las que son extruidas desde un punto atractor externo, con valores circundante decrecientes de atracción desde dicho punto focal, formando una trama 3D más alta en su centro y menos alta en su periferia. Luego, se interseca con diversos sólidos de revolución a fin de abordar en problema

de la doble curvatura (imagen 18-20) explorando diversas posibles soluciones, para finalmente, asignar valores y medidas a las partes y ensambles modulares, definiendo sus alturas para cada unidad, a fin de proceder a corta sus piezas en un router, y proceder al ensamble de paneles, que dan origen a la instalación y domo final. Esto, junto con definir materiales, costos y prototipos o modelos previos (imágenes 17, 21 y 22).

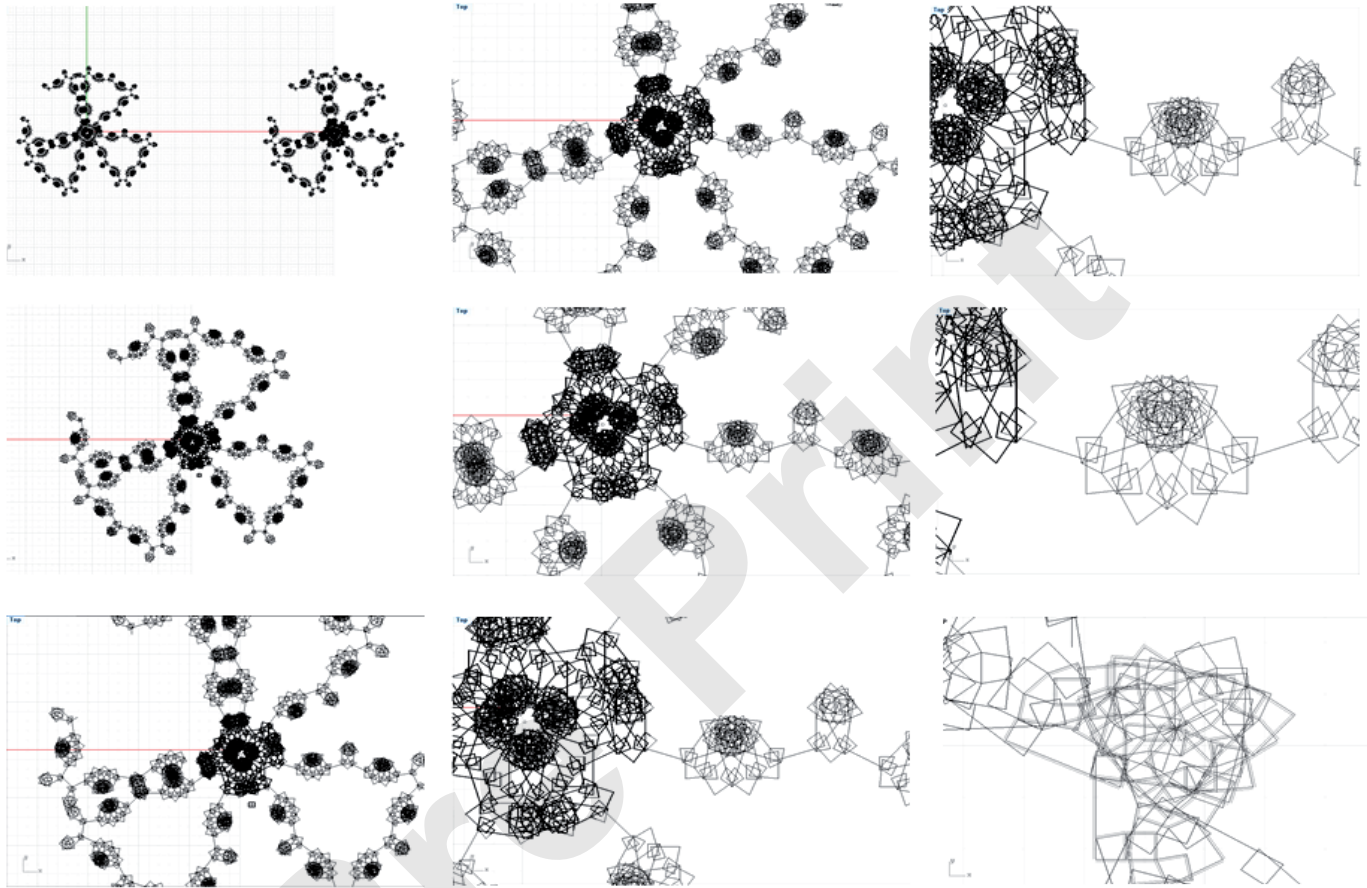
Metodología y Resultados.

El Domo Genrativo

“El cristal empuja, se mueve hacia afuera siguiendo las formas teóricas de la geometría, y el hombre se complace en esta disposición porque parece hallar la justificación de sus concepciones abstractas de la geometría, el hombre y la naturaleza encuentran un factor común, un terreno de armonía en el cristal”. (Ozenfant y Jeanneret; cit. En Marchan Fiz; (2008). “La Metáfora del Cristal en las artes y en la arquitectura.”.)



Imágen 14. Modelación de Patrones en base a Sistemas Iterados. Fuente: Elaboración propia



Proceso de modelado fractal ... vectores importados y manipulación paramétrica. Imágenes: navegación de modelo en planta

Imagen 15. Modelación de Patrones en base a Sistemas Iterados. Fuente: Elaboración propia

El estudio morfológico del presente estudio, puede ser resumido en los siguientes pasos:

Estudio de patrones (I.F.S.). Primeros esbozos morfológicos

Estos se realizaron en los softwares I.F.S. de sistemas iterados y editados en RHINO.

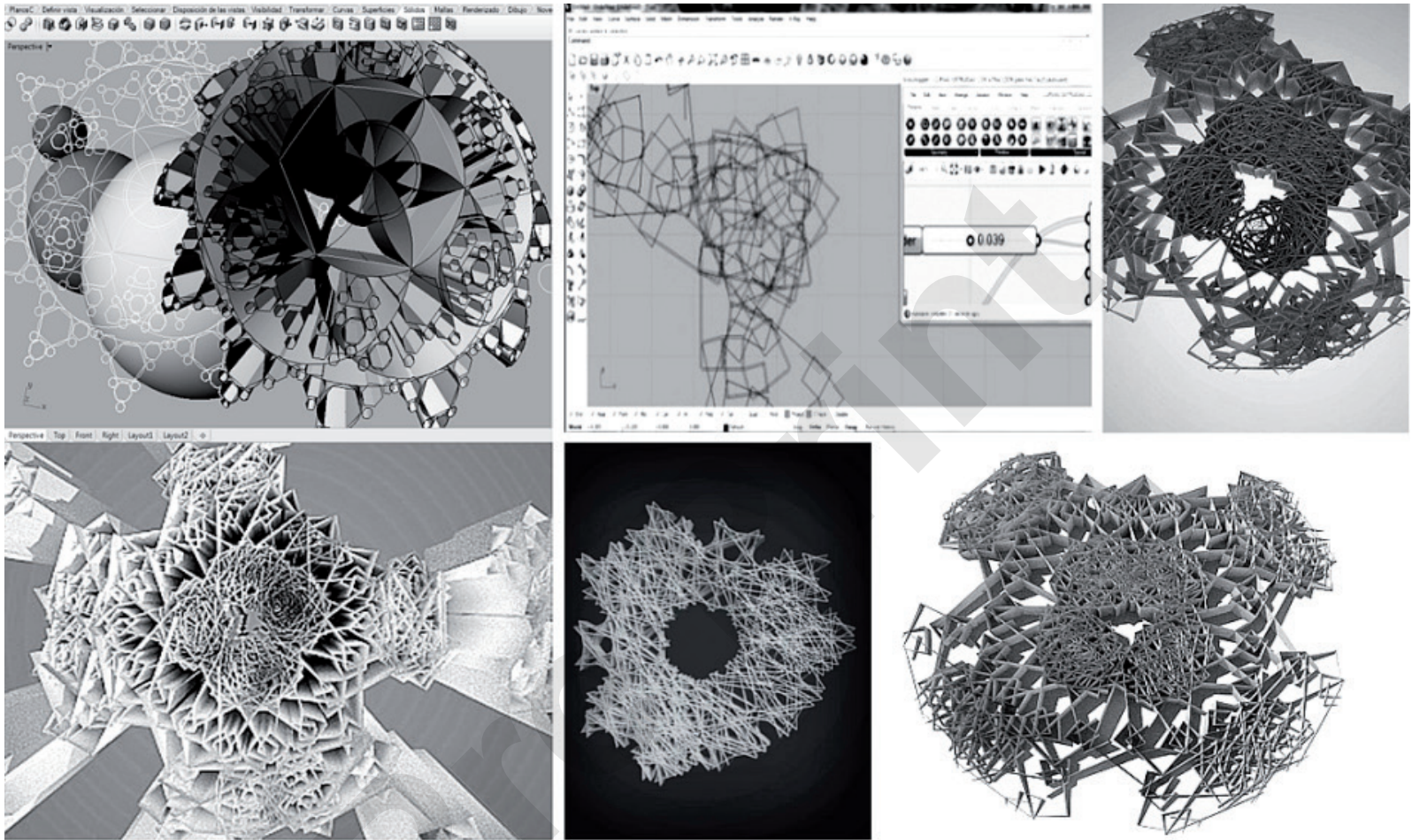


Imagen 16. Modelaciones en Grasshopper. Fuente: Elaboración propia

Primeras extrusiones y modelaciones 3d

Estas se realizaron luego de ser importadas imágenes a RHINO Y AUTOCAD, y luego en GRASHOPPER.

Panelización y ensamble de unidades

Esta etapa también se realizó en GRASHOPPER, pudiendo separar e identificar las partes, componentes y áreas de ensamble entre sus partes.

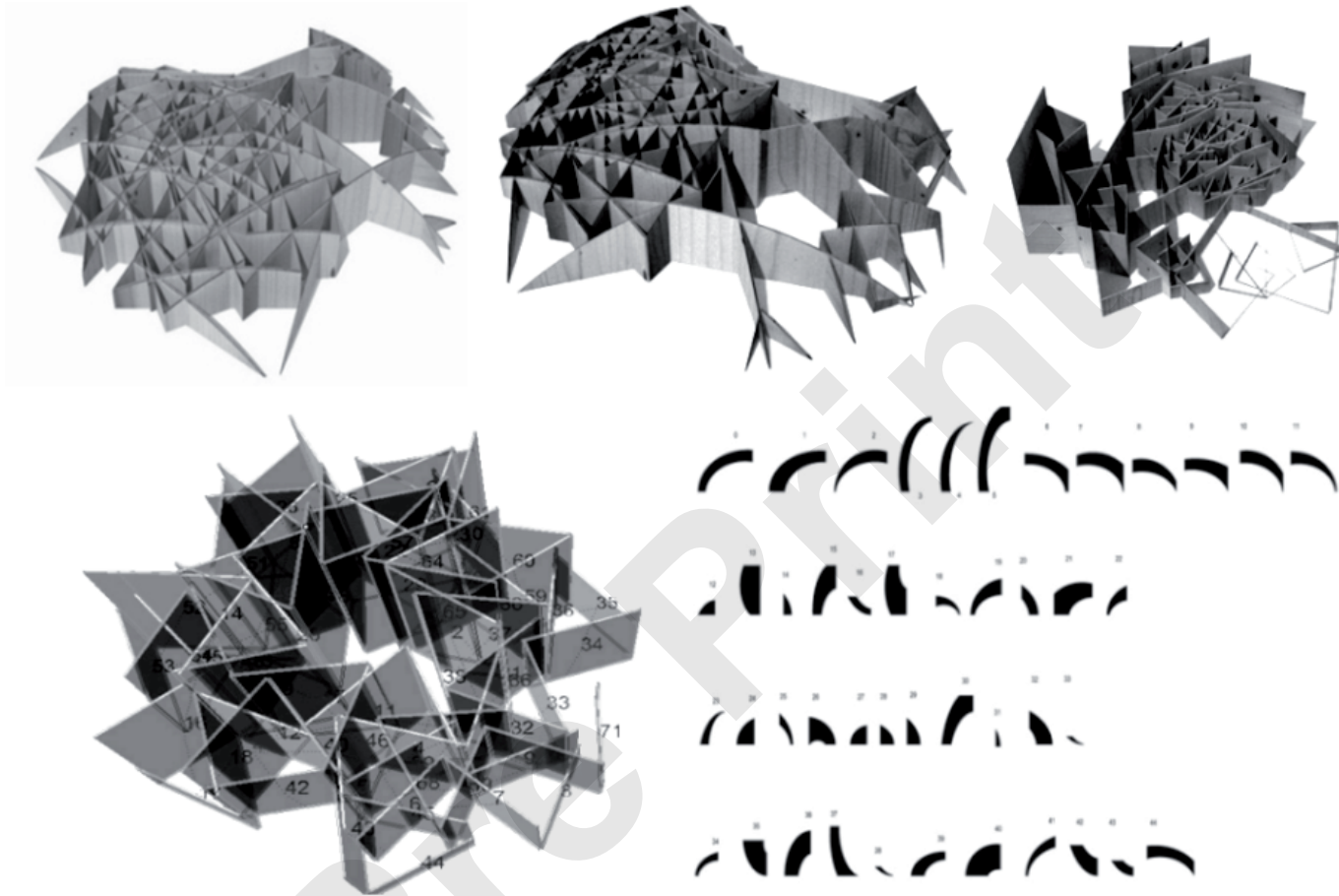


Imagen 17. Panelización y modelización de ensamblajes. Fuente: Elaboración propia

Modelación de Doble Curvatura

A fin de dar la curvatura a la superficie (interna y externa de una de las caras del domo) se hizo interactuar la trama fractal ya extruida, con diversos sólidos de revolución, ocultando luego, dicho sólido a fin de dejar solamente la cara interna

del domo, con su característica forma también curvada.

a.- *Curvaturas de 4 esferas.* Ver Imagen 18.

b.- *Paraboloide y esfera juntos.* Ver imagen 19.

c.- *Semi-esfera.* Ver Imagen 20.

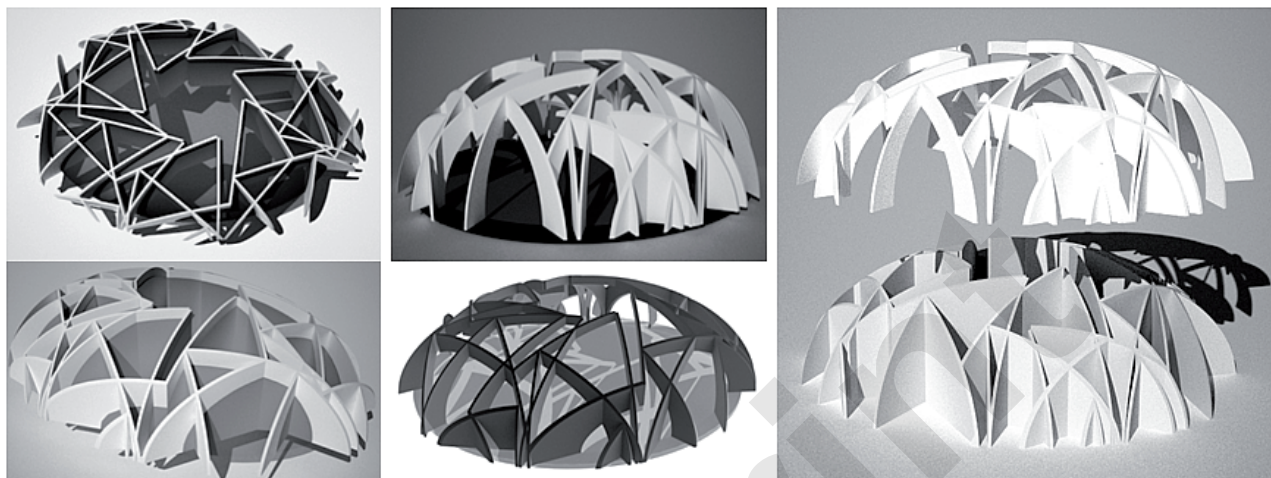


Imagen 18. Modelaciones de doble curvatura. Fuente: Elaboración propia

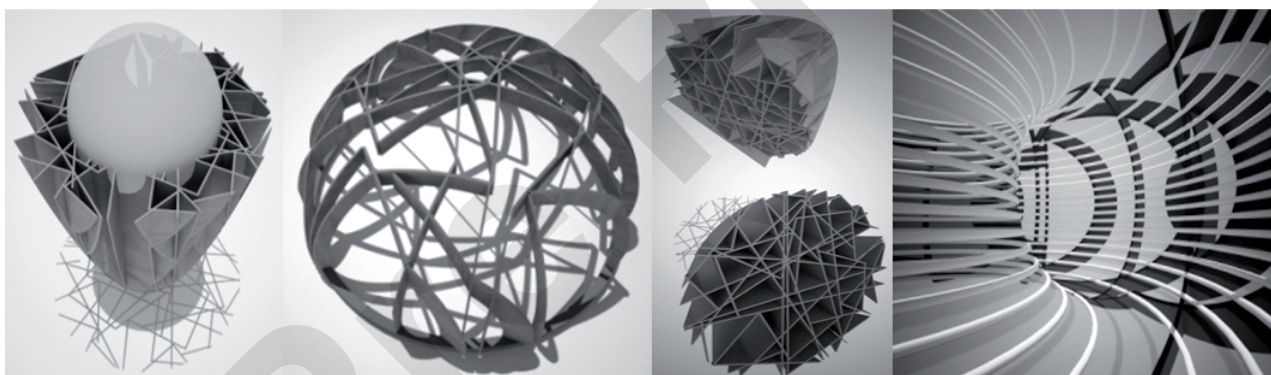


Imagen 19. Modelaciones de doble curvatura. Fuente: Elaboración propia

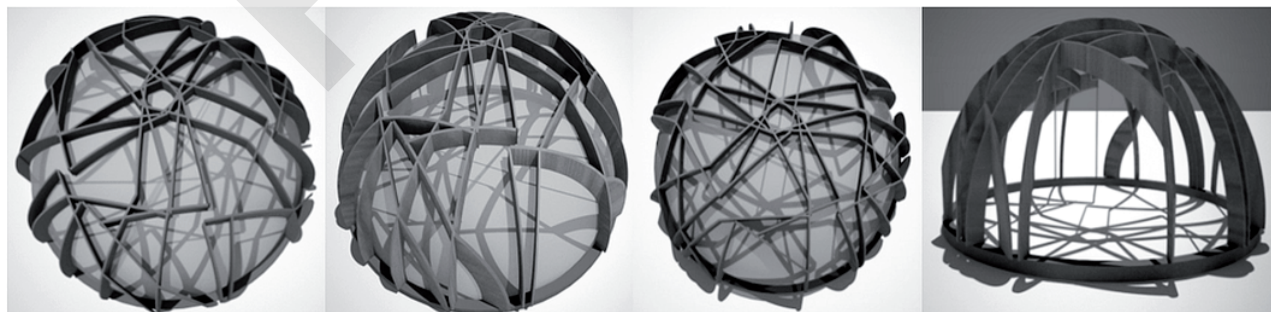
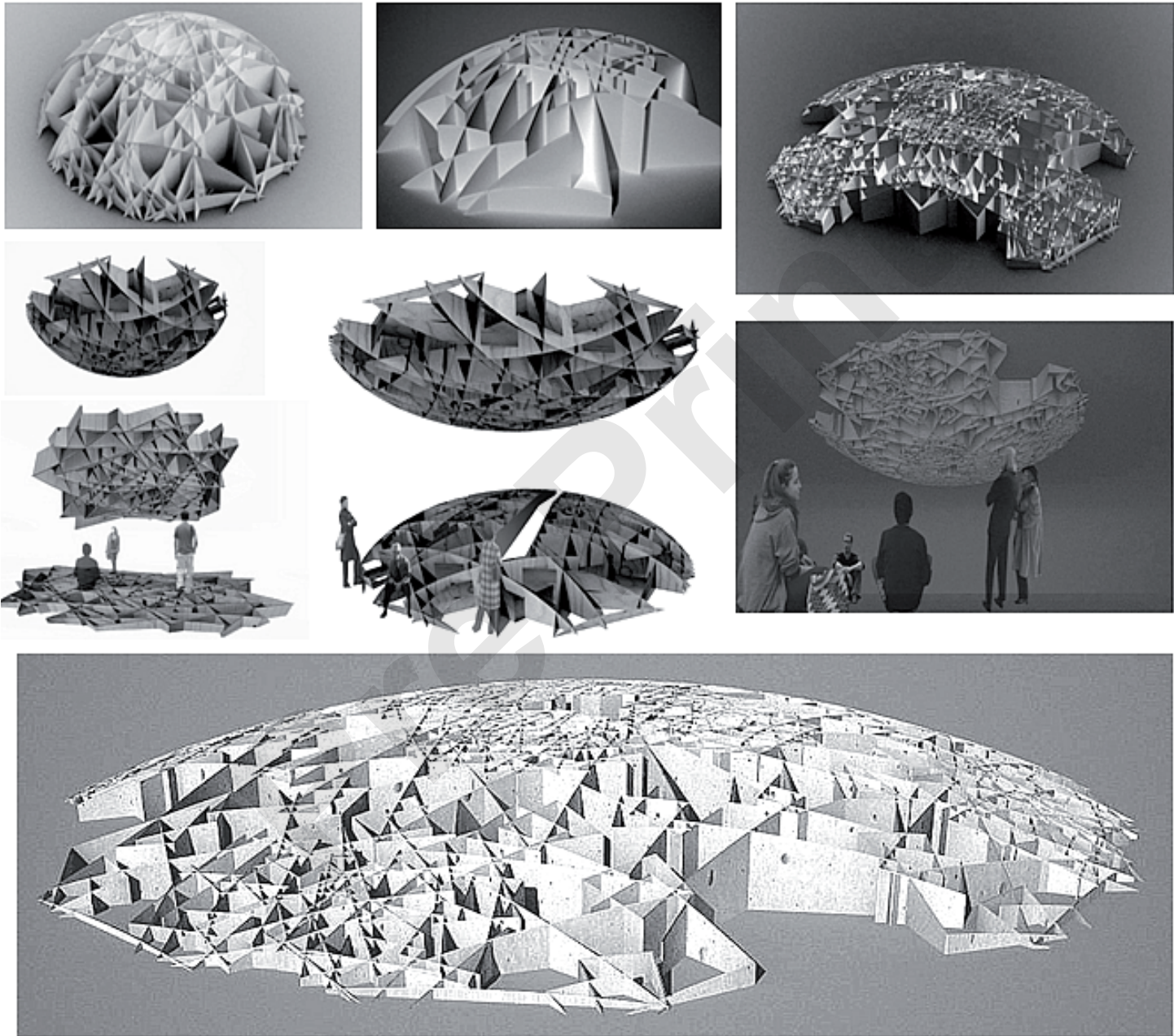


Imagen 20. Modelaciones de doble curvatura. Fuente: Elaboración propia



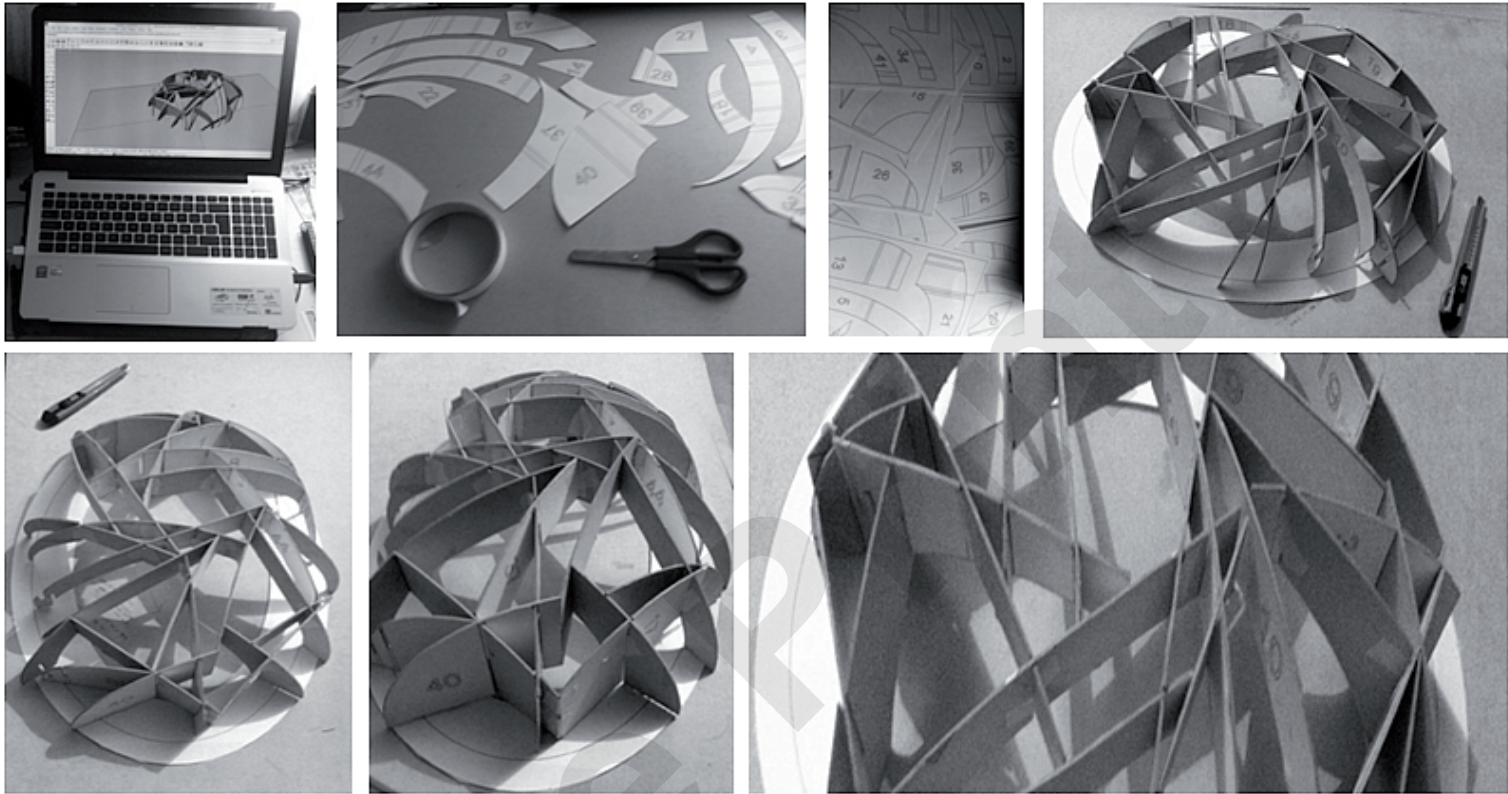


Imagen 22. Primeros modelos virtuales auto-soportantes, en su entramado no-geodésico. L-System.
Fuente: Elaboración propia.

Maquetas Virtuales

En base a diversos softwares de edición se exploraron las formas desde sus posibilidades de expresión y presentación constructiva.

Primeros modelos y prototipos materiales

Finalmente, los modelos virtuales, se pasaron a modelos constructivos, en

base a la identificación de sus partes, corte en materiales como cartón primero, y planchas de madera después, a fin de ensamblar sus partes en un modelo más definitivo.

Junto con mostrar este adelanto del trabajo en su estado actual, debemos señalar que el domo final, en tanto instalación en su tamaño y materialidad real, será parte de la exposición de Artes Visuales que se realizara desde fines

de agosto y hasta noviembre de 2015, en diversos lugares de la región, en el marco del proyecto de Morfologías digitales, titulado: “El Laberinto en el centro del mandala”, financiado por FONDART y patrocinado por la Escuela y Facultad de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso.

5.- Discusión

“No podemos dejar de señalar que nuestra idea de la libertad y el auto-dominio coincide con las ideas que Spinoza desarrollo en su Etica” (Lev S. Vygotski;2000; “Historia del Desarrollo de las Funciones Psíquicas Superiores”; en Obras Escogidas, Vol. 3).

Como hemos planteado desde el inicio del artículo, progresivamente, durante el siglo XX, se ha ido forjando desde el arte y la arquitectura, la noción de dispositivo e instalación como un modo expresivo, con leyes propias de pensamiento, creación y expresión formal final que van más allá de lo exclusivamente visual. En este marco, el estudio de morfologías complejas como los fractales, han sido una geometría rica y dúctil que cada vez más es posible explorarla no solo estéticamente, sino constructivamente. Es así como a través de su modelación y exploración formal en diversas instancias, nos ha permitido tratar y pensar formas complejas desde sus propiedades y amplia gama de configuraciones irregulares (como tramas, patrones o tejidos

morfológicos) directamente relacionadas con diversas cualidades como las leyes de variación escalar o la importancia de los momentos en una secuencia de interacción o transformación entre el todo, las partes y el contexto de dicha forma en el tiempo. Procesos como los de crecimiento, fragmentación o conformación de mapas, paisajes o landscape, se han podido no solo modelar como conjuntos integrales, sino además desde la propia interacción local entre sus partes, ensambles y unidades, abriendo nuevas posibilidades de exploración formal. En este marco, procesos de diseño como la modelación virtual de transformaciones y ensambles modulares potenciada por la modelación paramétrica, en los últimos años se ha facilitado y potenciado con nuevas herramientas como los routers, CNC y diversas impresoras en 3D que han disminuido la brecha entre diseño y creación.

En este marco, tanto dentro del desarrollo de propuestas estético-constructivas del equipo que se vienen desarrollando tanto en el ramo de geometría fractal de la carrera de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso, como en diversos proyectos artísticos, y encargos profesionales por parte de miembros del equipo, ha permitido trabajar con esas herramientas de modelación morfológica computacional, constatando la versatilidad y creciente continuidad de la mente, el ojo y la mano, disminuyendo la brecha entre el proceso creativo derivado de las exploraciones formales, de las opera-

ciones espaciales que finalmente le darán forma al objeto final.

Se debe destacar que muchas de las diversas operaciones morfológicas, que hasta hace décadas parecían más cercanas a la intuición, hoy en día es posible trabajarlas en función de parámetros y algoritmos específicos, sin dejar de permitir o fomentar la exploración creativa. Operaciones como la extrusión, la intersección, la formación de texturas, tejidos y tramas, en conjunto a las geometrías tradicionales, ahora son operaciones que permiten poder asimilarlas como resultantes momentáneas o más bien, como estados formales acotados dentro de procesos de transformación e interacción morfológicas a escala, sea por patrones de crecimiento, fragmentación, yuxtaposición, formación de patrones u otros mecanismos. Esto hace posible modelarlas regulando su incidencia particular dentro de una composición final. Esto abre camino a la exploración de mecanismos constructivos, en la misma medida que al diseño como instancia constructiva final. De este modo, el diseño es una extensión del propio pensamiento creativo, e incluso de la mano, en tanto pensamiento operacional complejo que se ve enriquecido en la medida que se integra al bagaje de modelo final, respecto de problemas previamente definidos, en este caso, la realización de un domo fractal.

Este último punto debe aquilatarse en términos de la formación profesional, en este caso propia del arquitecto, que es la

que le da un trasfondo de especificidad profesional que permite, no solo un desarrollo en términos de la aplicabilidad de una herramienta virtual, sino que le otorga un campo de aplicaciones propias.

SIGLA: FONDART: Fondo de las Artes. Es una agencia estatal destinada a apoyar, mediante proyectos concursables, iniciativas culturales y artísticas.

Referencias

- Alexander, Cristopher (1981a). "El modo intemporal de construir". Ed. Gustavo Gili
- Alexander, Cristopher (1981b). "Lenguaje de Patrones". Ed. Gustavo Gili
- Cañete, Omar (editor y comp.) (2012). "Exploraciones Morfológicas Digitales". Valparaíso. Ed. Garin.
- Cañete, Omar Eduardo. (2014). "Arquitectura, Complejidad y Morfogénesis". Ed. Universidad de Valparaíso.
- Déotte, Jean-Louis (2013). "La Ciudad Porosa". Walter Benjamin y la ciudad porosa". Ed. Metales Pesados.
- Garofaro, Luca (2007). "Artscapes. El arte como aproximación al paisaje contemporáneo". Ed. GG.
- Honisch, Dieter (1979). "Arte multiplicado en Alemania". Ed. Instituto de relaciones culturales con el exterior.
- Ito, Toyo, "Conversaciones con estudiantes". Ed.

- López, Felipe Mateo. (2012). "Paisajes, mapas y atracción", en: Cañete, Omar (editor y comp.) (2012). "Exploraciones Morfológicas Digitales". Valparaíso. Ed. Garin.
- López, Felipe Mateo. (2011). Seminario para optar al título. Escuela de Arquitectura, Universidad de Valparaíso.
- Marchant Fiz, Simón (2008). "La Metáfora del cristal en las artes y arquitectura". Ed. Siruela.
- Palassmaa, (). "Los Ojos de la Piel". Ed.
- Valdés, Adriana (2008). "De Ángeles y Ninfas. Conjetura sobre la imagen en Warburg y Benjamin". Ed. Orjikh.
- Lev S. Vygotski;2000; "Historia del Desarrollo de las Funciones Psíquicas Superiores"; en Obras Escogidas, Vol. 3. Ed. Aprendizaje-VISOR
- Documentos on line:
- Dum-Dum lab, Workshop Series; Tectónicas Digitales. (2010-2015) En: <http://www.tectonicasdigitales.com/>
- Escrig, Felix (2013). "Modular, Light and Transformable Architecture". En: <https://www.youtube.com/watch?v=TyXUKx18JYk>
- Moraga, Cañete, López (2011). "Modelos locales de densificación según gradientes territoriales de habitabilidad, en conurbación interior Valparaíso-Viña del mar. Rodelillo alto" <http://www.redalyc.org/pdf/1251/125130521003.pdf>
- MVRDV; (2009). "Vision for Grand Paris". En: <https://www.youtube.com/watch?v=lyvSzmBkg9s>
- Reed, Chris & Lister, Nina-Marie, "Excerpts, Projective ecologies" En: <http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/6/v2/563148/HDM-36-Excerpts.pdf> (2012).
- Valcarcel, J.P. – Escrig, Félix En: http://ruc.udc.es/bitstream/2183/5237/1/ETSA_16-1.pdf