



# De tramas, fragmentos y paisajes digitales: morfogénesis y prototipos pre-arquitecturales. Revisión de una propuesta en progreso

*Plots, fragments, and digital landscapes: morphogenesis and pre-architectural prototypes. Review of a proposal in progress*

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

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN TEMÁTICO

## Resumen

En el presente artículo se sistematiza parte del trabajo realizado a lo largo de varios años en el campo de la modelación digital basada en algoritmos. Esta labor se ha realizado en la carrera de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso Chile, al amparo de la cátedra de geometría fractal y los talleres de arquitectura. Esta línea de desarrollo se orienta a la exploración morfológica guiada tanto por la búsqueda de principios de formas transformacionales (tales como crecimiento, transformación, descomposición y fragmentación escalar de patrones en la modelación de paneles, módulos, tramas y paisajes digitales), así como en áreas afines como las artes visuales, asistidas por criterios arquitecturales en el diseño de prototipos y modelos pre-proyectuales. De esta forma, se discuten las posibilidades de la aplicación de intervenciones en la conformación de tramas dentro de un paisaje urbano.

**Palabras claves:** Geometría fractal, artes visuales, diseño paramétrico, exploraciones pre-proyectuales, sistemas CAD-CAM.

## Abstract

*This article methodizes part of the work done over several years in the field of digital modeling based on algorithms. Such labor has been developed in the Faculty of Architecture of the University of Valparaíso Chile, under the fractal geometry cathedra and architecture workshops. This line of research has being oriented on morphological explorations guided by the search for principles of transformational forms (such as growth, transformation, decomposition and scalar pattern fragmentation in the modeling of digital panels, modules, frames and landscape), as well as in related areas*

Fecha de recepción: 31 marzo 2017  
Fecha de aceptación: 20 abril 2017

*such as visual arts, assisted by architectural criteria in the design of prototypes and pre-project models.*

**Keywords:** *Fractal geometry, visual arts, parametric design, pre-projects explorations, CAD-CAM systems.*

## Presentación

En las últimas décadas el estudio y modelación morfológica han generado un importante y vertiginoso campo de confluencias teóricas, científicas, tecnológicas, constructivas, digitales, estéticas y culturales. Por ello, se hace necesario revisar el problema de la forma en este entrecruce, así como las posibilidades que ofrece para la modelación y diseño, además de su impacto en lo que podríamos denominar un *pensamiento arquitectural y proyectual*.

## Marco teórico

### El estudio de lo amorfo: geometría fractal, teorías de la complejidad y morfogénesis

De los diversos modelos y teorías agrupados dentro del denominado *paradigma de la complejidad*<sup>1</sup> pareciera que el común denominador es el estudio dinámico de la forma, no sólo como algo asociado a la descripción operativa de tramas cambiantes, sino desde una suerte de estética subyacente a los modos de aprehensión (lo cual se constituye como una parte fundamental de dicha comprensión dinámico-organizativa). En este sentido, y admitiendo las diferencias disciplinares y de época, los planteamientos que en el siglo XIII realizó Duns Scoto respecto de los grados de *formalites*, o formalización en tanto reflejo de los niveles de materialización, pueden ser pertinentes para analizar estos paralelismos (la continuidad en la discontinuidad de la forma). Estos bosquejos, además, consideraban la individuación del objeto ante el sujeto que las conoce, y para quien la mente distinguía tres tipos o niveles de materia prima, con la cual tiene que “habérselas en el mundo” (usando un concepto de Zubiri).<sup>2</sup> Como expone Julián Marías al respecto: “Escoto distingue –son siempre innumerables y agudas sus distinciones– tres clases de materia prima: la materia *primo prima*, indeterminada, pero con una cierta realidad, como algo creado; la materia *secundo prima*, que posee los atributos de la cantidad y supone ya la información por

1 Edgar Morin, *Introducción al Pensamiento Complejo* (Barcelona: Gedisa, 1995).

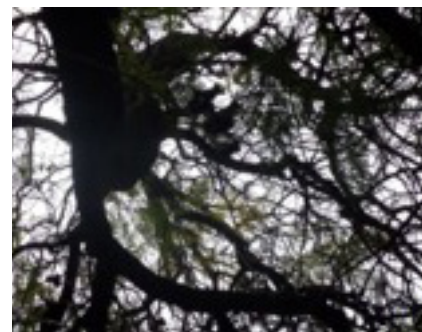
2 Xavier Zubiri, *Inteligencia Sentiente* (Madrid: Alianza, 1989).

una forma corporal, y, por último, la materia *tertio prima*, que es materia para las modificaciones de los entes que ya son corporales”.<sup>3</sup>

Es así como el problema de lo amorfo y los niveles, grados y modos de formalización o geometrización generados desde la experiencia aparecen como el trasfondo del problema en su estado actual. Puede decirse que, desde el punto de vista contemporáneo, geometrías como los fractales han revitalizado el estudio de lo amorfo, replanteándolo como el estudio de las morfologías y transformaciones morfológicas a escala, siendo éste su núcleo teórico duro (apelando al concepto de Lakatos).<sup>4</sup> Esto en un marco de consolidación de un amplio campo de exploración relativo al estudio de las *formas irregulares*, propio de las formas orgánicas, dinámicas, naturales y hasta azarosas, en contraste a las formas ideales, estáticas, regulares y abstractas. Como señaló el destacado matemático B. Mandelbrot:

La geometría euclidiana es incapaz de descubrir la forma de la nube, una montaña, una costa o un árbol, porque ni las nubes son esféricas, ni las montañas cónicas, ni las costas circulares, ni el tronco de un árbol cilíndrico, ni un rayo viaja en forma rectilínea. Creo que muchas formas de la naturaleza son tan irregulares y fragmentadas que la naturaleza no sólo presenta un grado mayor de complejidad, sino que ésta se nos revela completamente diferente. La existencia de estas formas representa un desafío: investigación de la morfología de lo amorfo. En respuesta a este desafío, concebí y desarrollé una nueva geometría de la naturaleza y empecé a aplicarla a una serie de campos. Permite describir muchas de las formas irregulares y fragmentadas que nos rodean, dando lugar a teorías coherentes, identificando una serie de formas que llamo fractales. Algunos conjuntos fractales [tienen] formas tan disparatadas que ni en las ciencias ni en las artes he encontrado palabras que lo describieran bien.<sup>5</sup>

Hemos de abordar entonces, la noción de *morfología irregular* como el foco hacia el cual se orienta la modelación general, en un escenario que algunos definen como una trama tensionada por fuerzas que tienden



Fotos de follaje y corteza de árbol. Procesos de crecimiento y fragmentación a escala aparecen en morfologías naturales

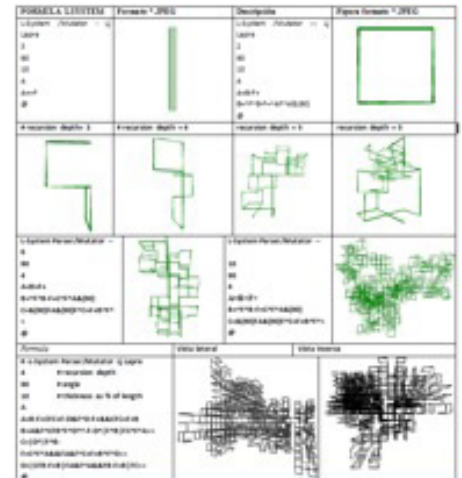
Fuente: foto del autor.

- 3 Julián Marías, *Introducción a la filosofía* (Biblioteca de la Revista de Occidente, 1963).
- 4 Irme Lakatos, *Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones* (Tecnos, 1978) y *La metodología de los Programas de Investigación científica* (Alianza, 1989).
- 5 Benoît Mandelbrot, *La Geometría Fractal de la Naturaleza* (Tusquets, 2000), 15.

a una globalización e hipermodernidad, por un lado, y de desterritorialización y post-modernidad, por otro. En éste las metáforas e imágenes de fragmentos y tramas, o de vectores, algoritmos, sistemas y redes cambiantes e interactivas, aparecen como más pertinentes que las otrora de estructura, crecimiento y modularidad, propias del lenguaje desarrollista de los años 50 a 80 del siglo xx. Esto nos lleva a un campo epistémico de representación, sobre cómo interpretar lo que pudiera ser –en el caso extremo de desconocimiento– algo que se nos aparece como una mancha irregular, inestable, amorfa y cambiante (en tanto una unidad con leyes de conformación y ordenamiento propio). O cuál es la diferencia de una mera yuxtaposición, adición o agregado azaroso de partes sin ningún orden, más aún entre tantas formas irregulares posibles. ¿Cómo pensar su dinámica y diversidad como un conjunto de propiedades, regularidades y vida morfológica particular y propia? Sin duda, la geometría fractal (entre otras geometrías transformacionales con propiedades escalares) consolida una emergente etapa de modelos morfo-genéticos, donde el problema de la forma aparece como central, y no como un mero accidente entre variables. No es de extrañar entonces que diversos autores que provienen de las ciencias usualmente llamadas duras, como David Bhom, terminen reflexionando sobre los modos fenoménico-estéticos subyacentes a sus ideas. Como señala el destacado matemático, Rene Thom, el común denominador de las ciencias hoy en día, es el problema de las formas dinámicas:

Uno de los problemas centrales que se le plantea al espíritu humano es el problema de la sucesión de las formas. Cualquiera que sea la naturaleza última de la realidad (suponiendo que esta expresión tenga sentido), es innegable que nuestro universo no es un caos: en él discernimos seres, objetos, cosas que designamos con palabras. Esos seres o cosas son formas, estructuras dotadas de cierta estabilidad; ocupan cierta porción del espacio y duran cierto lapso.<sup>6</sup>

Estos planteamientos se han ido consolidando desde la teoría del conocimiento, en lo que muchos autores llaman *orden generativo*, y en el que ponen énfasis en el componente aleatorio o grados de libertad de estos procesos, o en las capacidades relacional-auto-organizativas que posibilitan. Con todo, estos desarrollos plantean modos de comprensión que permean al resto de las ciencias y pensamiento en el siglo



Modelos de crecimiento basado en Sistemas de funciones iteradas (L-Systems)  
Fuente: elaboración propia.

6 Rene Thom, *Estabilidad Estructural y Morfogénesis* (Barcelona: Gedisa, 1997).

xx, con diversas formas de hibridación y depuración conceptual (por ejemplo, la noción de forma irregular, *scaling-properties*, transformación, *unfolding*, *pattern*, *fracture* o *lan*).

## Breves hitos en la evolución de los modelos morfogenéticos

### 1. De la Gestalt a la noción de campo y estructura

El primer hito relevante en el estudio de las formas contemporáneas lo constituye la noción de Gestalt. De inicio esta distinción era asociada a los campos perceptuales de la psicología alemana y planteaba básicamente tres postulados que, siguiendo a Arnheim, se reducen a que una forma gestáltica: *a*) tiene que ver con la estructura del sistema percibido, como envolviendo al objeto, *b*) con el campo mental sobre el cual se proyecta la imagen y *c*) con la relación de la estructura cinética del cuerpo del observador. De este modo, la Gestalt vincula de manera directa percepción y estética, en tanto la forma resultante del acto perceptivo-intelectivo de agrupar emerge del encuentro activo (no pasivo) de diferentes dimensiones psíquicas. Sin duda, esta noción de acto perceptivo vinculado a un acto mental configura un campo donde emergerá la noción de estructura, como visión jerarquizada y unitaria de relaciones. Para autores como Cassirer, Panowsky, Morris y, especialmente, Susanne Langer,<sup>7</sup> ésta les permitirá unir pragmática, semiótica y hermenéutica desde un campo de estudio que va de las formas y configuraciones sensoriales hasta las más simbólicas y culturales. Similar derrotero seguirá el estructuralismo, que apuntará a sistematizar la noción misma de estructura llevándola al plano mental psicoevolutivo basado en la noción de esquema, estadio y estructura transformacional.<sup>8</sup> Sin embargo, con el correr de los años, pareciera que el agotamiento del estructuralismo, su disolución en la posmodernidad, así como la persistencia de la fenomenología en diversos ámbitos, entre tantos otros “ismos”, configura un campo transversal donde se puede valorar lo fragmentado como un ámbito punzante y constitutivo<sup>9</sup> propio,

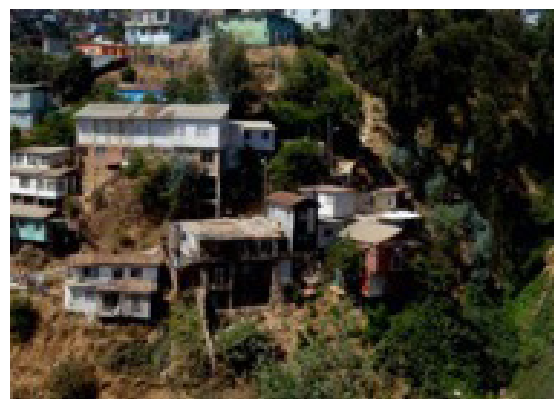
7 Véase Guido Morpurgo, *La estética contemporánea* (Argentina: Losada, 1969).

8 Véase Jean Piaget, *El estructuralismo* (Oikos-Tau, 1980).

9 Resulta pertinente la reflexión de Duchamp respecto al arte como posible-mordiente: “Posible: La figuración de un posible (no como contrario de imposible ni como relativo a probable, ni como subordinado a verosímil). El posible es solamente un “mordiente” físico (género vitriolo) que hace arder toda estética o calística”. En Pierre Cabane, *Conversaciones con Marcel Duchamp* (Barcelona: Anagrama, 1967), 36. Véase también Pablo Oyarzún, *Indicio histórico sobre la relación de Arte y Ciencia*.

aún no aprehendido, ni explorado de forma exhaustiva, ni particular.<sup>10</sup> Como señala Arnheim respecto a la noción de estructura como principio organizativo: “Dado que estos principios son abstractos, se aplican a cualquier tipo de organización. [...] En circunstancias ideales, estas fuerzas constituirían una estructura unificada. En estados menos integrados, el todo puede verse afectado por aberturas e inconsistencias”.<sup>11</sup> Por otro lado: “Toda estructura consta de tensiones dirigidas [...] El Equilibrio de todos los vectores apuntan a limitar la estructura al mínimo de tensión que puede tolerar. Pero no todos los vectores son constructivos”.<sup>12</sup>

Es inevitable en este punto plantearnos el problema en el que derivó la noción de estructuras y que de alguna manera marca el inicio de su desintegración y evolución: la de *estructuras transformacionales*. Esta distinción se apoyó en los planteamientos diacrónicos y sincrónicos de representación dentro de marcos “susceptibles de experimentar una variedad más o menos amplia de transformaciones”.<sup>13</sup> Recordemos que para Piaget la noción de estructura transformacional constituye el eje del desarrollo cognoscitivo, en tanto dimensión adaptativa. Por ello, en sus últimas décadas, se habría de dedicar a la dimensión dinámico-funcional de la estructura. En ella el análisis estructuralista diacrónico es insuficiente, en tanto mera identificación y caracterización de periodos, sub-periodos y estadios, y más bien debe abordarse desde su alcance más profundo. Esto se debe a que todos estos periodos, en su conjunto, constituirían un proceso de equilibrio sucesivo, es decir, al alcanzar un equilibrio dinámico donde la estructura previa se integra en un nuevo sistema en formación hasta un nuevo equilibrio más estable y con un campo más extenso (nuevo estadio).<sup>14</sup> Resulta básico entonces, destacar que si bien, “cada estadio se caracteriza por



Las agrupaciones son conformaciones irregulares vernáculas en constante crecimiento y variación. Izquierda: Ciudad de Gardahia, en Argelia. Derecha: Agrupación espontánea de casas en quebradas de Valparaíso, Chile  
Fuente: s.d.

- 10 Véase Rudolf Arnheim, *El quiebre y la estructura*. (Santiago de Chile: Andrés Bello, 2000).
- 11 Arnheim, *El quiebre y la estructura*, 18.
- 12 Arnheim, *El quiebre y la estructura*, 20.
- 13 Piaget, *El estructuralismo*. Véase también Enrique Martín López, *La sociedad global* (Barcelona: Gráfica, 1970).
- 14 Véase como referente de este punto: Fabián Labra-Spröhnle, *Descripciones fractales de procesos inferenciales en niños y adolescentes durante la creación de hipótesis tendientes a la solución de problemas* (Tesis de maestría: U. de Chile, 1995) y Omar Cañete, *Análisis de la variabilidad dinámico funcional del pensamiento en niños de 10 a 14 años, en la resolución de problemas, mediante técnicas de representación gráfica y análisis fractal* (Tesis de licenciatura: Universidad de Valparaíso, 2000).

la aparición de estructuras originales, cuya construcción global lo distingue de las anteriores estructuras, cada periodo también se destaca por comportar una serie de características momentáneas, que van siendo modificados por el posterior desarrollo en función de las necesidades de una mejor equilibración".<sup>15</sup> Esta continuidad evolutiva de las estructuras cognitivas requiere de una continuidad analítica que explique el cambio de estructuras. En este punto de la explicación piagetana, cabe remitirse a Inhelder, García y Voneche para comprender la complementariedad del análisis estructural del funcional:

Es evidente que un análisis estructural tal recabe su complemento: un modelo que dé cuenta del cambio. En efecto, Piaget no se limita al marco de un análisis estructural de los estados de equilibrio; su interés se centra sobre todo en el paso de una forma de equilibrio a la siguiente, es decir, sobre los mecanismos de superación de estructuras antiguas por la construcción de estructuras nuevas.<sup>16</sup>

Se puede decir que estos planteamientos han sido el referente sobre el cual se ha instalado el problema de la emergencia fenoménica a partir del conexionismo<sup>17</sup> y los modelos de redes neuronales. Estas nociones se extienden incluso a los conceptos de escala, no sólo espacial, sino temporal, pues un objeto en transformación escalar puede ser descrito de diversos modos según se lo observe o modele. Por ende, la noción de escala se convierte en un puente hacia el campo fenoménico, generado a partir de la noción de operación y *estructura dinámica* o en *equilibración*.<sup>18</sup>

15 Labra-Spröhnle, *Descripciones fractales...*

16 Barbel Inhelder, Rolando García y J. Voneche, "Introducción a Piaget", en *Epistemología genética y equilibración* (Fundamentos, 1981), 11.

17 Véase el debate entre Jean Piaget y Noam Chomsky en *Teorías del Lenguaje. Teorías del Aprendizaje* (Crítica, 1983) y el prólogo de Massimo Piatelli-Palmarini a dicha obra, donde justamente expone las diferencias entre ambos modelos a partir de imágenes metafóricas, que denomina "la flama y el cristal".

18 Confrontar esta noción con Xavier Zubiri, *Estructura dinámica de la Realidad* (Alianza, 1981) o la noción de *estructura disipativa* en Ilya Prigogine e Isabelle Stenberg, *Entre el Tiempo y la Eternidad* (Madrid: Alianza, 1992).

## 2. De la estructura modular transformacional a la deformación y deconstrucción de fragmentos

Hemos de destacar diversos planteamientos que (en parte derivados de las posturas deconstructivistas, inicialmente articuladas como crítica a los sistemas funcionalistas y estructuralistas, en tanto sistemas globalizantes-totalizantes) van a revitalizar el tema de los modelos lingüístico-cibernéticos propio de los 60 y 70, pero desde una perspectiva posmoderna y en muchos sentidos a prefigurar rápidamente la hipermodernidad<sup>19</sup> a través de la exaltación y deformación de la diferencia. Una clara continuidad se observa en los planteamientos, por ejemplo, de autores como Koolhaas que en su célebre libro *Mutaciones*<sup>20</sup> exalta la imagen de ciudades de miseria donde reina una suerte de anarquismo urbanístico (como Lagos, en Nigeria), pero que, paradójicamente, operan como paradigma del orden mutante, dinámico y cambiante de las ciudades en el futuro. Es decir, la metáfora del lenguaje ahora ya no busca ni queda supeditada al tutelaje de los modelos desarrollistas que buscaban el progreso continuo, los que apelaban a metáforas de crecimientos transformacional y/o modular, para su implementación de un orden global. Más bien, el impacto de las posturas deconstructivistas permite aquilatar y abrir el campo de una reflexión creativa hacia nociones como *las porciones* (a modo de pedazos, fragmentos y tramas parciales o incompletas), que pudieran ser eventualmente partes de encadenamientos mayores, pero deteniéndose en sus potenciales re-combinatorias y generativas de alteridades, escenarios y proto-realidades alternas. Operaciones que por sí y ante sí, deforman mediante amplificaciones de una señal o patrón, cambiando lo observado. Esto no sólo permite, sino que fuerza a detenerse en la potencia transformadora del acto dinámico como tal, y en las posibilidades alternas de cada momento morfológico. Por cierto, el contexto posmoderno ayuda a dar la imagen de fragmentación como metáfora o imagen de meta-realidad (en muchos casos anti sistémica), pero también la sensación de estar en los albores de un orden socio-urbano paralelo al de globalización ideal. Estas reflexiones ofrecen un marco para lo que va a ser el *diseño generativo* (hoy *diseño paramétrico*), donde la noción *algorítmica-*

19 Jean Baudrillard, *La transparencia del mal. Ensayo sobre los fenómenos extremos* (Barcelona: Anagrama, 1990).

20 Véase Alejandro Zaera Polo, "El día después. Una conversación con Rem Koolhaas", *Revista el Croquis* 73 (2000).



-operacional (articulada ahora en metalenguajes operativos que privilegian deformaciones, amplificaciones y saltos de escala, de corte diagramático-paisajístico) permite configurar redes y tramas cambiantes y dinámicas, altamente reversibles y combinables. Está claro que el desarrollo de la llamada *morfogénesis* se nutre de las vertientes antes mencionadas y se plasma en las siguientes metáforas e imágenes de realidad y modelación.

### 3. Del fragmento a las redes y tramas texturales generativas

Como hemos podido ver desde este marco general histórico-hermenéutico, progresivamente se toma conciencia de que estos vectores no apuntan siempre en la misma dirección dentro de un sistema, ni todos los principios generales operan en circunstancias siempre ideales. Por esto es que lo fragmentado poco a poco deja de ser una mera constatación de la desilusión posmoderna y empieza a estudiarse en sus cualidades inherentes.

Dentro de la evolución de las corrientes formalistas va a destacar inicialmente el estudio de texturas, aun de modo marginal, desde el seno del movimiento moderno, dentro de la Bauhaus, pero entendida como una propiedad de las superficies de los materiales. Para el artista, la finalidad de ésta sólo está dada en la medida de las posibilidades que su uso le permite a través de una biotécnica funcional. Así, de inicio es asimilada como una mera cualidad ornamental asociada al uso y sentido funcional del material de trabajo. En este sentido, la importancia del uso biotécnico se entendía asociada al empleo funcional, destacando en instancias tales como el camuflaje, los coloridos ornamentales o el ensamble de capas en fabricaciones artesanales a fin de evitar alabeos o torsiones en la madera u otro material.<sup>21</sup> No deja de llamar la atención que pese a la importancia que en particular le asigna la Bauhaus al estudio de los procesos compositivos y constructivos (y los formalismos y constructivismos en general), no haya percibido en la textura un mecanismo generador de superficies, planos y espacios (posiblemente el esfuerzo por evitar el problema del ornamento sólo le permitió valorarla en sus propiedades funcionales del diseño).

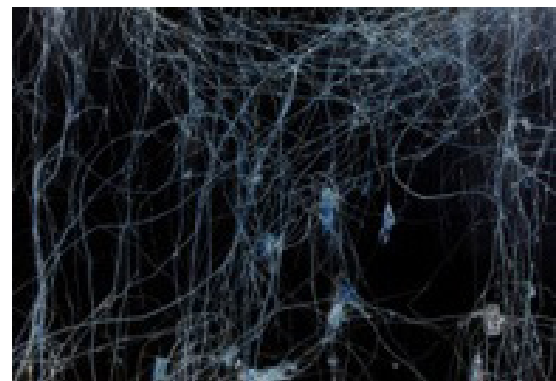
En este nuevo escenario, las propiedades lingüístico-generativas de las texturas se exploraron inicialmente a partir de, entre otras estrategias: a) la ruptura del equilibrio en configuraciones percep-

21 Véase László Moholy-Nagy, *La Nueva visión y reseña de un artista* (Argentina: Infinito, 1972).

tuales gestálticas,<sup>22</sup> b) las configuraciones morfológicas asociadas a un lenguaje computacional de patrones, asociado al estudio de sistemas iterados,<sup>23</sup> o c) ciertas transformaciones asociadas a cualidades escalares propias de procesos de crecimiento o transformación a escala.

Es así como estas estrategias han derivado, sobre todo en la última década, en un interés por los llamados procesos de *fractura de superficies* (*fractures surfaces*), sea en modelos estáticos o dinámico-transformacionales. Como señala Federl:

The existing models of pattern formation can be divided into two classes: models assuming static space and models assuming changing space. Examples of models operating on a static surface are the reaction-diffusion models, originated by Turing in 1952. They generally deal with the distribution dynamics of pattern forming substances in a medium of constant size. L-system models, in contrast, fall into a category of models operating on changing domains. They deal with development, but are limited to branching structures. In spite of the relative success of some models, e.g. reaction-diffusion models that capture shell pigmentation pattern, or L-system models of herbaceous plants, many patterns continue to elude modeling effort. In my research, I explore the hypothesis that some of these patterns can be captured with fracture models operating on growing surfaces, such as bark on tree trunks or drying mud. [...] Previous work in the area of simulating fracture formation can be essentially divided into two groups based on the amount of discontinuity produced by fractures in the material. In the first group, the models use fractures to introduce large discontinuities, i.e. they focus on simulating the process of an object breaking into pieces of applied external forces, with no emphasis on the actual fracture pattern being formed. The second group of models uses fractures to produce small discontinuities in the object's surface, and they focus on the emerging crack pattern. The models in the second group operate either on static or dynamic surfaces.<sup>24</sup>



Fotografías de Richard Misrach  
Fuente: <http://www.marcselwynfineart.com/exhibitions/richard-misrach/>.

22 Arnheim, *El quiebre y la estructura*.

23 Véase Aristid Lindenmeyer y Presemislaw Przemyslaw, *The Beauty algorithms of plants* (Springer-Verlag, 2000).

24 Pavol Federl. "Modeling Fracture Formation on Growing Surfaces" (Tesis de doctorado, University of Calgary, 2002), 5-6.

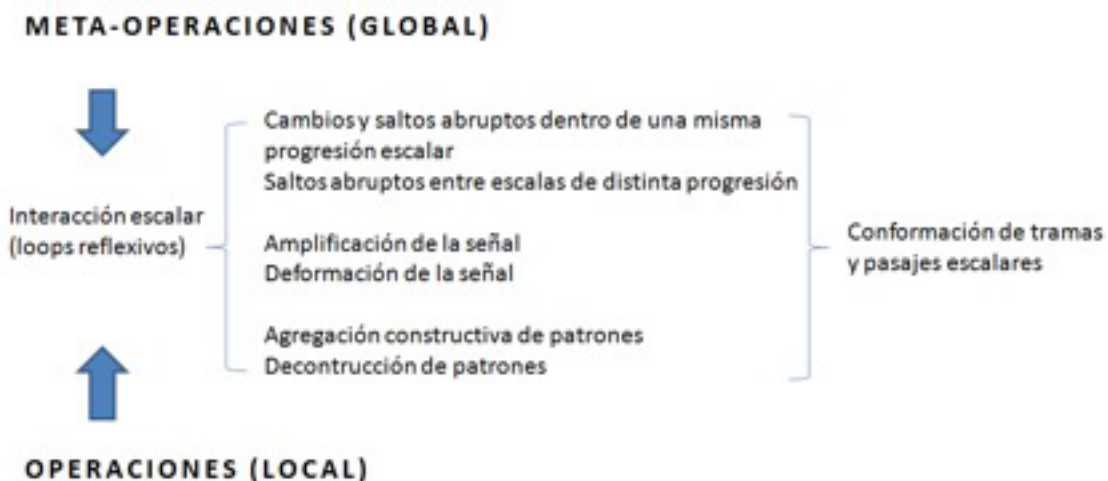


Diagrama general de los cambios de escala generados por diversos procesos en la conformación de tramas complejas o paisajísticas  
Fuente: elaboración propia.

#### 4. Del cambio de escala como elemento central de la morfogénesis

El cambio de escala aparece como una suerte de misterio que opera tras bambalinas, pues en principio nada lo determina, salvo el propio observador. Se rompe así un supuesto cartesiano: la invariabilidad del observador, dando pie al estudio de los cambios y dinamismo de la observación. Sin embargo, podemos señalar que recién se está abordando el problema. En muchos casos, para el control de sistemas se busca aprender a identificar dónde se producirán saltos, a fin de evitar cualquier turbulencia no deseada. Sin embargo, no se ha explorado aún como elemento positivo en sí mismo. No es el caso de la biología o las artes, donde el cambio de escala aparece asociado a los procesos de creatividad y generación de formas, por lo que surge como una metáfora de mucha relevancia.

Es así como podemos distinguir diversas situaciones asociadas al cambio de escala, tales como la amplificación, deformación de señal y cambio de escalas en la conformación de tramas, y paisajes dinámicos y cambiantes. En ellos las morfologías complejas admiten saltos de escala en el uso de diferentes principios formales de manera dinámica. Esto, además de los procesos constructivos por agregación modular o continuidad de un patrón inicial, que dada cierta complejidad en la trama generada requieren un cambio escalar para ser estudiados. Aparte, permiten operaciones de anamorfosis, tales como la amplificación o deformación de una señal (patrón o principio) donde el cambio de escalas es abrupto, pero fluido; así como momentos de una discontinuidad escalar, por ejemplo, dentro de un mismo momento morfológico. Desde el punto de vista algorítmico-operacional, se puede generar el siguiente tipo de diagrama general con base en la distinción entre metalenguaje y lenguaje operacional.

## 5. De las tramas y texturas cambiantes al *landscape* dinámico

Así, desde una perspectiva general, van confluyendo operativamente diversos mecanismos que hasta hace poco eran considerados como relativos opuestos, tales como repetición y variación. De esta manera patrón y paisaje, orden y desorden, instante y dinamismo, fragmento y trama, minimalismo y expresionismo parecen confluir en el arte. De inicio, la principal metáfora aglutinante fue la generación de patrones de crecimiento, que deriva en la conformación de agrupaciones y entramados de unidades modulares variables. Sin embargo, bajo el influjo de las corrientes posmodernas, estos estudios derivan en lo que en la actualidad se resume, desde un punto de vista operacional y computacional-gráfico, en un estudio de las fragmentaciones generativas de paisajes. En ellas el eje y puente entre ambas meta-lecturas es el estudio de las rupturas de simetría (no sólo como mecanismo generador de texturas, sino como estudio de los puntos y transiciones que marca los saltos y cambios de escala, que posibilita tanto el cambio transformacional como continuo y como eje en la conformación de deformaciones y amplificaciones de señal que marcan las transiciones entre niveles de realidad [sistema y entorno] y articulan continuidad y discontinuidad morfológica). Este tipo de texturas transformacionales han de tener ciertas características genéricas como:

- Ser un mecanismo generador de superficies irregulares, planos y espacios organizados a escala (fractalmente).
- Un dispositivo paisajístico-estructurante que organiza y define capas, circulaciones, trayectorias, nodos, redes, detenciones, centros de retroalimentación, *inputs* y salidas dentro de una trama abierta, cambiante y compleja con transiciones escalares.
- Un mecanismo de observación traslúcida de lo escalar y cambiante, mediante una suerte de escaneo direccional variable de formas complejas en sus diversos momentos, saltos de escalas y ángulos de observación (cortes y vistas que articulan lo interno con lo externo, el fragmento y la trama, lo grande y lo pequeño, etcétera).

### Morfología: modelación y diseño paramétrico

En el escenario actual muchos de los nuevos modos de expresión plástica y estética aparecen asociados no sólo al uso de grafismos y morfologías, sino a la mixtura e integración polisémica interdisciplinaria,



en confluencia con la asimilación de medios de modelación digital que la contemporaneidad ofrece.

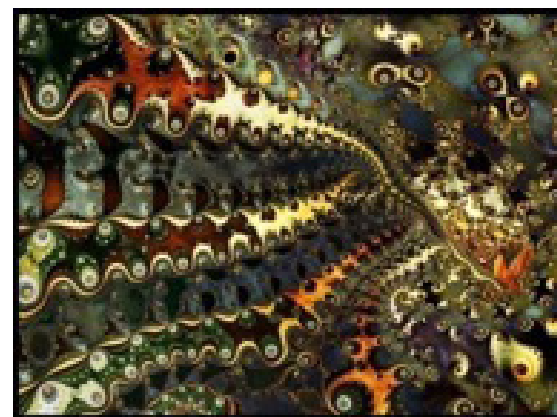
De este modo, junto al desarrollo de la computación y el consecuente aceleramiento en el procesamiento de datos, la modelación de morfologías se ve potenciada por el salto cibernético-sistémico. Esto permite incorporar los procesos de retroalimentación positiva y negativa (iteración de funciones) como mecanismos amplificadores y deformadores de una señal o ruido inicial. Este paso fue decisivo para la conformación de geometrías como los fractales y el estudio de ecuaciones no lineales, al ser incorporadas al bagaje algorítmico. Ello potenció las nociones de lenguaje y metalenguaje de funciones, y actuó como mecanismo modulador en el diseño morfológico.<sup>25</sup> Con todo esto, se conforman las bases del actual diseño paramétrico.<sup>26</sup>

Las modelaciones morfológicas (por ejemplo, fractales y teoría del caos), progresivamente han introducido mayores grados de regulación y flexibilidad en el diseño paramétrico-generativo<sup>27</sup> o diseño paramétrico discriminativo.<sup>28</sup>

En esta suerte de lenguaje generativo, la combinatoria de operaciones algorítmicas aparece como la matriz generadora de nuevas morfologías. Por su parte, las operaciones morfológicas (como la extrusión o la representación espacial de ciertas funciones matemáticas) pueden ser combinadas, mediante un meta-algoritmo, con otras operaciones tales como torsiones morfológicas en 3D de volúmenes o mallas, u operaciones morfológicas de atracción o repulsión ejercidas por puntos definidos arbitrariamente desde fuera de la malla de representación. Así, estos puntos ejercen influencia diferencial en los puntos o curvas de nivel que conforman la malla original, ayudando a modelarla "a distancia". A su vez, esta malla puede ser el fruto de la libre modelación o de la importación de imágenes vectorizadas origi-

Momentos de una secuencia transformacional, proyecto de artes visuales del autor, Fondo Nacional de Arte 2015-2016.

Fuente: <https://www.facebook.com/Morfolog%C3%ADas-Digitales-374652622737210/>.



Geometrías fractales, morfologías modeladas mediante ecuaciones no lineales, como las imágenes generadas por Jock Cooper mediante algoritmos computacionales

Fuente: <http://www.fractal-recursions.com/>.

25 Véase Omar Cañete, *Arquitectura, Complejidad y Morfogénesis* (Valparaíso: Universidad de Valparaíso, 2014).

26 Véase Patrick Shumacher, *The Autopoiesis of Architecture* (GG, 2008) y *Parametric as Style-Parametricist-Manifiesto*.

27 Véase Patrick Shumacher, *The Autopoiesis of Architecture* y *Parametric as Style-Parametricist-Manifiesto*; Scott Draves y Erik Reckase, *The Fractal Flame Algorithm*.

28 Véase Guillermo Ramírez y Miguel Vidal, *Introducción al diseño generativo con Grasshopper* (2000).

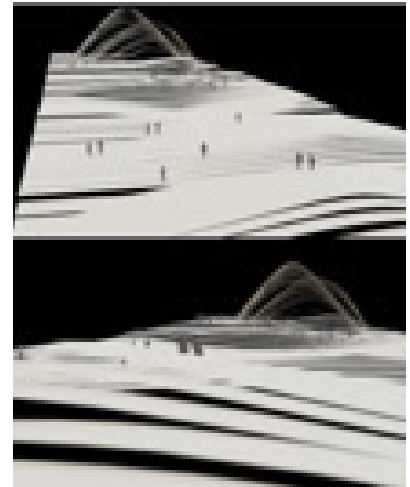


nalmente modeladas incluso en otros softwares.<sup>29</sup> Así, la modelación paramétrica ofrece un sinnúmero de posibilidades de diseño y modelación, mediante nuevos softwares tales como Grasshopper (aplicación de relativa reciente aparición, del conocido software Rhino) o AutoCAD, lo que potencia el diseño digital de los tradicionales módulos constructivos del acostumbrado diseño modular como estrategias de ensamblaje modular, deformaciones, atracciones, etcétera.<sup>30</sup>

### El abordaje de las nuevas formas en la arquitectura

El estudio de la arquitectura siempre ha sido sensible y ha buscado asimilar el estudio morfológico y las posibilidades que ofrece desde el punto de vista proyectual, intentando vincular y estrechar los campos estéticos a los de habitabilidad cotidiana.

Un primer momento aparece con posterioridad al concepto de *planta libre* desarrollado por Le Corbusier, la Bauhaus y Mies, y, de modo paralelo, las nociones de *líneas puras* y *procesos de tensión y equilibrio* desarrollados por los constructivistas rusos. Un segundo periodo de relevancia se da con la consolidación del *team X*, basado en una concepción escalar del espacio y tejido urbano, así como con el interés por los procesos de ruptura de simetría y sobre cómo los crecimientos modulares permiten intervenciones y proyectos en espacios irregulares usualmente denominados *intersticios*. Ello busca la conformación de tejidos urbanos y la posterior articulación en una concepción de ciudad abierta. En los años 70, se pasó a una intensa etapa de exploración morfológica llamada *arquitectura posmoderna*, la cual se caracterizó por la búsqueda formal autónoma, casi escultórica, independiente y ajena a la eventual habitabilidad de la misma. De forma progresiva, se desarrollaron exploraciones intentando la fracturación o quiebre del cubo, o la formación de lo que podríamos llamar genéricamente *cubeoides* a través de su deformación. Después de los crecimientos modulares, se



Repetición y variación. Mecanismos generadores de formas y paisaje  
Fuente: s.d.

<sup>29</sup> Véase Scott Draves y Erik Reckase, *The Fractal Flame Algorithm*.

<sup>30</sup> Véase Felipe Mateo López, "Paisajes, mapas y atracción", en *Exploraciones Morfológicas Digitales*, ed. Omar Cañete, Catalina Bahamondes y Felipe Mateo López (Valparaíso: Garin, 2012).



dio paso a la exploración de formas usualmente denominadas de hiper-cubo y, finalmente, a la exploración en mallas, *layers* o capas superpuestas que, desde el punto de vista de la comprensión arquitectónica, son las nociones de *envolvente* y *multifuncionalidad* (las que jugaron el papel articulador y asimilador desde la disciplina de estos aportes).

A mediados de los años 90, en un contexto de intensa y creciente modelación digital, además de la asimilación de procedimientos como los sistemas CAD, el uso de capas o *layers*, y del uso de diagramas, destaca el pliegue como modo nuevo de concebir proyectualmente la arquitectura. Éste ha ido depurando la noción de intervenciones con sentido más urbano y menos escultórico. Es así como en el escenario contemporáneo, luego de la irrupción del pliegue, aparece con atractivas operaciones (como el recorte o la fisura dentro de una trama) como modo y estrategia acupunturales de abordaje. Podemos replantearnos respecto a esta nueva valoración que implícitamente se hace de la noción de líneas puras, las cuales pueden redefinirse como fragmentos, recortes o incisiones puras o depuradas.

También se redescubren, por su economía de principios para abordar el problema de las transformaciones, los principios de la *repetición* y la *variación*, los cuales permiten generar cambios que se adapten a un patrón de diseño generativo o de variaciones dentro de un territorio que exija cambios suaves y continuos de forma.

Hasta cierto punto, esto se ve reforzado por una valoración implícita de la noción de *traslape funcional* (*overlapping*) planteado originalmente desde el campo de los estudios de ciudades vernaculares<sup>31</sup> y poco a

Evolución de la exploración morfológica en la arquitectura moderna  
Fuente: elaboración propia.

31 Véase Christopher Alexander, *Sustainability And Morphogenesis. The Birth Of A Living World*, así como Christopher Alexander, Daniel Solomon, Artemis Anninou, Kathryn Clarke y Phoebe Wall, *City of Pasadena Zoning Code* (Center for Environmental Structure, 2004) y Christopher Alexander y Randall Schmidt. *The generative master Plan. For*

poco, asimilados desde las corrientes posmodernas a fines del siglo pasado en el plano del diseño proyectual. Es así como el estudio de la forma vuelve a estar en vigencia no sólo como un elemento de diseño, sino también en relación a sus implicaciones en la conformación y articulación del tejido, y en cuanto a su capacidad para generar un sentido urbano (incluso alterno al de las clásicas y en muchos sentidos agotadas nociones de *planning master*). Lo anterior se puede resumir en el cuadro de la página anterior.

Por último, se debe señalar que la modelación morfológica de tejidos urbanos, aparece como un ámbito de renovado interés, no sólo para la comprensión de los procesos de diseño paramétrico (en nuestro caso, de modelación volumétrico-textural), sino para la comprensión y abordaje estratégico de los procesos de crecimiento, autoconstrucción, subdivisión y densificación espontánea en ciudades vernaculares latinoamericanas como Valparaíso.

## Metodología

### Desarrollo de una propuesta

#### 1. Principios generales de un dinamismo generativo

Este nuevo tipo de operaciones formales nos permite modelar morfologías basadas en combinatorias procedimentales y compositivas. De 2010 en adelante, en el marco de los trabajos de modelación del ramo de Geometría Fractal de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso, hemos definido los siguientes principios como marco de trabajo:

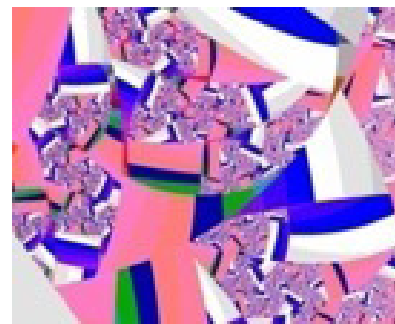
- La Triada *orden lineal-complejidad-azar*. La inclusión de formas y relaciones irregulares ha ampliado el horizonte desde el cual se entendía la noción de orden, pasando de una concepción estática y preconcebida, a una noción cambiante y generativa. El orden lineal es visto como parte de un continuo (con máximos niveles de completitud, delimitación, inclusión, orden y simetría) que convive con los llamados órdenes fuera del equilibrio o por fluctuación (generativos y transformacionales), propios de las teorías de la complejidad. En este segundo tipo de relaciones de orden predominan simetrías a escalas parciales y cambiantes, con una gama de gradientes, texturas propias de las variaciones escalares como los fractales, los pliegues, bifurcaciones, ca-

*The New Town Of harborhills* (Brookings, Oregon: Everbest Printing Co., 2005).



tástrofes thomianas, conurbaciones y teorías del caos. De este segundo nivel de orden complejo pasamos al plano de las asociaciones y variaciones estocásticas (que tienden a la dispersión tanto temporal como espacial de cualquier sistema), donde la repetición discontinua de patrones o proporciones es el modo más estable de armonía o simetría (más propia de los niveles anteriores). En este sentido, el azar aparece como límite más cercano a la desintegración sistémica, propia del desorden y la negentropía, donde no es de extrañar que nociones como las de *vibración* aparezcan como marco para comprender el paso continuo de un tipo de organización u orden a otro.<sup>32</sup>

- Continuidad mínima esencial del trazo y línea morfológica fractal. Esta dimensión será modelada mediante técnicas de vectorización de imágenes (en softwares como CorelDRAW-5) de morfologías a partir de fórmulas fractales generadas en softwares como FRACTINT y APOPHISYS. Ello resulta en líneas fragmentadas que se ramifican, conurban y escalan en trazas morfológicas, manteniendo una coherencia compositiva global a partir del mismo trazo minimalista. Esto recuerda las infinitas posibilidades y modos en que una línea pueda pasar y unir dos y más puntos. Operacionalmente, un vector no trabaja con base en la reproducción de un mapa de puntos, sino en el trazado de múltiples líneas entre puntos. Esto permite modelar morfologías variando parámetros como el número de nodos y líneas que abarcara el máximo de puntos en la imagen a partir del mapa de bit original.
- El estudio de texturas como formas transicionales en la mixtura y variación morfológica del trazo, generadora de *landscape*. Las líneas fractales que se conurban y ramifican a escala en procesos de fragmentación y formación de gradientes permiten el surgimiento de interacciones continuas con la forma y el entorno. Lo anterior, a través de proporciones y tensiones entre planos y formas, lo que alterna entre tramas compositivas regulares e irregulares. Esto posibilita explorar compositivamente la mixtura y variaciones morfológicas desde la continuidad de la conurbación de la línea o



Modelación de ecuaciones fractales en software FRACTINT  
Fuente: Cañete, "Composiciones Morfológicas".

32 Omar Cañete, "Composiciones Morfológicas", en *Exploraciones Morfológicas Digitales*, coord. Omar Cañete, Catalina Bahamondes y Felipe Mateo López (Valparaíso: Garin, 2012).

trazo fragmentado. Las formas así creadas generan tramas y figuras que oscilan entre puntos de mayor o menor apertura o cierre gestáltico. Éstas van multiplicando, variando y alternando espacios de mayor o menor interioridad o exterioridad a la vez y forman, en su evolución, un *landscape*.

- Los cambios escalares dentro de una trama se expresan como variaciones en el grano y textura morfológica del paisaje generado.

### Antecedentes

1. Primeras experiencias de modelación 3D: diseño morfológico con base en ecuaciones no lineales fractales

En el marco de la cátedra de geometría fractal de la Escuela de Arquitectura se emprende la iniciativa de usar ecuaciones fractales para modelar morfologías en 3D. Para esto, se usan softwares como FRAC-TINT, que sólo diseñan imágenes en 2D. Por ello, se elaboraron diversos procedimientos basados en gradiente de grises para tratar la imagen. La resultante fue interpretada y trabajada como diferencias de alturas, con base en lo cual se les pudo extruir volumétricamente.<sup>33</sup>

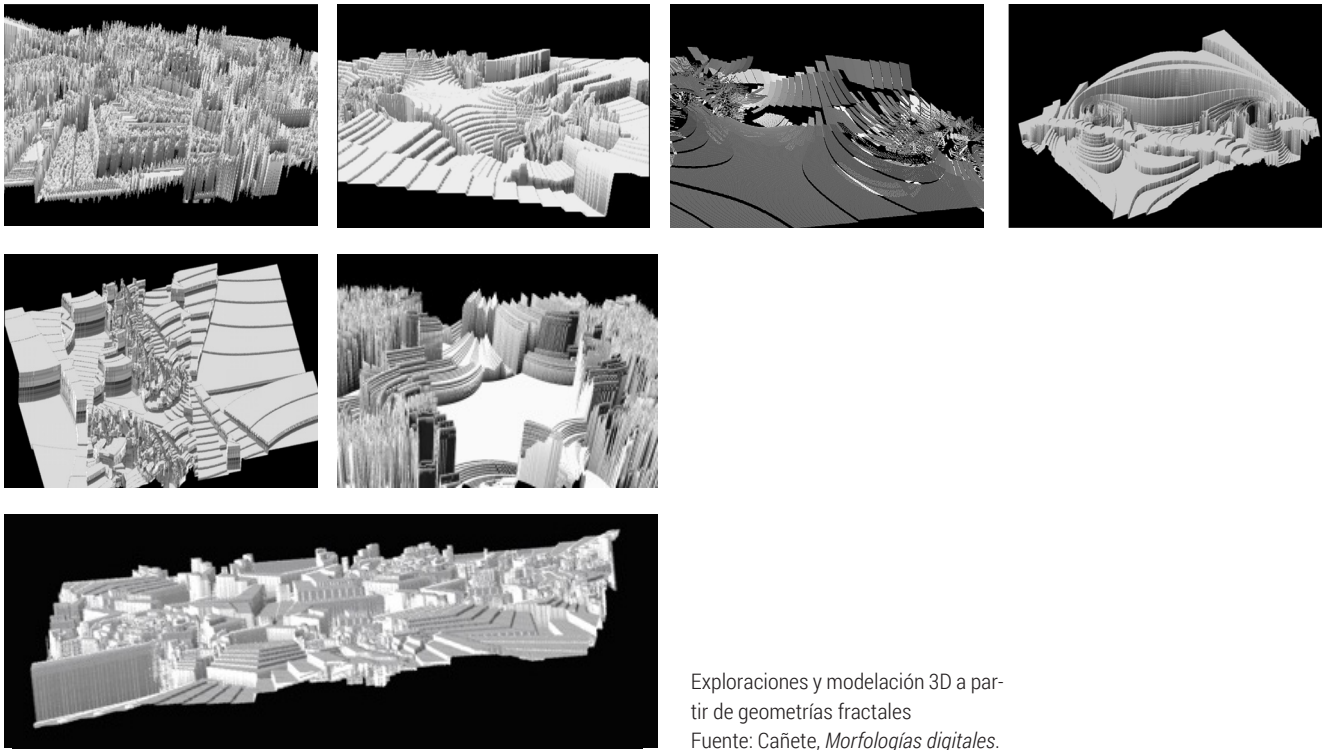
### Fragmentación modular y minimización de tramas vectorizadas

Este tipo de experiencias sirvieron de aliciente para que, a mediados del año 2012 y en el marco del proyecto de artes visuales del Fondo Nacional de Arte (FONDART) que se ejecutó, se accediera a los talleres de fabricación digital WS1 de la carrera de diseño. Ahí, el equipo realizó las primeras experiencias de construcción de maquetas en poliestireno de alto impacto, para propuestas concretas de modulación en serie y proyectos de construcción de pequeña escala.

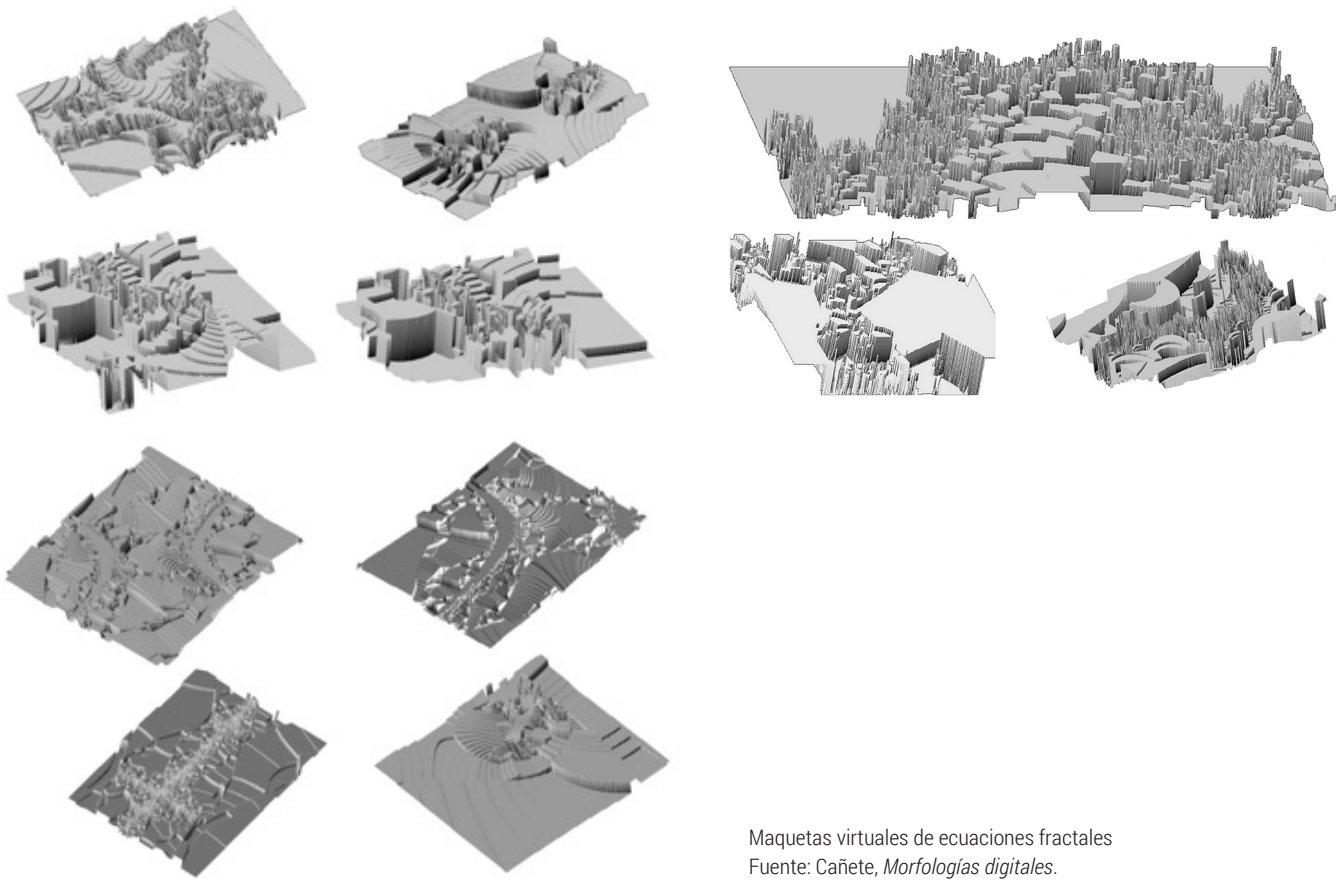
En ello se utilizó una seriación de plantillas, numeradas y diagramadas en software, las que luego fueron impresas, en conjunto con el desarrollo (simultáneo) de una estrategia constructiva de anclajes simples, vinculando las piezas por medio de remaches pop metálicos o correas plásticas. Estos primeros y sencillos ejercicios llevaron a evidenciar 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 fabricaron tres modelos laminares, mediante corte computarizado, utilizando una Router

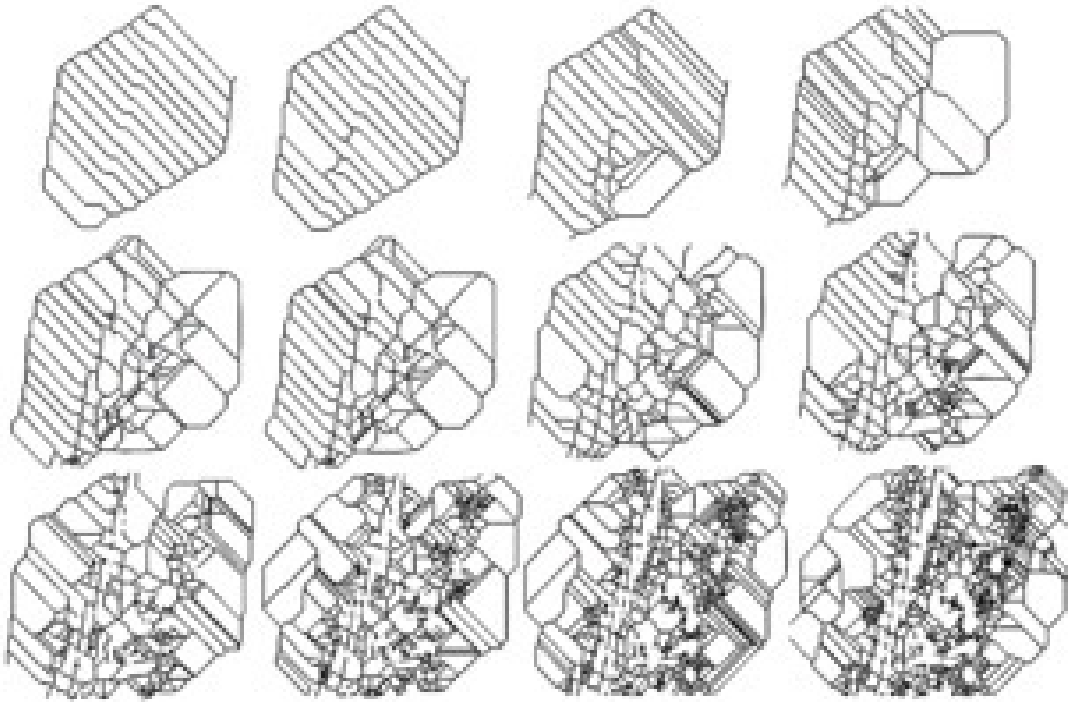
<sup>33</sup> Omar Cañete, *Morfologías digitales* (2015).



Exploraciones y modelación 3D a partir de geometrías fractales  
Fuente: Cañete, *Morfologías digitales*.



Maquetas virtuales de ecuaciones fractales  
Fuente: Cañete, *Morfologías digitales*.



Multicam 1000 Series; modelos de tablero MDF de 15 mm de espesor, con base en serie de paneles apilados y encolados de acuerdo al diseño virtual –tridimensional– propuesto. Estos resultados fueron expuestos como parte del proyecto 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 mediante vectorizaciones,<sup>34</sup> las que al ser importadas a Grasshopper fueron tratadas mediante estrategias morfológicas de generación de volumetrías. Lo anterior 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

Curvas de nivel para plantillas de corte, vectorizadas a partir de un modelo virtual 3D (CAD-CAM). Proceso de corte computarizado y modelo final ensamblado

Fuente: López, "Paisajes, mapas y atracción"...

34 Cañete, "Composiciones Morfológicas" y *Morfologías digitales*; López, "Paisajes, mapas y atracción"... y Omar Cañete y Felipe López, "El Domo generativo: Modelación Morfológica y diseño Paramétrico. Base del estudio de ensambles modulares en la fabricación de prototipos para sistemas CAD-CAM", *Revista Modulo de Arquitectura* 14 (2015): 105-132.

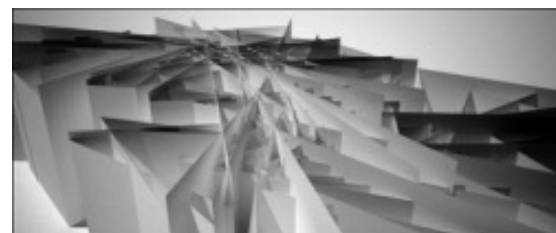


Fragmentación modular. Experiencia digital de artes visuales, Fondo Nacional de Arte 2012  
Fuente: Cañete y López, "El Domo generativo"...

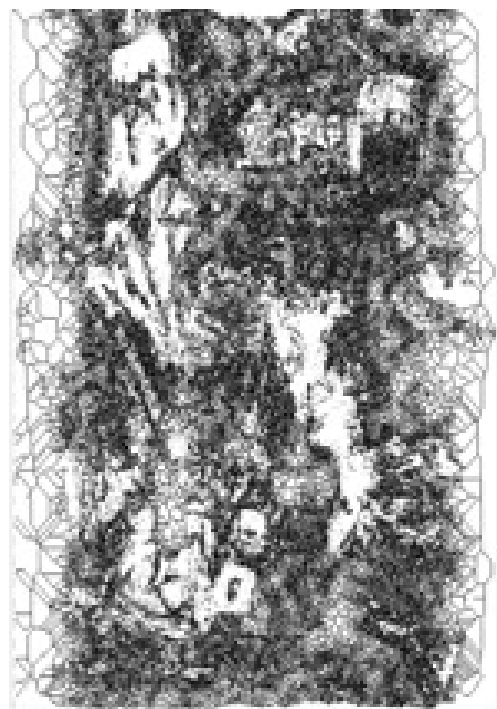
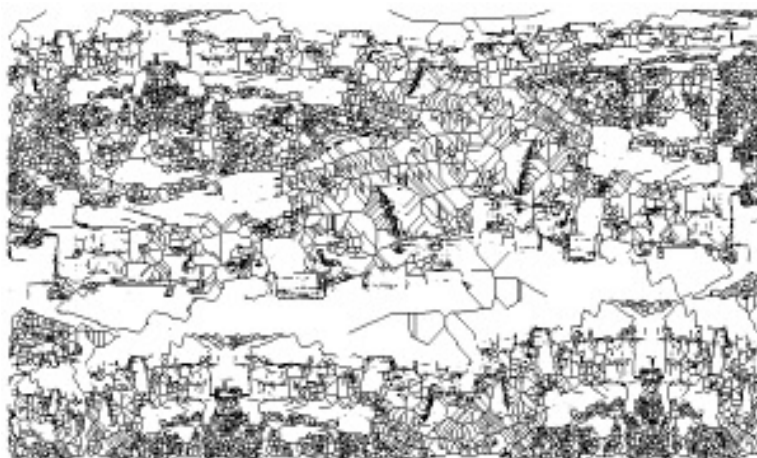
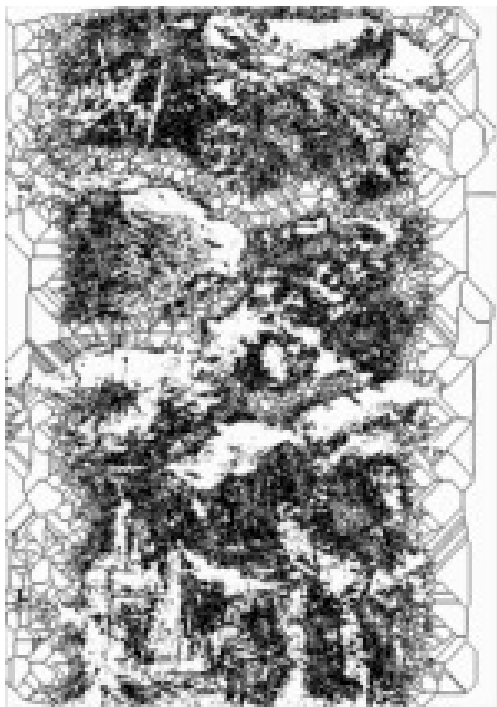
esto, se obtiene una suerte de *puzzle* que, a la vez, es un plano detallado del armado del volumen y está definido en cada una de sus partes, lo que permite proceder a una unión y ensamble del módulo unitario final (o experimentar con el tipo de unión) una vez que es llevado al router de corte, con su escala previamente definida en AutoCAD. 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 con base en placas de acero de 2 mm 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, pero si se camina en sentido contrario se ven cerrados. Al utilizar 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 perfiles en acero, asociados a la superficie a recubrir.

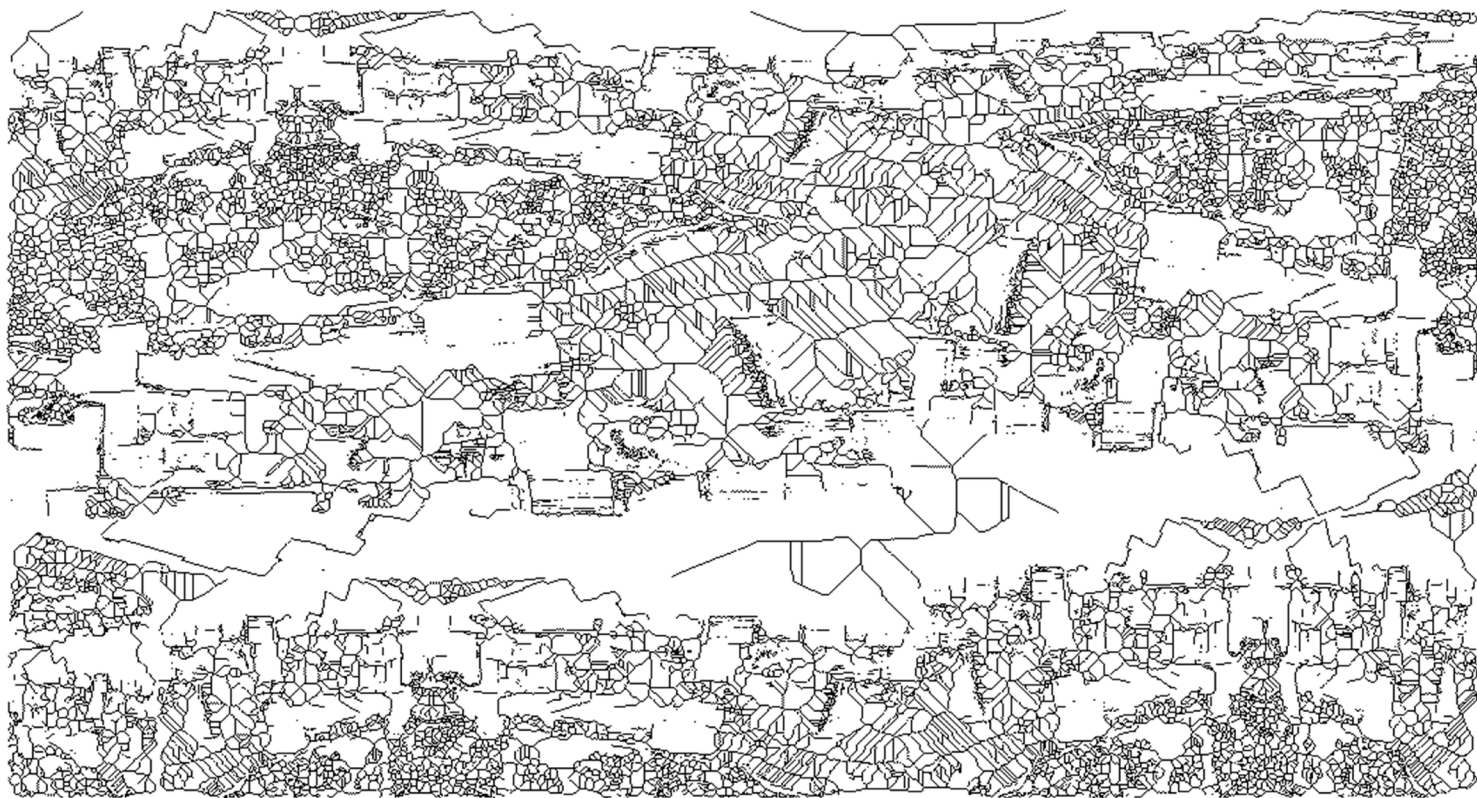
La serie de diferentes perforaciones que se trazan en cada pieza permite el paso tenue de la luz (cintas de luz led) a través de éstas en el total del largo (10 m) del módulo instalado. Así, cada pliegue posee,



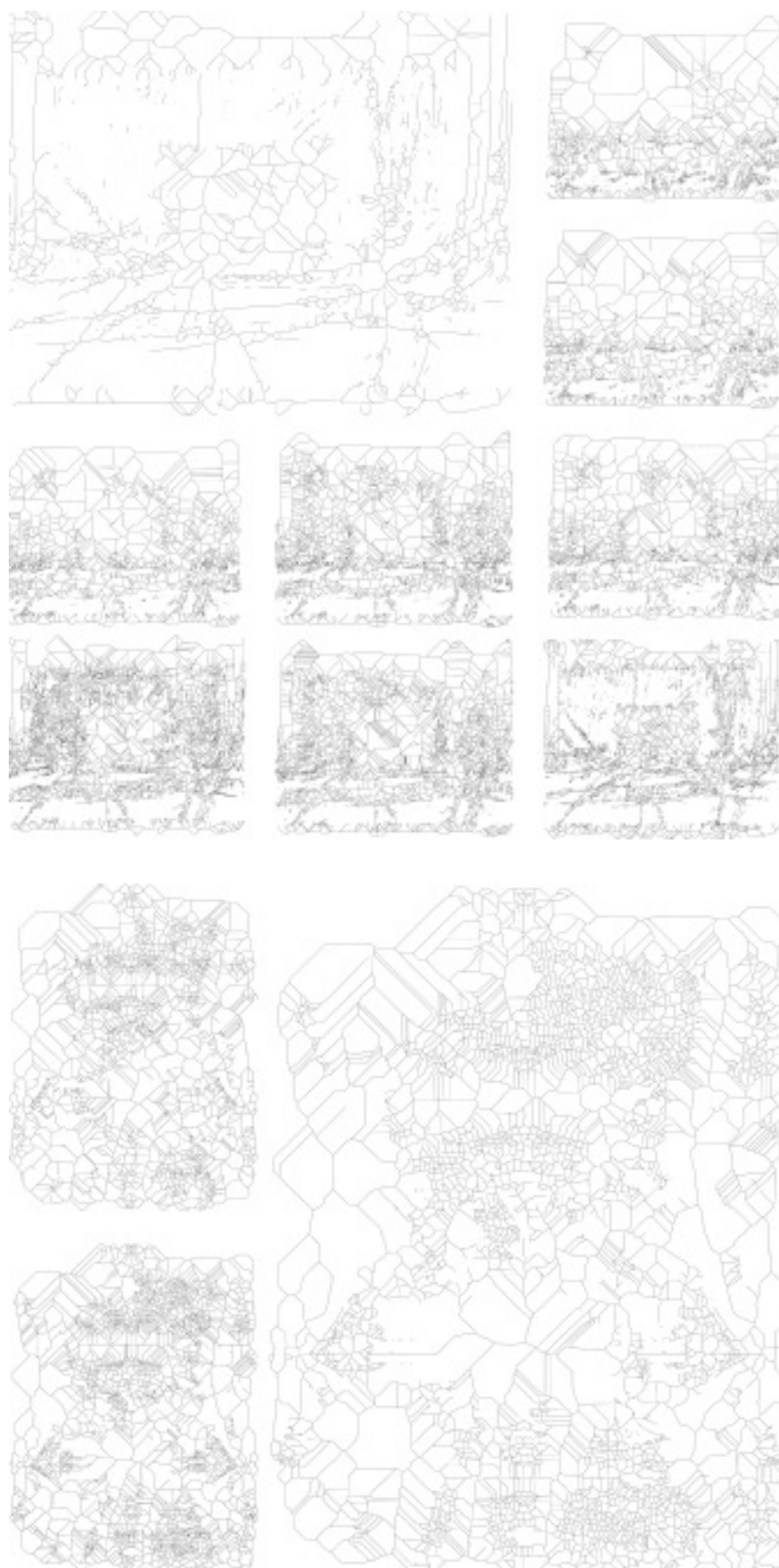
Modelos de panelización y ensamble  
Fuente: Omar Cañete, Anibal Correa y Felipe López, *El Laberinto en el Mandala* (Valparaíso: Garin, 2017).



Formación de paisajes digitales vectoriales  
Fuente: elaboración propia.

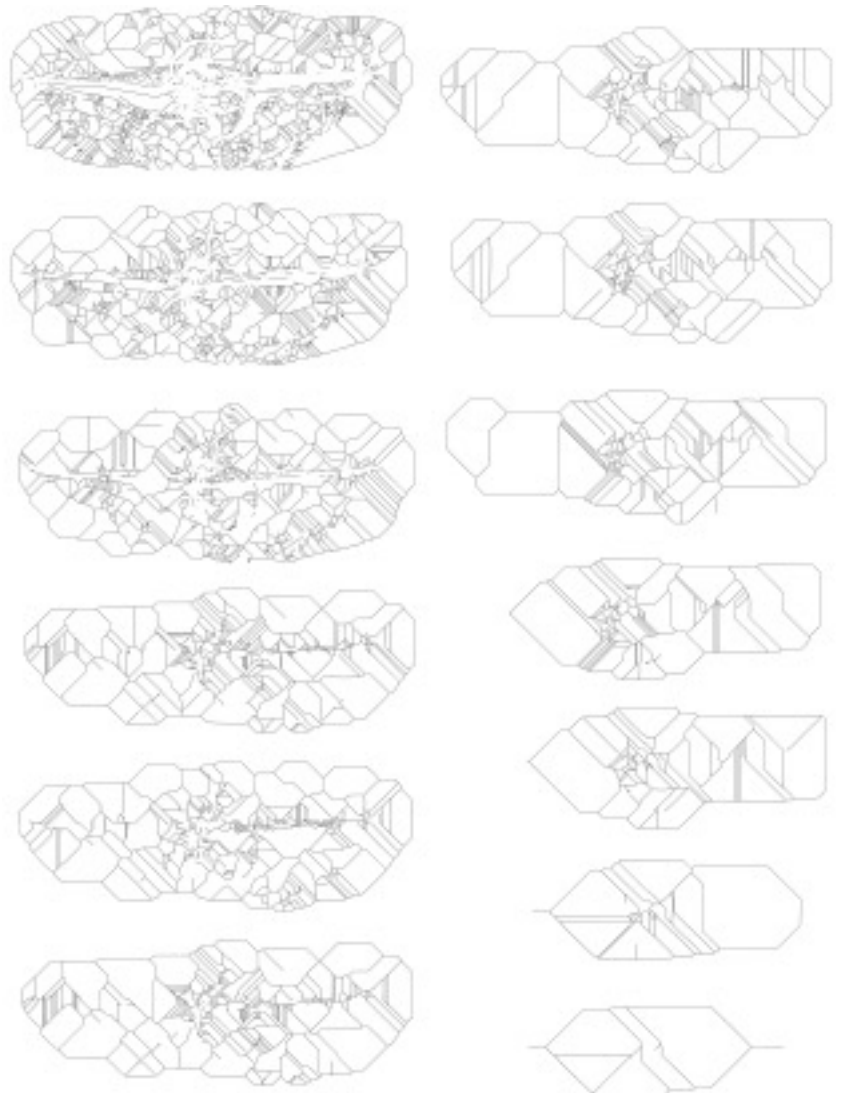
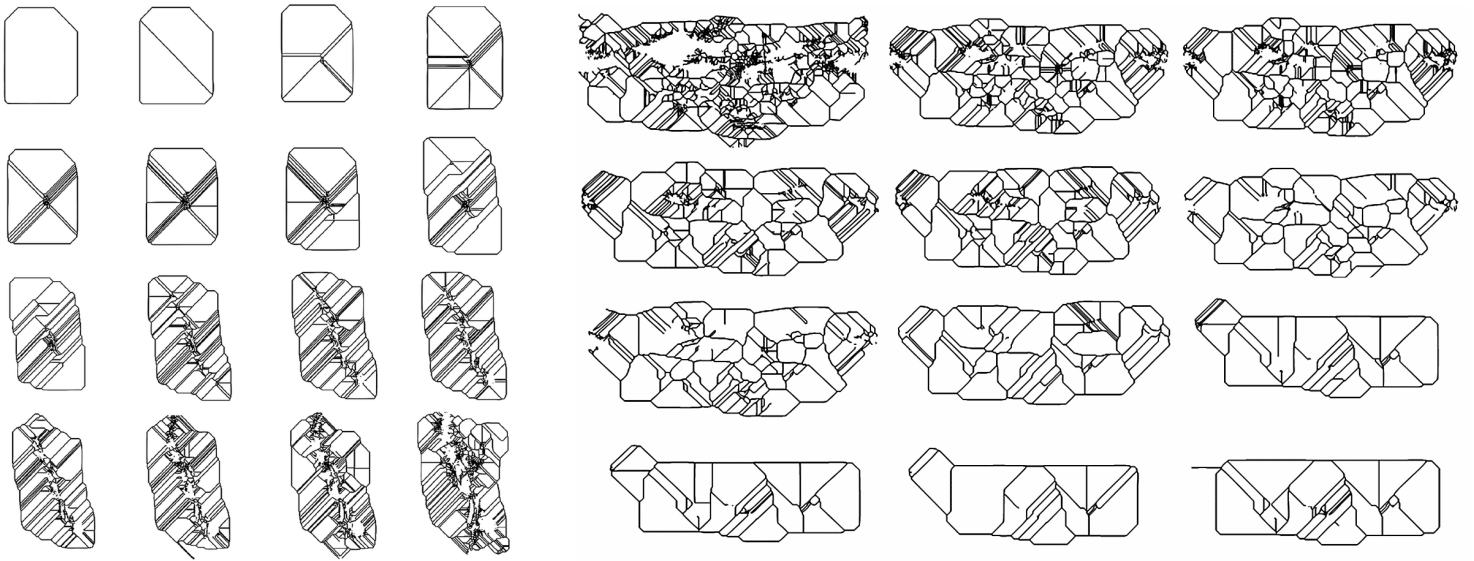


Ampliación de detalle y diversos tipos de granos y tramas en paisaje digital anterior  
Fuente: elaboración propia.



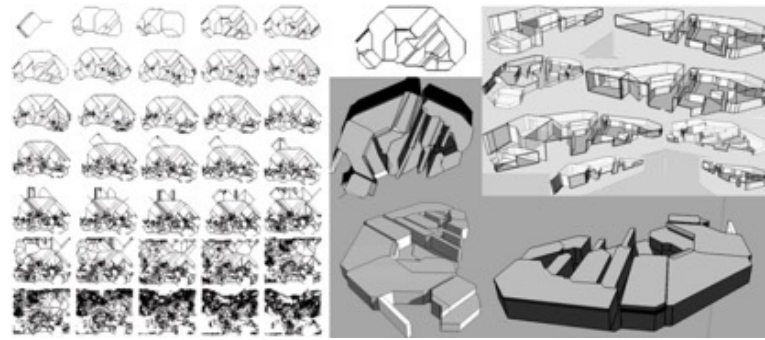
Vectorizaciones morfológicas progresivas con distintos factores de escala y gradientes en transformación  
Fuente: Cañete, "Composiciones Morfológicas".





Estudios de formación de gradientes transformacionales a base de procesos de fragmentación y crecimiento modular vectorizados  
Fuente: elaboración propia.

sutilmente, distinta acentuación tridimensional y diferentes texturas que varían de acuerdo al punto de vista del observador.



### Exploraciones propias

Las características anteriormente expuestas, permiten replantear la clásica distinción entre formas regulares, ideales y la riquísima, y aún poco explorada, gama de formas y relaciones irregulares, desde las nociones de trama y fragmento minimalista hasta sus posibilidades de crecimiento y transformación generativa. En este sentido, este tipo de modelaciones morfológicas de texturas y tramas paisajísticas globales ha sido abordado en el marco del diseño y modelación paramétrica, y explorados por el autor, en sucesivos proyectos de artes visuales financiados por el Fondo Nacional de Arte Regional de Artes Visuales.<sup>35</sup> También se ha trabajado desde encargos en el ramo de fractales y el módulo de forma, del Taller de Ciudad de arquitectura de la Universidad de Valparaíso. Ahí se ha orientado el proceso de la transformación morfológica y el lenguaje generativo (cerca de la fragmentación y ensamble modular) según criterios y principios arquitecturales como intersticios, circulaciones, magnitudes, tramas, volúmenes, ensambles y relaciones entre módulos que las texturas minimalistas sugieren. Lo anterior se resume en los siguientes puntos:

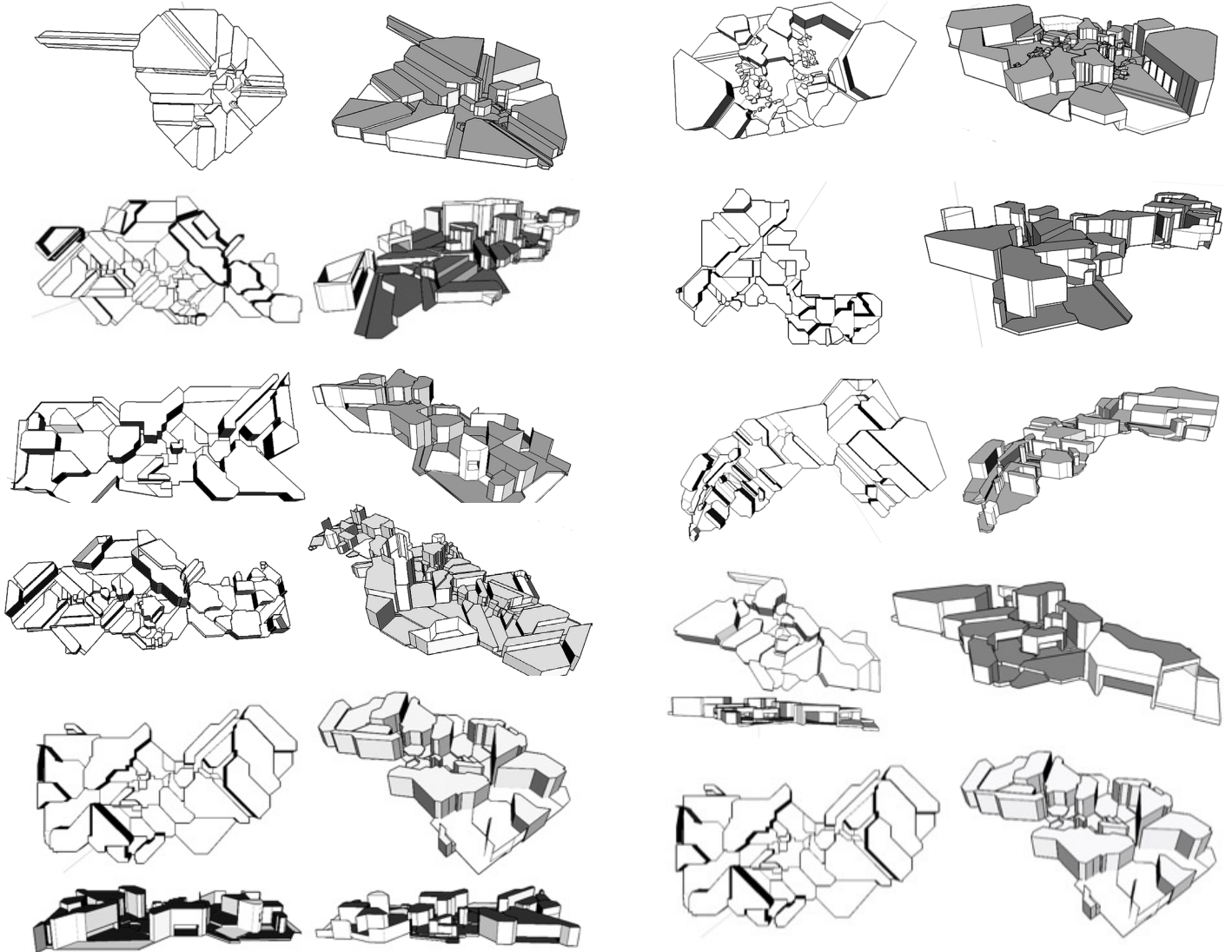
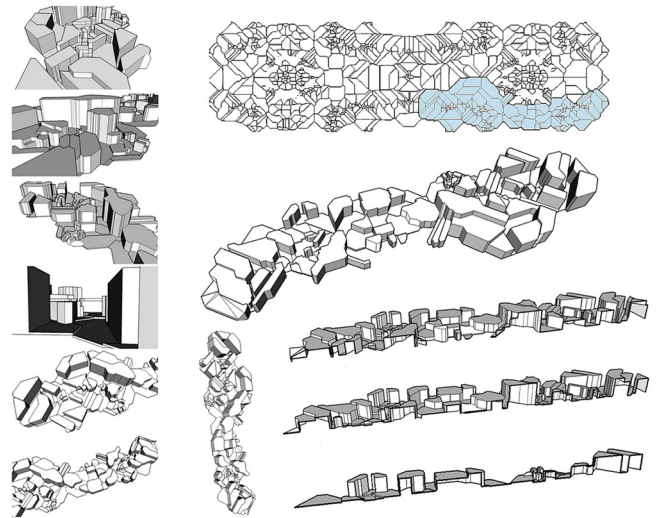
- Delimitación de módulos, y formación de ensambles y encajes modulares. Lo anterior permite un estudio volumétrico de las unidades estructurales y ensambles modulares asociado al proceso de contacto y deslinde entre unidades, y cómo se afectan morfológicamente al entrar en contacto y ensamble con otras unidades, y éstas con el resto del conjunto de unidades modulares.
- La formación de pasajes, pasillos, vacíos, intersticios y circulaciones entre módulos y sus ensambles. El ensamble de módulos permite regular la distancia entre estos, así como la posibilidad de crear circulaciones dentro y entre los módulos, y también dentro del conjunto de la textura volumétrica y sus intersticios existentes en el paisaje global.

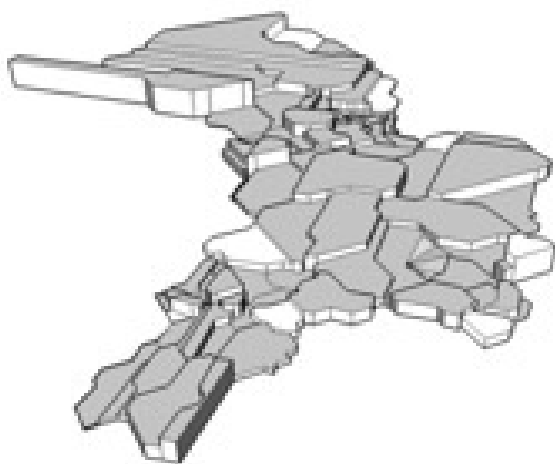
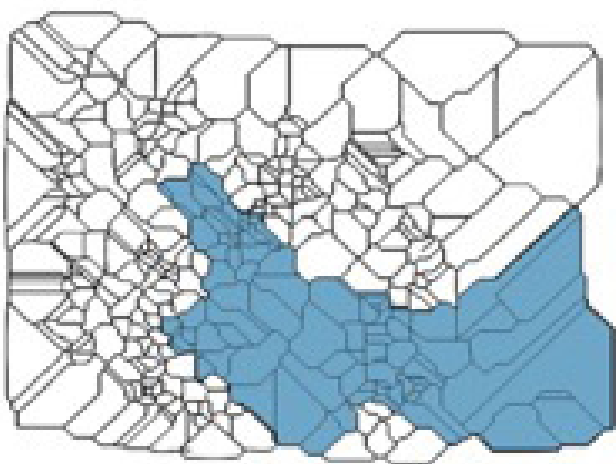
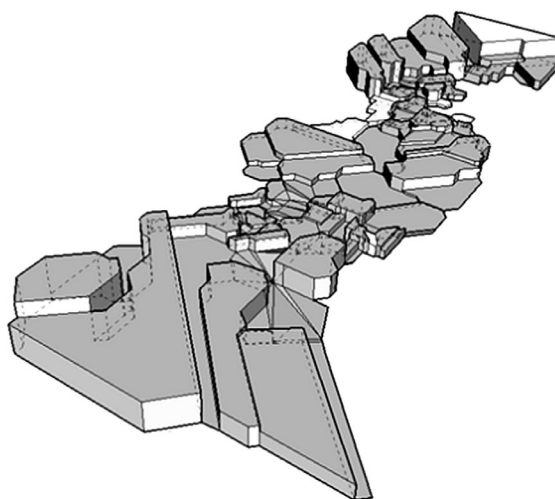
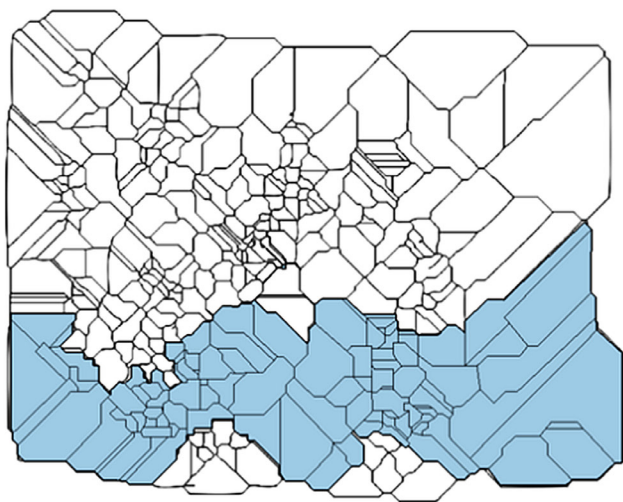
Caso 1

Fuente: elaboración propia.

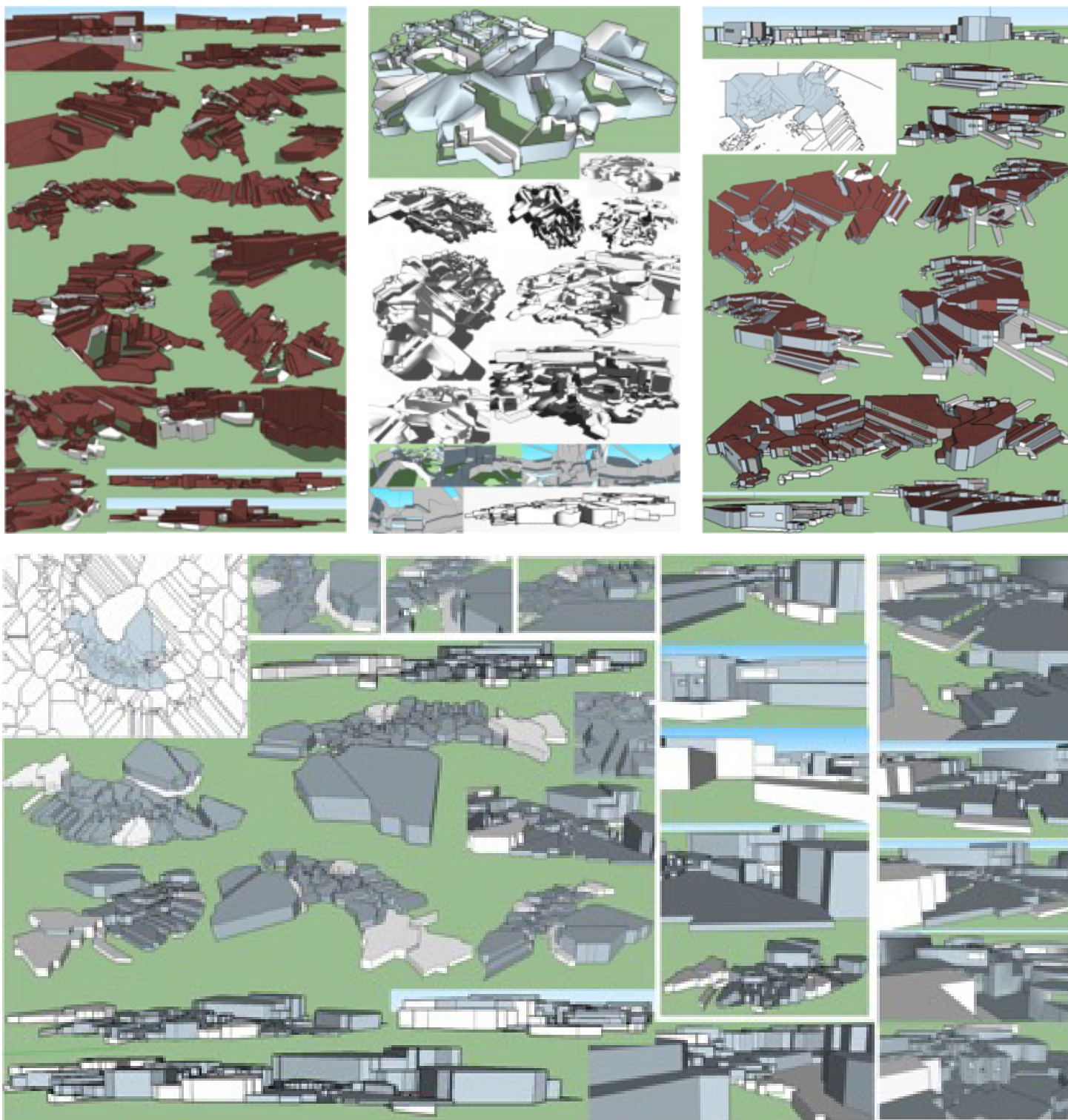
<sup>35</sup> Véase Omar Cañete y Catalina Bahamondes, "Experiencia y Experimentación de Morfológicas Digitales. Modos de Pensamiento y alcances sobre lo inmaterial y esencial en Arquitectura", *Revista Márgenes* 8-9 (2011b): 50-62, *Computación y Arte Computacional Gráfico* (FONDART/Garin, 2011a), y Cañete, Correa y López, *El Laberinto en el Mandala*.

Diseño modular con base en extrusión de tra-  
mas vectorizadas  
Fuente: elaboración propia.

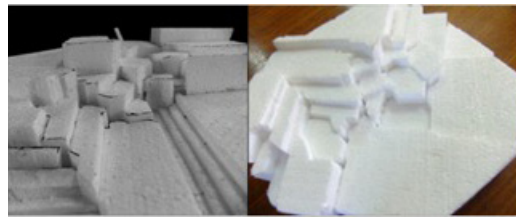




Variaciones transformacionales a partir de una misma trama de paisaje  
Fuente: elaboración propia.



Modelos de volumetrización a partir de tramas generadas mediante fragmentación modular  
Fuente: elaboración propia.



- Formación volumétrica de texturas y gradiente escalares. Con base en los procesos de interacción, compactación, fragmentación y/o crecimiento modular se generan diferenciaciones escalares de los módulos interactuando entre sí, lo que incide en la formación de gradientes y texturas morfológicas.

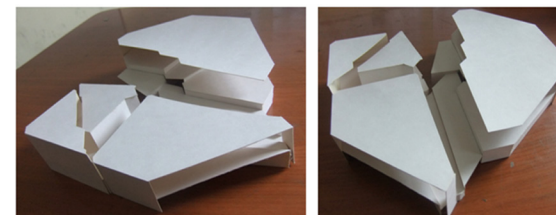
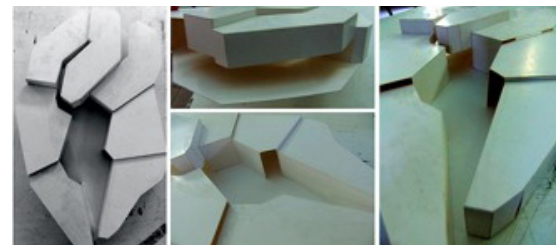
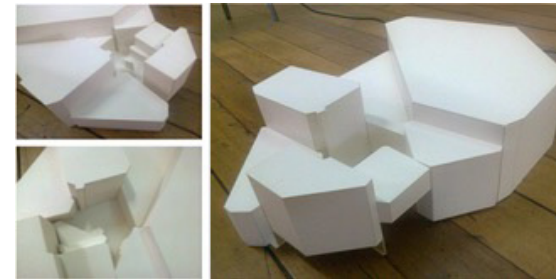
Además, de este tipo de modelación, que hemos denominado *fragmentación modular*, se está en condiciones de explorar su espacialidad y volumetría.

También resulta pertinente mostrar algunos trabajos y prototipos realizados en estos años por alumnos, a quienes expresamente se les pide trabajar, además del diseño digital, con modelos en algún material como cartón, plumavit u otro.

### Conclusiones

En el presente artículo se muestran los resultados de una búsqueda por entender y asimilar la evolución del pensamiento complejo y la morfogénesis, desde los temas y enfoques propios de la arquitectura, especialmente en relación a la distinción entre formas regulares e irregulares, y otras como transformación, crecimiento, fragmentación, propiedades escalares, ensamblaje y modularidad (en especial relación al denominador común de las llamadas *líneas y formas puras*).

Estas reflexiones se han orientado al desarrollo de modelos esencialmente pre-proyectuales, en muchos casos asistidos por sistemas de modelación digital CAD-CAM, desde una amplia gama de modelos e imágenes desarrolladas en la cátedra Geometría fractal, taller de arquitectura de la carrera de Arquitectura de la Universidad de Valparaíso, así como de diversos trabajos realizados para proyectos de artes visuales en la región. Esto ha abarcado estudios de modelación digital y paramétrica, así como de modelos a escala o prototipos. En estos casos emerge la noción de algoritmo como lenguaje generativo y dinámico, productor de tramas y paisajes virtuales.



Trabajos de alumnos realizados en cátedra Geometría fractal. Escuela de Arquitectura. Universidad de Valparaíso  
Fuente: elaboración propia.

En este último sentido, creemos que un campo importante de estudios de esta metodología puede darse en la modelación basada en intervenciones orientadas a la conformación de tramas dentro de un paisaje urbano.

## Referencias

- ALEXANDER, Christopher. *Sustainability And Morphogenesis. The Birth Of A Living World*. <http://www.livingneighborhoods.org/clickagreement/clickagreementces.htm>.
- ALEXANDER, Christopher, Daniel Solomon, Artemis Anninou, Kathryn Clarke y Phoebe Wall. *City of Pasadena Zoning Code*. Center for Environmental Structure, 2004. Disponible en: <http://www.lenguaje.patern.com>.
- ALEXANDER, Christopher y Randall Schmidt. *The generative master Plan. For The New Town Offharborhills*. Brookings, Oregon: Everbest Printing Co., 2005.
- ARNHEIM, Rudolf. *El quiebre y la estructura*. Santiago de Chile: Andrés Bello, 2000. *Atari Archives*. <http://www.atari.archives.org>.
- BAUDRILLARD, Jean. *La transparencia del mal. Ensayo sobre los fenómenos extremos*. Barcelona: Anagrama, 1990.
- BORJA-VILLEL, Manuel et al. *Campos de Fuerza*. Barcelona: MACBA, 2005.
- CABANE, Pierre. *Conversaciones con Marcel Duchamp*. Barcelona: Anagrama, 1972.
- CAÑETE, Omar. *Análisis de la variabilidad dinámico funcional del pensamiento en niños de 10 a 14 años, en la resolución de problemas, mediante técnicas de representación gráfica y análisis fractal*. Tesis de licenciatura: Universidad de Valparaíso, 2000.
- CAÑETE, Omar. *Arquitectura, complejidad y morfogénesis*. Valparaíso: Universidad de Valparaíso, 2014.
- . "Composiciones Morfológicas". En *Exploraciones Morfológicas Digitales*, coordinado por Omar Cañete, Catalina Bahamondes y Felipe Mateo López, Valparaíso: Garin, 2012.
- . "Exploraciones morfológicas en texturas modulares". *Revista de Arquitectura*. Disponible en: [http://editorial.ucatolica.edu.co/ojsucatomica/revistas\\_ucatolica/index.php/RevArq/article/view/101](http://editorial.ucatolica.edu.co/ojsucatomica/revistas_ucatolica/index.php/RevArq/article/view/101).
- . *Morfologías digitales*. 2015. <https://www.facebook.com/Morfolog%C3%ADas-Digitales-374652622737210/>.
- CAÑETE, Omar y Catalina Bahamondes (coord.). *Computación y Arte Computacional Gráfico*. FONDART/Garin, 2011a.
- . "Experiencia y Experimentación de Morfologías Digitales. Modos de Pensamiento y alcances sobre lo inmaterial y esencial en Arquitectura". *Revista Márgenes* 8-9 (2011b): 50-62.
- CAÑETE, Omar, Catalina Bahamondes y Felipe Mateo López. *Exploraciones Morfológicas Digitales*. Valparaíso: FONDART/Garin, 2012.

- CAÑETE, Omar, Anibal Correa y Felipe López. *El Laberinto en el Mandala*. Valparaíso: Garin, 2017.
- CAÑETE, Omar y Felipe López. "El Domo generativo: Modelación Morfológica y diseño Paramétrico. Base del estudio de ensamblajes modulares en la fabricación de prototipos para sistemas CAD-CAM", *Revista Modulo de Arquitectura* 14 (2015): 105-132.
- COOPER, Jock. *Fractal Recursion*. 2014 <http://www.fractal-recursions.com/>.
- CHOMSKY, Noam y Jean Piaget. *Teorías del Lenguaje. Teorías del Aprendizaje*. Crítica, 1983.
- DRAVES, Scott y Erik Reckase. *The Fractal Flame Algorithm*. <http://www.flame.com>.
- ESNAL, Ines. *Matterscapes*. [www.inesesnal.net](http://www.inesesnal.net).
- FEDERL, Pavol. "Modeling fracture formation on growing surfaces". Tesis de doctorado, The University of Calgary, 2002.
- FUHRER, Martin. "Hairs, textures, and shades: improving the realism of plant models generated with L-systems". Tesis de maestría, The University of Calgary, 2005.
- INHELDER, Barbel, Rolando García y J. Voneche, J. "Introducción a Piaget". En *Epistemología genética y equilibración*. Fundamentos, 1981.
- KOSELLECK, Reinhart y Hans-Georg Gadamer. *Historia y hermenéutica*. Buenos Aires: Paidós, 1993.
- LABRA-SPRÖHNLE, Fabián. "Descripciones fractales de procesos inferenciales en niños y adolescentes durante la creación de hipótesis tendientes a la solución de problemas". Tesis de Maestría, Universidad de Chile, 1995.
- LAKATOS, Imre. *Historia de la Ciencia y sus reconstrucciones*. Tecnos, 1978.
- \_\_\_\_\_. *La metodología de los Programas de Investigación científica*. Alianza, 1989.
- LINDENMEYER, Aristid y Presemslaw Przemyslaw. *The Beauty Algorithm of Plants*. Argentina: Springer-Verlag, 2000. Disponible en: <http://algorithmicbotany.org/papers/abop/abop.pdf>.
- LÓPEZ, Felipe Mateo. "Paisajes, mapas y atracción. Notas para el uso de algoritmos y patrones en el diseño paramétrico, desde el pensamiento arquitectónico y proyectual-estético". En *Exploraciones Morfológicas Digitales*, coordinado por Omar Cañete, Catalina Bahamondes y Felipe Mateo López. Valparaíso: Garin, 2012.
- MANDELBROT, Benoît. *La Geometría Fractal de la Naturaleza*. Tusquets, 2000.
- \_\_\_\_\_. *Los objetos fractales*. Tusquets, 1989.
- MARCHAN FIZ, Simón. *La metáfora del Cristal en las vanguardias modernas*. Siruela, 2010.
- MARÍAS, Julián. *Introducción a la filosofía*. Biblioteca de la Revista de Occidente, 1963.
- MARTÍN LÓPEZ, Enrique. *La Sociedad Global*. Barcelona: Gráfica, 1970.
- MISRACH, Richard. *Exhibición fotográfica*. <http://www.marcselwynfineart.com/exhibitions/richard-misrach/>.



- MOHOLY-NAGY, László. *La Nueva visión y reseña de un artista*. Argentina: Infinito, 1972.
- MORIN, Edgar. *Introducción al Pensamiento Complejo*. Barcelona: Gedisa, 1995.
- MORPURGO, Guido. *La estética contemporánea*. Argentina: Losada, 1969.
- OYARZUN, Pablo. *Indicio histórico sobre la relación de Arte y Ciencia*. <http://psicologiadelarte.com/2012/04/%E2%80%9Cindicio-historico-sobre-la-relacion-de-arte-y-ciencia%E2%80%9D-%E2%80%93colaboracion-pablo-oyarzun-robles/>.
- PIAGET, Jean. *El estructuralismo*. Oikos-Tau, 1980.
- PIATELLI-PALMARINI, Maximo. "Introducción: A propósito de los programas científicos y de su núcleo central". En *Teorías del Lenguaje. Teorías del Aprendizaje*, Noam Chomsky y Jean Piaget. Crítica, 1983.
- Plinio el Viejo. *Textos de Historia del Arte*. Madrid: Visor, 1987.
- PRIGOGINE, Ilia e Isabelle Stenberg. *Entre el tiempo y la eternidad*. Madrid: Alianza, 1992.
- RAMÍREZ, Guillermo Camarero y Miguel Vidal Calvet. *Introducción al diseño generativo con Grasshopper*. 2000. [www.frikearq.com](http://www.frikearq.com).
- SHUMACHER, Patrick. *The Autopoiesis of Architecture*. GG, 2008.
- \_\_\_\_\_. *Parametric as Style-Parametricist-Manifiesto*. [www.patrick.schumacher.com](http://www.patrick.schumacher.com).
- SLOTERDIJK, Peter. *En el mundo interior del capital. Para una teoría filosófica de la globalización*. Siruela, 2010.
- THOM, Rene. *Estabilidad estructural y morfogénesis*. Barcelona: Gedisa, 1997.
- VILLACAÑAS, José Luis. "Introducción". En *Historia y hermenéutica*, Reinhart Koselleck y Hans-Georg Gadamer. Buenos Aires: Paidós, 1993.
- ZAERA Polo, Alejandro. "El día después. Una conversación con Rem Koolhaas". *Revista el Croquis* 73 (2000).
- ZUBIRI, Xavier. *Estructura Dinámica de la Realidad*. Alianza, 1981.
- \_\_\_\_\_. *Inteligencia Sentiente*. Madrid: Alianza, 1989.