



tema de arquitectura

aproximaciones fractales a la morfogénesis

de viviendas de los cerros de
Valparaíso

Alumno : Claudio Alejandro Vergara Vera.
Profesor guía: Juan Luis Moraga Lacoste.

*A mis padres, Nora y Jaime
a Marcela
y a mis abuelos Nora y Sergio*

Tema de arquitectura

**Aproximaciones fractales
a la morfogénesis**
de viviendas de los cerros de
Valparaíso

Claudio Alejandro Vergara Vera.
Profesor Guía: Juan Luis Moraga Lacoste.

Indice

	Pag.
Introducción.....	5

Capítulo 1 punto de vista

1.	El texto como objeto de investigación.....	8
2.	Hipótesis operativas.....	10
3.	Breve acercamiento a la realidad.....	15
4.	Noción de estructura.....	17
5.	Pensamiento y creatividad.....	20
6.	Precisiones acerca de la observación.....	23
7.	Hacia un pensar arquitectural.....	24

Capítulo 2 marco teórico

1.	Algunos aspectos relevantes del pensamiento contemporáneo.....	27
1.1.	El fin de la armonía cósmica.....	28
1.2.	Cosmovisión y cosmología.....	33
1.3..	El enfoque de la complejidad.....	35
2.	Acercamiento a la teoría de los fractales.....	41
2.1.	Sistemas dinámicos.....	41
2.2.	Sistemas lineales y no lineales.....	42
2.3.	Origen matemático de los fractales.....	45
2.4.	Dimensión fractal.....	54
2.5.	Hacia una definición de fractal.....	57
3.	Concepciones fractales sobre el pensamiento y la arquitectura.....	60
4.	Noción de Orden.....	65

4.1.	En búsqueda de nuevos órdenes para las artes.....	70
4.1.	El aporte de los fractales.....	73
5.	El lugar.....	75
5.1.	Geometría del lugar.....	78
5.2.	Envolvente del lugar.....	79

Capítulo 3

problema arquitectónico

1.	Problemática general.....	84
2.	Aclaraciones del enfoque fractal.....	86
3.	Hipótesis generales.....	90
4.	Elección de casos de estudio.....	94
5.	Presentación y breve registro de los casos.....	95

Capítulo 4

Contrastación y derivaciones

1.	Breve estudio de la dimensión fractal en algunas ciudades.....	105
2.	Pruebas de contrastación de los casos de estudio.....	111
3.	Conclusiones.....	142
4.	Discusión.....	145

Capítulo 5

1.	Anexos	
1.1.	Teoría general de sistemas.....	149
1.2.	Arquitectura fractal.....	155
1.3.	Ushida Findlay.....	158
2.	Bibliografía.....	163
3.	Agradecimientos.....	166

Introducción

El presente seminario ha partido de una inquietud planteada hace ya tiempo en esta escuela de arquitectura; la inquietud de saber "algo" acerca de la cultura espacial de Valparaíso. Se considera que la cultura espacial va mucho más allá de los edificios y los espacios, involucra la vida y está ligada a la experiencia de habitar, de reconocer y ocupar los lugares, entendidos como focos de acontecimientos con una vitalidad particular. En este entendido, es que interesa una indagación acerca de la geometría con que se construyen los lugares, pero a partir del habitar, por lo que podríamos hablar de la búsqueda de una geometría de los acontecimientos, que dé luces a nuestra actividad proyectual.

"entiendo la concepción del proyecto de arquitectura en los argumentos del discurrir geométrico, paso previo a invocar la necesidad de su construcción material, para que pueda hacerse tangible la idea, siendo la construcción del lugar, la finalidad última del espacio arquitectónico, es decir, hacer posible el habitar del ser en un territorio de belleza¹"

Esta búsqueda se realizará en los cerros de Valparaíso, cuyas construcciones y lugares no obedecen a los cánones tradicionales de organización geométrica, sino que en una primera impronta, presentan una serie de irregularidades de todo tipo. Los procesos por los cuales se genera la forma arquitectónica son difíciles de ser descritos de un modo determinista y lineal, por lo cual pareciera pertinente una aproximación más cercana al enfoque de la complejidad, una aproximación que incorpore el estudio de las irregularidades geométricas, por lo que se planteará la geometría fractal como una herramienta que permita sustentar un punto de vista de esta realidad construida. Esto demanda situar también la geometría fractal dentro de nuestro campo arquitectónico, pues ella trae consigo un acervo de ideas y conceptos que pueden tener algún valor

¹ A. Fernández; La metrópoli vacía; p.169.

para nuestra investigación y que es necesario conocer para utilizarla adecuadamente como herramienta.

El trabajo ha sido estructurado en tres grandes partes:

- a) Una primera parte en que se aborda la generalidad del tema de realizar una investigación de seminario de este tipo, consistente en una exploración acerca de la experiencia de creación de un texto, de reconocimiento de hipótesis operativas básicas y acercamiento a nociones como realidad, estructura, pensamiento y creatividad, que constituyen la base de la investigación.
- b) Una segunda parte de marco teórico, en la cual se intenta situar la problemática dentro del pensamiento contemporáneo y recopilar las nociones necesarias que permitan abordar un problema arquitectónico.
- c) El desarrollo de una problemática arquitectónica a través de la conformación de hipótesis y la implementación de pruebas que permitan concluir si se encontró ese "algo" acerca de la cultura espacial porteña.

Capítulo 1

punto de vista

1. El texto como objeto de investigación

*"No me interesa aprender tanto como cambiar mi mente"
John Cage¹*

Es importante aclarar un poco que es lo que se persigue antes de comenzar la investigación, dar cuenta brevemente de cómo se ha abordado la elaboración de este seminario. En primer lugar, no se investigará buscando llegar a una verdad absoluta, ni se tratará de validar una teoría, sino más bien de generar un pensar capaz de *sustentar un punto de vista* acerca de la realidad construida en cuanto Arquitectura. No es tampoco de interés agotar un campo de estudio ni lograr un resultado trascendente, sino más bien contribuir con una visión propia a la apertura de nuevas interrogantes que complementen los caminos de investigación ya abiertos por los seminarios de la línea.

"No tengo intención de reducir mi desconcierto (aparte de que tampoco tengo los medios para hacerlo) sino tan sólo situarlo, de comprender el desbordamiento cuyo objeto es claramente la noción de lectura para mí"²

En este sentido, lo que importará ya no será tanto el *enunciado* en sí de la investigación - es decir, su producto o resultado -, como la *enunciación*, que es la producción misma del Texto. Es una manera de entrar en el mundo de la investigación con cierta humildad, sin buscar lograr una comprensión completa y acabada de la realidad, sino de aclarar en parte y de manera temporal, un trozo de ella, a través de la experiencia de su realización, con todos los cuestionamientos que ella implique y con todas las múltiples lecturas -desplazamientos- que de ella se desprendan.

¹ John Cage; documental de Films And Arts presentado en el taller de 3º del profesor Juan Luis Moraga.

² Roland Barthes; El Susurro del Lrnguaje; p.47.

"El éxito de una investigación - sobre todo si es textual, no depende de su "resultado", noción falaz, sino de la naturaleza reflexiva de su enunciación; en cualquier instante de su proceso, una investigación puede hacer volver el lenguaje sobre sí mismo y lograr así que ceda la mala fe del sabio: en una palabra puede desplazar al autor y al lector"¹.

En este ámbito, se puede decir que el objeto de investigación es en realidad el Texto, y a través de este es que se planteará una problemática. Una manera de entenderlo podría ser como una *travesía*², como un viaje que no será lineal, (como la concatenación de ideas del discurso científico) la cual se irá recorriendo "haciendo olas" del modo que sugiere Richard Armstrong en el siguiente relato:

"Según tengo entendido, si un marino va en un bote pequeño y la niebla le impide ver una boya indicadora de su ruta, lo que hace es describir rápidamente círculos pequeños en el bote, para poder producir oleaje suficiente que haga moverse la boya.

Luego se detiene, presta oído y vuelve a hacer lo descrito, hasta que oye la campana de la boya.

Levantando olas encuentra su rumbo.

A menudo, lo que se necesita para dar con estos indicadores es la voluntad de afrontar algunos riesgos de "hacer olas".

Una embarcación que permanece atracada no corre ningún riesgo, pero no llega a ningún lado"³

¹ Roland Barthes; El Susurro del lenguaje; p. 106.

² Roland Barthes; El Susurro del lenguaje; p. 77.

³ Marcos Avila; Seminario Arquitectura.

2. Hipótesis operativas

A pesar de que no se trata de hacer un texto científico, es indispensable precisar la vinculación de la ciencia con la investigación. Por un lado, será necesario recoger conceptos científicos requeridos por el tema mismo, y por otro lado, se aceptarán ciertas hipótesis filosóficas de la ciencia que permitan situar el punto de vista dentro de la realidad. Además el método científico es una herramienta que puede guiar el desarrollo de una investigación y conceder una estructura de presentación de esta.

Por ciencia entendemos *un intento de entender las relaciones del hombre con la naturaleza*¹. Con respecto a su objetivo podemos recoger las palabras de Einstein:

*“El objetivo de la ciencia es una comprensión tan completa como sea posible de la conexión entre las experiencias sensoriales en su totalidad y el logro de ese objetivo mediante el uso de un mínimo de conceptos primarios y de relaciones. (Mientras se busca, en la medida de lo posible, una unidad lógica en la imagen del mundo: es decir, una reducción en los elementos lógicos”*².

Hipótesis filosóficas de la ciencia

Aunque la ciencia no contiene explícitamente supuestos filosóficos sí se puede reconocer que la investigación científica presupone y controla ciertas e importantes hipótesis filosóficas, las cuales sientan la base de la investigación.

De esto no se debe inferir que la ciencia necesite de la filosofía como base filosófica, en el sentido que se necesite de una filosofía para convalidar las hipótesis científicas; no es el caso de que sea el filósofo quien tenga la última palabra sobre cuestiones de hecho. No se trata de basar la ciencia en la filosofía,

¹ David Bohm y David Peat; Ciencia Orden Y Creatividad; p.26.

² Albert Einstein; Teoría de la Relatividad; p.83.

ni a la inversa, sino más bien reconocer que ambas coexisten mutuamente, y que cada una parece progresar gracias al apoyo y a la crítica de la otra. Ciencia y Filosofía no son impermeables, la filosofía ha construido parte importante de la ciencia y a su vez se ha construido a sí misma con sus métodos, logros y fracasos. La visión y el entendimiento de las principales hipótesis (que se presentan a continuación, pero que no son las únicas que rigen la investigación científica) serán decisivas para lograr conformar una “visión de mundo” dentro de la cual se desarrolle esta investigación.

“...En primer lugar, la noción de verdad factual, o adecuación de un hecho a una proposición, contiene la noción de hecho objetivo; sólo la verdad formal, por ser una propiedad sintáctica puede ser independiente de los hechos. En segundo lugar, cuando se construye una hipótesis factual para cubrir un conjunto de hechos, se presume que los hechos son reales (actuales o posibles); no se pierde tiempo en la ciencia en dar razón a hechos inexistentes. En tercer lugar, ya las contrastaciones en búsqueda de la verdad factual de una hipótesis presuponen que hay algo fuera del mundo interno del sujeto y que concordará en alguna medida con la proposición en cuestión o discrepará de ella.”

Mario Bunge; La Investigación científica; p. 327.

1. **Realismo:** Aceptación de que la realidad del mundo externo es independiente del sujeto conocedor.

Como la investigación persigue atrapar un trozo de la realidad construida en cuanto Arquitectura, se considera que esta visión es fundamental para lograr una cierta objetividad en la investigación que evitaría caer en la subjetividad de una observación a partir del sujeto conocedor o de lo inconmensurable que se tornaría el tema si se considerara una visión desde la autopoiesis. El concepto de autopoiesis desarrollado por Humberto Maturana plantea una interpretación de los procesos cognitivos “no como un conocimiento de un mundo objetivo externo que existe independientemente del observador, sino como un acoplamiento estructural del observador como sistema viviente con su nicho ecológico”¹. Esto implica un relativismo de la existencia de la realidad que no permite establecer ningún tipo de hipótesis según lo planteado por Bunge y Einstein e introduce una serie de variables psico-biológicas inmanejables para la investigación. Esto no quiere decir que deseche la relación entre el observador y el objeto, sino que debemos tener en cuenta que nuestra visión del mundo se mantendrá siempre en el ámbito de la especulación, dadas las limitaciones de nuestra percepción sensorial y de nuestro propio pensamiento.

“La creencia en un mundo exterior, independiente del sujeto perceptor, es la base de toda ciencia natural. No obstante, dado que la percepción sensorial sólo brinda una información indirecta de ese mundo exterior o “realidad física”, únicamente podemos captar a esta última por medios especulativos. De aquí se

¹ H. Maturana, El Sentido de Lo Humano, p. 149.

concluye que nuestras nociones de la realidad física nunca podrán ser definidas”¹.

2. **Pluralismo:** Aceptación de que la realidad tiene una “estructura” de varios niveles. Esto permite un mayor acercamiento a la realidad, entendiéndola a través de sus partes, ya que como totalidad ella sobrepasa la capacidad de entendimiento del hombre.

“La ciencia moderna plantea que la realidad, tal como la conocemos hoy, no es un sólo bloque homogéneo, sino que se divide en varios niveles o sectores, caracterizado cada uno de ellos por un conjunto de propiedades y leyes propias”².

“La versión amplia del determinismo supone que

- i) *la hipótesis de que todos los acontecimientos son según leyes (principio de legalidad) y*
- ii) *La hipótesis de que nada nace de la nada ni se sume en ella (principio de negación de la magia). Este determinismo laxo no restringe los tipos de leyes admisibles: admite leyes estocásticas y reconoce la objetividad del azar. Lo único que niega es la existencia de acontecimientos que carezcan de ley o no sean producidos por otros acontecimientos anteriores.”*

Mario Bunge; La investigación científica; p. 323.

Pueden hacerse una serie de divisiones de estos niveles (por ejemplo físico, biológico, psicológico, sociocultural) e ir subdividiéndolos de manera cada vez más fina, considerando que ninguna de estas divisiones debe ser tajante y rígida, y que los límites entre una y otra se trastocan y modifican constantemente.

Es importante considerar que cada uno de estos niveles de segmentación de la realidad debe ser considerado como un enfoque que permita esclarecer el punto de vista. Para fijar este punto, viajaremos continuamente entre la filosofía, el arte y la ciencia, como un modo de aproximación a la Arquitectura, sin embargo, no se trata de determinar estos niveles ni muchos menos la Arquitectura misma, sólo se hará el intento de situar el problema.

3. **Determinismo Ontológico:** negación de la magia y aceptación de la determinación de las cosas y de los acontecimientos.

La investigación se dirige a la búsqueda de ciertas variables que interactúan entre sí para explicar algo acerca de la forma arquitectónica (por cierto se supone un determinismo más complejo que sólo relaciones causales). No se considerarán en ningún caso leyes en un sentido estricto, sino más bien hipótesis de carácter metodológico.

¹ Albert Einstein; Teoría de la Relatividad; p. 73.

² Mario Bunge; La investigación científica; p.321.

La aceptación de las leyes estocásticas permiten la posibilidad de reconocer un ordenamiento de un sistema caótico, es decir, que no presenta un comportamiento errático y sin explicación, sino que más bien puede ser estudiado de manera objetiva.

4. **El determinismo epistemológico:** Cognoscibilidad: Es la hipótesis programática de que toda cosa puede ser conocida con tal que atendamos a ella; que en principio es posible conocer agotadoramente los objetos presentes pasados y futuros.

“Esta forma de determinismo se abandonó de facto, si no de iure, en la segunda mitad del siglo XIX, al aparecer la física de los campos y la física estadística.”¹

A principios del siglo XIX el científico francés marqués de Laplace argumentó que el universo era completamente determinista; es decir, que debería existir un conjunto de leyes que nos permitirían predecir su comportamiento, con tal que conociéramos el estado completo del universo en un instante, por ejemplo, si supiéramos las posiciones del Sol y los planetas en un determinado momento, podríamos usar las leyes de Newton para calcular el estado del sistema solar en cualquier otro instante. El determinismo parece obvio en este caso, pero Laplace llevó esto más lejos hasta suponer que había leyes similares gobernando todos los fenómenos, incluso el comportamiento humano (el llamado optimismo Laplaciano). Esta doctrina, se mantuvo como el paradigma de la ciencia hasta los primeros años de nuestro siglo, llegando a su fin con el *principio de incertidumbre de Heisenberg*² el cual demuestra que no se pueden predecir los acontecimientos futuros con exactitud si ni siquiera se puede medir el estado presente del universo de forma precisa.

¹ Mario Bunge; La investigación científica; p. 324.

² Stephen Hawking, Historia del Tiempo; Capítulo 4 Principio de Incertidumbre, pag. 81

5. **Formalismo:** La autonomía de la lógica y la matemática.

La metodología de la investigación científica contienen o presuponen el uso de la lógica y de las matemáticas.

*“La lógica presupuesta por la ciencia factual no es sino una de las innumerables teorías lógicas posibles (consistentes): Es la llamada lógica ordinaria bivalente, o de dos valores. Las demás teorías lógicas son interesantes por sí mismas, pero no se aplican al análisis del discurso científico.”*¹

Esta lógica contiene las leyes de identidad y de no contradicción, así como la regla de separación, o modus ponendo ponens.

La lógica bivalente sustenta la metodología de la investigación científica. Pero los procesos creativos no necesariamente se ciñen a lo lógico bivalente y como esta investigación consiste precisamente en la creación de un Texto, no podemos aceptar en rigor que las cosas no se contradigan. Por tal motivo la investigación no será, en un sentido estricto una investigación científica. Si se adelantarán ciertas hipótesis, las cuales corresponderán a *“hipótesis factuales no científicas”*², pues, aunque éstas partan de los hechos, no necesariamente seguirán el camino deductivo del método científico.

De alguna manera, la investigación, podría acercarse a lo que Bunge denomina peyorativamente como una *pseudociencia*, en cuanto conocimiento técnico *“Es el conocimiento especializado, pero no-científico, que caracteriza las artes y las habilidades profesionales”*³, pero no es menester otorgarle esta ni ninguna otra clasificación sino que generar un pensar a través de una interdisciplinariedad entre varios enfoques, produciendo un texto sin clasificación, un texto, que como nos dice Barthes; *“que no pertenezca a nadie”*⁴.

¹ Mario Bunge; La Investigación Científica; p. 328.

² Mario Bunge; La Investigación Científica; p. 329.

³ Mario Bunge; La Investigación Científica; p. 54.

⁴ Roland Barthes; El Susurro del Lenguaje; p. 107.

3. Breve acercamiento a realidad

Hasta ahora, hemos siempre concebido la Arquitectura como un arte, ese ha sido el gran supuesto que sostiene nuestro pensamiento y que seguirá sustentando siempre nuestro hacer.

Como se constituye como un arte, no puede ser definida por o a través de la ciencia ni de la filosofía. No necesita una justificación externa a su propio ámbito, sin embargo, es conveniente para la elaboración del Texto considerar niveles externos a ella, dando una visión desde fuera, intentando captar la totalidad del objeto desde varios enfoques, en la búsqueda de una complejidad de pensamiento:

“Diferentes tipos de pensamiento y diferentes tipos de abstracción podrían proporcionar, juntos, una imagen más perfecta de la realidad. Todos tienen sus limitaciones, pero juntos llevan nuestro conocimiento de la realidad más lejos de lo que sería posible con un solo método”¹

Esto no quiere decir que se pueda recoger la totalidad del objeto materia a través de la interdisciplinariedad textual, pues siempre estaremos sobrepasados por la complejidad de la realidad, y aceptaremos que el conocimiento de ella estará, como dijo Einstein en un nivel especulativo, y que *“que implica que todo conocimiento, solo puede estar en un plano conjetural, nunca llegamos a alcanzar el estado divino del verdadero saber: la Epísteme (la verdad)”²*.

Todas estas pretensiones de explicación del mundo, de creación de hipótesis de los hechos se formalizan a través del lenguaje, “el lenguaje es el que enseña a definir al hombre y no al contrario”³, de modo que podríamos decir que lo que realmente nos importa no es encontrar el lenguaje de la realidad, sino buscar un lenguaje para entenderla.

¹ David Bohm y David Peat; Ciencia, Orden y Creatividad; p.18.

² Esteban Alvarado; seminario Investigaciones sobre Geometrías; p.20.

³ Roland Barthes; El susurro del lenguaje; p. 25.

Esto implica que cada vez que utilizamos el lenguaje para decir que un objeto es algo, ese objeto, en rigor, no lo es (principio de Korzybsky¹). Ya que esa definición, hipótesis o teoría acerca del objeto, estará siempre realizada a través del lenguaje, y no podremos nunca definir su totalidad. Porque el objeto es siempre más de lo que queremos decir y no podemos asumirlo completamente con nuestros conceptos, lo que reafirma su existencia objetiva independiente de nosotros. Además siempre existe la posibilidad de que el lenguaje desplace al autor y al lector². En este sentido, podemos aceptar el planteamiento de David Peat:

*“Cualquier teoría del universo debería contener la afirmación fundamental de que “esto no es un universo””*³.

Al respecto podemos pensar en el cuadro esto no es una pipa en el cual queda de manifiesto la incapacidad del lenguaje de hacerse de la sustancia del objeto y los posibles desplazamientos de lectura que pueden producirse.

Entonces es importante tener en cuenta que cada hipótesis y más aún, cada enunciado, es, en este sentido, una abstracción limitada e inacabada, una manera por la que el hombre se enfrenta al universo e intenta alcanzar la realidad. Realidad que intentaremos alcanzar sólo en parte, desde nuestra condición de especulación.



Esto no es una pipa
René Magritte.

¹ David Bohm y David Peat; Ciencia, Orden y Creatividad; p.17.

² Roland Barthes; El susurro del lenguaje; p. 106.

³ David Bohm y David Peat; Ciencia, Orden y Creatividad; p.18.

4. La noción de estructura

Si aceptamos que es posible entender nuestro conocimiento del mundo a partir de una lectura de la realidad, entendiéndola “*como un contorno autónomo, de capas distintas pero igualmente reales, que interactúan como una diversidad de escrituras*¹”, debemos preguntarnos cual es el espacio en el que esta se puede realizar, ya que sabemos que no se puede abarcar en ella todo el espacio de lo real. Al respecto Barthes nos aclara:

“...*Toda lectura se da en el interior de una estructura (por múltiple y abierta que ésta sea) y no en el espacio presuntamente libre de una presunta espontaneidad: no hay lectura “natural”, “salvaje”: la lectura no desborda la estructura; está sometida a ella, la respeta; pero también la pervierte*².”

Según Pierre Daix el arte es una problemática “*propia de la investigación estructural*³”, en la cual se instaura una especificidad, una *inmanencia* de la obra de arte; “*aquello que hace precisamente que esa obra sea arte*⁴”. La validez de la obra ya no depende de la forma en que ella nos dé cuenta de una realidad (histórica, psicológica o sociológica) sino que debe buscarse en su propia manera de ser, lo que no implica una devaluación de la autonomía individual o un desprecio por la historia, sino que toma en consideración todas las variantes halladas en el estudio de un fenómeno determinado.

En un primer acercamiento podemos decir “*que estructura es un modelo construido en virtud de operaciones simplificadoras que permiten uniformar fenómenos diversos bajo un mismo punto de vista*⁵” y precisamente lo que se está tratando de establecer es ese punto de vista. Su determinación puede ser aclarada con el concepto de estructura, cuando la noción de estructura deja de ser banal. El

¹ Esteban Alvarado; seminario Investigaciones sobre Geometrías; p.20.

² Roland Barthes; El susurro del lenguaje; p. 42.

³ Pierre Daix; Las Claves del Estructuralismo: p.7.

⁴ Pierre Daix; Las Claves del Estructuralismo: p.8.

⁵ Umberto Eco; La estructura ausente, pag.68

aporte del modelo estructural para la investigación es “*un proceso de desbanalización, de limitación de sentido, de aprehensión de una emergencia*¹”.

La noción de estructura establece “*en lugar de una física de las cosas una física de las relaciones en la que el hombre deja de tomarse como referencia*²”. El uso de la estructura se dirige a constituir hechos científicos independientes del sujeto observador, para romper la contradicción del hombre como objeto de estudio y observador simultáneo (la cual es mucho más evidente en las ciencias humanas).

“En una primera aproximación podemos decir que una estructura es un sistema de transformaciones, que en tanto sistema implica leyes (por oposición a las propiedades de los elementos) y que se conserva y enriquece mediante el juego de estas transformaciones, sin que éstas concluyan fuera de sus fronteras, o llamando elementos exteriores. En una palabra, una estructura implica, en este sentido, los tres caracteres siguientes: de totalidad, de transformaciones y de autocontrol.”

Jean Piaget, Ensayo Que sais-je, Las claves del estructuralismo, p.38.

Piaget nos entrega una definición que plantea el concepto de estructura como algo cambiante, como un sistema de transformaciones, totalidad y autocontrol, definición de interés, ya que suele considerarse que las estructuras son estáticas y más o menos completas en sí mismas.

Piaget además agrega que “*en una segunda aproximación una estructura tiene que poder dar lugar a una formalización*³” es decir un modelo o ecuación con un conjunto de reglas que relacionen sus magnitudes con las observaciones realizadas.

El concepto de estructura comparte con la arquitectura a estudiar las características que según Piaget la definen:

“...un principio de indeterminación, que hace que se entienda el concepto de totalidad vinculado a sentido de unidad y no de unitario, generado por las propiedades del habitar.

El concepto de transformación vinculado a un sentido de cambio constante e imprevisto, tanto formal como de cualidad de lugar.

Finalmente el concepto de autocontrol, en el cual, podemos leer una regla de construcción que determina un límite o frontera de ese habitar generado desde sus propias restricciones.³”

¹ Pierre Daix; Las Claves del Estructuralismo: p. 17.

² Pierre Daix; Las Claves del Estructuralismo: p. 26.

³ Esteban Alvarado; seminario Investigaciones sobre Geometrías; p.30.

“una investigación tiene sentido solamente si la estructura del campo semiótico es asumida como entidad imprecisa que el método se propone aclarar (provocando continuamente sus contradicciones). No tiene sentido si la estructura establecida por deducción se considera “verdadera”, “objetiva” y “definitiva”. En tal caso la semiótica como investigación, como método, adquiere tres caracteres negativos:

a) está terminada en el momento mismo en que nace.

b) Es un razonamiento que excluye todos los razonamientos sucesivos y pretende ser absoluto.

c) no es un método de aproximación continuo de un campo disciplinario ni una disciplina científica, sino una filosofía, en el sentido más denigrante del término” .

Umberto Eco; La estructura ausente, pag.339.

El uso del modelo estructural debe entenderse como un procedimiento operativo, pues *“la noción de estructura no implica ninguna afirmación de carácter ontológico¹”*. En este sentido, podemos aceptar la afirmación de Bridgman:

“El modelo es un instrumento del pensamiento útil e inevitable, por cuanto nos permite pensar en cosas que no nos son familiares en términos de cosas que nos son familiares²”

El modo de recoger el modelo estructural debe ser como una herramienta que ayude a ir precisando el tema, pero por aproximaciones. Considerarlo como la estructura objetiva del campo de estudio, no permitiría abrir el tema, lo presentaría ya terminado en su inicio.

Para utilizar correctamente el modelo estructural no es necesario creer que su elección está determinada por el objeto, sino que es suficiente saber que ha sido elegida por el método. La utilización de la estructura para la formación de hipótesis no se pronuncia sobre la naturaleza o la sustancia del objeto estudiado, como una forma de guardarse de no caer en una metafísica o en una filosofía (más que eso en una ideología), en este sentido, podemos reafirmar la hipótesis de Peat; *“Cualquier teoría del universo debería contener la afirmación fundamental de que “esto no es un universo”³”*. Para lograrlo, no debemos confundir *el método científicamente legítimo* con *el método empíricamente adecuado⁴* . El espíritu a seguir es el de evitar la tentación de individualizar estructuras homólogas en hechos diversos y considerarlas estables y objetivas y sobre todo, verdaderas.

¹ Umberto Eco; La estructura ausente, pag.338.

² Umberto Eco; La estructura ausente, pag.399.

³ David Bohm y David Peat; Ciencia, Orden y Creatividad; p.18.

⁴ Umberto Eco; La estructura ausente, p. 402.

5. Pensamiento y creatividad

El pensamiento como juego

Para poder entrar en un camino de creación es fundamental el deseo de crear y la capacidad de desarrollo de un pensamiento creativo, de un pensamiento que sea capaz de jugar consigo mismo. Se considera que el juego es un proceso fundamental en la formación de hipótesis e ideas nuevas. Según Peat y Bohm “...el juego forma parte de la esencia misma del pensamiento.¹”

“La esencia de este juego es que nada se da por sentado de manera absolutamente invariable, y que sus resultados y conclusiones no pueden saberse de antemano. En otras palabras, una persona creativa no sabe exactamente lo que está buscando. Y en dicho juego no tenemos la seguridad de que los nuevos hallazgos sean siempre diferentes, o que puedan hallarse relacionados con el núcleo significativo de la estructura anterior.”

David Bohm y David Peat; Ciencia, Orden y Creatividad;
p. 62.

Podemos referirnos al pensamiento creativo como un juego tanto en una pintura, escultura o teatro como en Arquitectura. Incluso en la ciencia (podríamos recordar la famosa apócrifa anécdota de la manzana que habría caído sobre Newton y que le habría permitido cuestionar la diferencia entre materia celeste y terrestre que le permitió percibir la gravitación universal). Jugar de manera libre y creativa con las ideas ayuda a que el pensamiento adopte nuevos y más originales caminos. El relato de Amstrong es una invitación explícita a este juego, a este camino desconocido, en el que es necesario, como fue planteado en el taller de 3º año del Profesor Juan Luis Moraga:

*“Trabajar en la incertidumbre más que con certeza.
Tener una verdadera capacidad de asombro.”*

Esto da cuenta que el juego es también una relación adecuada entre el pensamiento y la experiencia, recogiendo parte de ella a través de la *observación*², la cual se constituye como un punto de vista original que intenta explicar parte de la realidad. Dentro de este marco de un pensamiento creativo, Peat y Bohm han planteado la idea de “percepción metafórica³” como un elemento fundamental en

¹ David Bohm y David Peat; Ciencia, Orden y Creatividad; p. 60.

² Consultar Esteban Alvarado; seminario Investigaciones sobre Geometrías; p. 14.

³ David Bohm y David Peat; Ciencia, Orden y Creatividad; p. 42.

el proceso de desarrollo de una observación o de una teoría creativa, la cual se acerca bastante al modo en que se trabaja en taller.

Percepción metafórica

Una manera de entender la idea es aproximarse a través de algunas metáforas que Shakespeare utiliza en sus obras. En ellas muchos de sus diálogos comienzan con la representación aguda de una metáfora, con la que carga al oyente con una alta energía perceptiva, para ir desarrollando luego un significado interno de ella a través de la obra, en una exploración de los sutiles parecidos y diferencias de sus términos:

El mundo es todo un escenario
Y en él, hombres y mujeres son todos unos actores.

As You Like It

La vida no es sino una sombra errante, un mísero actor
Que se contonea y consume sus horas sobre el escenario.

Macbeth

Con el uso de la palabra es, Shakespeare pone en relación cosas bastante distintas e incluso incompatibles, conformando una paradoja en una primera impresión. Si consideramos que A es “el mundo” y B “un escenario” la metáfora toma la forma de $A=B$, pero el sentido común apunta que la vida no es un escenario y por tanto $A \neq B$. La metáfora produce igualación y negación de ideas y conceptos, de forma simultánea. En las palabras de Jack en *As You Like It*, la idea de la metáfora se desarrolla de la comparación de la vida y el escenario a través de un juego entre los significantes de A y B del que surge un nuevo sentido del texto; una nueva visión distinta a $A=B$ y $A \neq B$, en la que las personas son como los actores sobre un escenario y sus vidas sólo una serie de escenas de una obra. Lo anterior es también válido para el fragmento de *Macbeth*, sólo que adquiere un carácter más complejo. Al leer estas obras de Shakespeare podemos darnos cuenta que las metáforas comienzan cada acto y que se van desarrollando a medida que transcurre la historia, adquiriendo sentido en el juego de los significantes: *“Los significantes adquieren significados adecuados solamente por*

la interacción contextual; a la luz del contexto se reaniman por medio de clarificaciones y ambigüedades sucesivas; nos remiten a un determinado significado pero al hacerlo aparecen otras interpretaciones¹”.

Con respecto al significante el mismo Barthes nos dice: “*por esta palabra entiendo una operación más metafórica que analítica²”* y nos lo plantea como una fuente de búsqueda lúdica de nuevos sentidos en la materia misma; el texto:

“¿Qué se puede hacer con ese dichoso significante que no sea sumergirse en él, bucear lejos del significado, en la materia, en el texto?³” .

A través de este juego entre significantes podemos entender un poco más acerca de la elaboración del texto desde una perspectiva creativa que da luces del modo de realizar la travesía, de esa manera de "hacer olas".

¹ Umberto Eco; La estructura ausente, p. 162.

² Roland Barthes; El susurro del lenguaje; p. 96.

³ Roland Barthes; El susurro del lenguaje; p. 97.

6. Precisiones acerca de la observación

Podemos retomar nuevamente el ejemplo de Newton para visualizar el proceso creativo; en una primera fase podríamos expresar en forma metafórica que “la luna es una manzana” que podemos desplazar a “la luna es una tierra”. En una segunda fase se puede evidenciar que esos objetos son semejantes en el sentido que se atraen mutuamente y obedecen a las mismas leyes. Esta fase, es un acercamiento explícito, pero aún no logra sobrepasar el plano de lo cualitativo (es inconmensurable). La última fase es la búsqueda de la medida que permita trasponer la metáfora, que en este caso es por medio de la aplicación del lenguaje matemático. También podríamos citar la leyenda de Arquímedes, en que la percepción visual de la subida del agua en la bañera cuando se sumergía en ella, desató el acto creativo. Su observación sustancial es que el volumen de un objeto es igual al agua que desplaza.

En los casos anteriores, la observación creativa ha partido de una percepción metafórica, incluso poética de un hecho de la realidad y se ha ido desarrollando en el juego de sus significantes, estructurándose poco a poco, quedando terminada al poder ser medida a través del lenguaje. La observación en este sentido puede nacer de la poesía, pero de una poesía de lo concreto; de la experiencia de las cosas reales de la existencia. Ahora es importante destacar que muchas de estas observaciones pueden partir de los detalles aparentemente insignificantes e incluso superfluos, de pequeños instantes que abren un mundo. Lo que además reafirma el planteamiento de que la realidad es independiente del sujeto conocedor.

Esta perspectiva es la que marcará el rumbo de la investigación; la de una búsqueda de las pequeñas cosas que abren un mundo de interrogantes que intentaremos situar a través del lenguaje, pese a todas sus limitaciones.

7. Hacia un Pensar Arquitectural

Dentro del ámbito del pensamiento creativo se puede reconocer una categoría especial: El pensar Arquitectural, planteado en los términos de Derridá como “una posibilidad del pensamiento, que no puede ser reducida al status de representación del pensamiento¹” (. Es decir, no nos referimos a una arquitectura como formalización de alguna teoría (o ideología), sino a plantear la arquitectura como una forma de pensar perteneciente al “*momento arquitectural, al deseo , a la creación*”². Implica la unión entre el teorema y la praxis, un modo que es pensar y hacer al mismo tiempo. El acto de creación mismo es el fruto del trabajo tanto de la mente, como del cuerpo de manera indisoluble y simultánea.

Este pensar se entiende como un camino de creación, “*camino que no está por descubrirse, sino por crearse*”³ y que vamos recorriendo por aproximaciones, como en el relato de Amstrong, siendo una forma de *pionerismo*. Demás está decir en este momento que el camino a recorrer no es lineal y que aceptamos (y requerimos) la noción del juego de los significantes como una manera de recorrerlo. Y precisamente la realidad de la materia significativa es la que más nos interesa, la realidad de las cosas concretas que permiten construir, no de los significados metafísicos e ideológicos. E. Alvarado aclara: “*Todo referente arquitectural en la medida que se aleja de sus códigos de significado (lo que no querrá decir que no se le den significados), es constructor de un pensar arquitectural*”⁴.

Por último se debe tener claro que esta investigación, al ser de naturaleza textual, sólo puede desarrollarse en el ámbito teórico y no puede constituirse como un pensar arquitectural con propiedad pues deja fuera la praxis. Sin

¹ Entrevista a J. Derrida realizada por Eva Mayer; revista Domus 1986.

² Entrevista a J. Derrida realizada por Eva Mayer; revista Domus 1986.

³ Entrevista a J. Derrida realizada por Eva Mayer; revista Domus 1986.

⁴ Esteban Alvarado; seminario Investigaciones sobre Geometrías; p. 8.

embargo lo que persigue es encontrar nuevas luces que orienten el camino de creación:

“El camino no es un método, esto debe quedar claro. El método es una técnica, un procedimiento para ganar el control del camino¹”.

En este sentido, se investigará acerca de la geometría como método, la cual es una técnica esencial en la producción de arquitectura. Por este motivo se considera que plantear nuevas visiones y herramientas geométricas puede permitir otras posibilidades del método y ayudar a recorrer este interminable camino que es la arquitectura.

¹ Entrevista a J. Derrida realizada por Eva Mayer; revista Domus 1986.

Capítulo 2

marco teórico

1. Algunos aspectos relevantes del pensamiento contemporáneo

La elaboración de esta investigación como un texto parte de una visión que engloba ciertos aspectos del pensamiento contemporáneo, de las ciencias, la filosofía y la arquitectura que son relevantes para el desarrollo del tema.

“...la experiencia contemporánea, la de toda la arquitectura del siglo XX, ya no puede ser leída hoy en una forma lineal. Por el contrario, se nos presenta como una experiencia pluriforme, compleja en la que es lícito seccionar en diversas direcciones y recorridos no sólo de arriba abajo, del comienzo al fin, sino también transversales, oblicuos o en diagonal. Porque, de alguna manera, esa experiencia diversa plural, de la arquitectura del siglo XX, permite sólo a través de aproximaciones de este destejer, deshacer la complejidad intrínseca de la propia experiencia moderna.¹”

En esta visión se asume la experiencia de la realidad con toda su complejidad y contradicción, dentro de la cual el texto, entendido como travesía, irá seccionándola en todos los sentidos, de arriba a abajo, de un lado al otro y en forma oblicua. Dichos recortes² son aproximaciones a la realidad y al problema mismo, y constituyen el tejido que se ha considerado como marco teórico. Cada recorte constituye sólo algunos aspectos del tema que se han recogido dada la vinculación con la problemática principal.

¹ Ignasi de Solá M. Arquitectura Débil; p.65

² aceptamos por recorte la posibilidad de estructuración de un tipo de pensamiento, aún siendo borroso planteado, por E. Alvarado en Investigaciones sobre geometrías; pag. 20 primera parte

1. El fin de la armonía cósmica

Hoy en día, no cabe duda de que las manifestaciones artísticas, tanto literarias como pictóricas y arquitectónicas, ya no pueden producirse a partir de la noción de un sistema único.

Es el mismo Friedrich-Wilhelm Nietzsche quien genera la crisis del pensamiento moderno al declarar “la muerte de Dios”, que no sólo anuncia la muerte de la divinidad como una fuente de verdad más allá de nuestra comprensión, sino que involucra “*la desaparición de cualquier tipo de referencia absoluta que de algún modo coordine, “cierre” el sistema de nuestros conocimientos y de nuestros valores, a la hora de articularlos en una visión global de la realidad*”¹. Con esto, se rompe el esquema de pensamiento en el cual se planteaba una armonía última, una esperanza de explicación única del mundo. Tanto Nietzsche como Marx propusieron una visión de una realidad en conflicto, en la cual no hay una idea o intención de abarcarla con un proyecto totalizante.

Por otro lado, debemos considerar la disolución del hombre como el sujeto de referencia del conocimiento (Ver apartado anterior). Incluso Mikel Dufrenne nos declara: “*Después de la muerte de Dios, por caminos conocidos, la nueva filosofía proclama la muerte del matador, la liquidación del hombre*”², es decir el reconocimiento de la impotencia del hombre para comprender un universo fuera de él y que rige hasta sus deseos, su conciencia, aquello que él denomina su *libertad*³, lo que le prohíbe la situación de *sujeto trascendental*⁴.

Por otro lado, la ciencia misma, ha avalado esta crisis entre la realidad del universo y la existencia del fundamento único. Si bien, la ciencia ha puesto de manifiesto el fin del antropocentrismo, ha llegado más allá al desechar la posibilidad del fundamento único –la verdad última- del universo, especialmente en el campo de la física, en la cual la crisis empieza con el fracaso de la teoría



Ilustración medieval de Cristo utilizando un compás para reconstituir la creación del universo a partir del caos primigenio. La Divinidad, la Verdad, se construyen en la armonía de una geometría sagrada.

¹ Ignasi de Solá M. Arquitectura Débil; p.66

² P.Daix; Las Claves del Estructuralismo; p.28

³ P.Daix; Las Claves del Estructuralismo; p.31

⁴ P.Daix; Las Claves del Estructuralismo; p.30

“Hubo la gran época de la filosofía contemporánea, la de Sartre, la de Merleau-Ponty, en la que un texto filosófico, un texto teórico, debía finalmente decirnos lo que era finalmente la vida, la sexualidad, si Dios existe o si Dios no existe, lo que era la libertad, lo que era necesario hacer en la vida política, cómo comportarse con otro, etc. Se tiene la impresión de que en la actualidad esta clase de filosofía no puede desarrollarse; o si quereis, que si bien la filosofía no se ha volatilizado, al menos se ha dispersado, que hay un trabajo teórico que se conjuga en plural... Y es aquí, finalmente, en esta especie de pluralidad del trabajo teórico donde se realiza una filosofía que aún no ha encontrado su pensador único y su discurso unitario”

M. Foucault ; Las Claves del Estructuralismo p.16

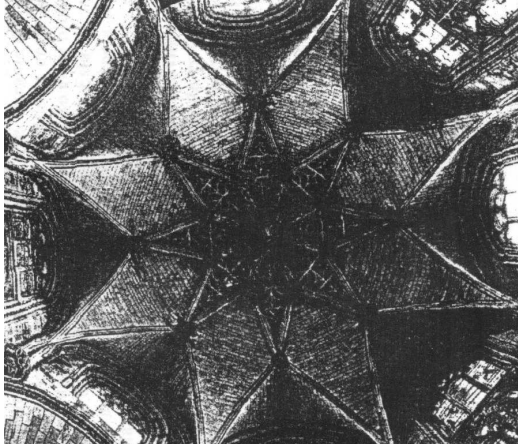
unificadora que en un inicio pretendió ser la teoría de la relatividad con la teoría cuántica (que ya venía siendo estudiada desde el 1900 por Max Planck). La aparición de la teoría de la relatividad de Einstein no sólo planteó la relatividad de la masa y el tiempo, argumentando que la única constante universal es la velocidad de la luz, (con todas las implicancias metafísicas que pudiesen desprenderse) sino que demostró que los principios físicos que rigen el comportamiento del universo a gran escala son incompatibles (al menos desde un punto de vista matemático) con los de la pequeña escala, lo que implica una imposibilidad de una unificación de la física, una imposibilidad de encontrar las leyes últimas del universo.¹

“Algunos físicos, y yo mismo entre ellos, no pueden creer que debemos abandonar para siempre la idea de una representación directa de la realidad física en el espacio y en el tiempo, o que tengamos que aceptar el criterio que sostiene que los sucesos naturales son análogos a un juego de azar. Cada hombre debe elegir la dirección de sus esfuerzos; y también cada hombre debe encontrar solaz en la magnífica frase de Lessing quien asegura que la búsqueda de la verdad es más preciosa que su posesión.”²

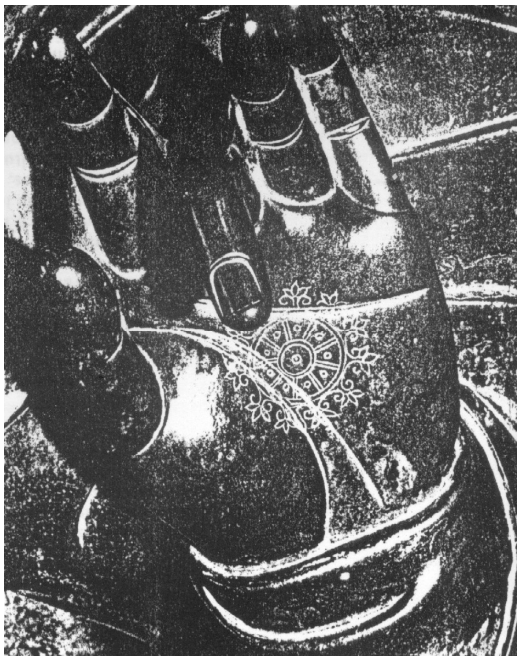
Quizá la manera más justa de referirse al cambio producido por esta crisis es, en palabras de Foucault, la de *un pensamiento sin fin ni centro*. Crisis que caracteriza el estado cultural contemporáneo; el de un pensamiento sin una única filosofía y sin una verdad, más bien un pensamiento colectivo que opta por la diversidad.

¹ Los científicos actuales describen el universo a través de dos teorías parciales fundamentales: la teoría de la relatividad general y la mecánica cuántica. Ellas constituyen el gran logro de la primera mitad del siglo XX. La teoría de la relatividad general describe la fuerza de la gravedad y la estructura a gran escala del universo, es decir, la estructura a escalas que van desde sólo unos pocos kilómetros hasta un billón de billones (un 1 con 24 ceros detrás) de kilómetros, el tamaño del universo observable. La mecánica cuántica, por el contrario, se ocupa de los fenómenos a escalas extremadamente pequeñas, tales como la billonésima de un centímetro. Desgraciadamente, sin embargo, se sabe que estas dos teorías son inconsistentes entre sí: ambas no pueden ser correctas a la vez.. S. Hawking, Historia del tiempo; p. 30.

²Albert Einstein; Teoría de la Relatividad. p. 118 y 119²



Una de las aplicaciones más sorprendente del mandala aparece en las cúpulas islámicas y cristianas.

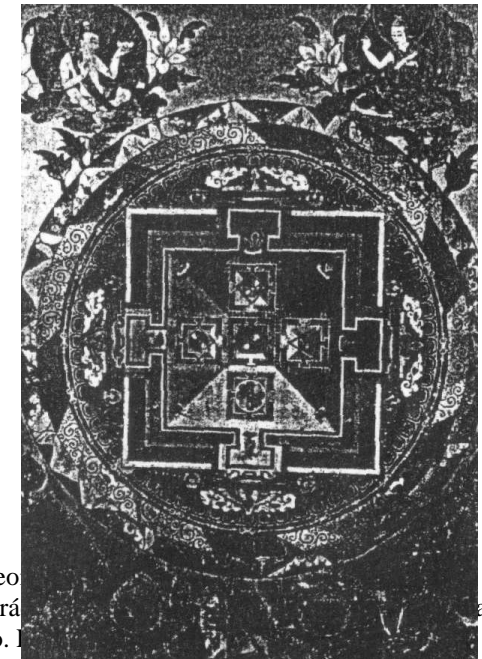


El mandala está inscrito en la mano de una deidad budista japonesa que expresa los primeros pensamientos de Dios, los cuales se convierten en actividades y actos a través de la voluntad, simbolizada en la mano.

Inevitablemente, esta pérdida de la esperanza de la armonía global genera también la pérdida, en el ámbito del arte, de un proyecto artístico que se producía desde un propósito de representación de la realidad unificada y organizada. El mismo Foucault plantea esta temática en *Les most et les choses*, en donde explica con profundidad el sistema de representación perteneciente al episteme de la edad clásica: *Una cierta manera de articular el mundo de lo visual y por tanto también de la arquitectura según la cual esa articulación se producía representando una visión del universo cerrado y completo como totalidad acabada*¹.

Ya sea dentro de la cultura oriental u occidental, la idea de la unificación del universo había estado siempre presente a lo largo de la historia del arte, no sólo en una representación simbólica, sino también de manera subyacente en la estructuración geométrica de las obras de arte; a través de lo que podríamos denominar como *una geometría sagrada, metáfora del orden universal*². Por ejemplo, tanto en la India, como en el Islam, el Tíbet y la Europa medieval, incluso en algunas culturas tribales, podemos encontrar el mandala circular o diagrama sagrado como una imagen familiar omnipresente en nuestra cultura.

Los mandalas son diagramas que suelen estar basados en la división del círculo en cuatro cuartos, y todas las partes o elementos implicados están interrelacionados en un diseño unificado. Generalmente son en cierta forma cosmológicos, es decir que representan un símbolo que se considera ser la estructura general del universo, como las 4 direcciones espaciales, los doce signos del zodiaco, algunas divinidades y al hombre mismo.

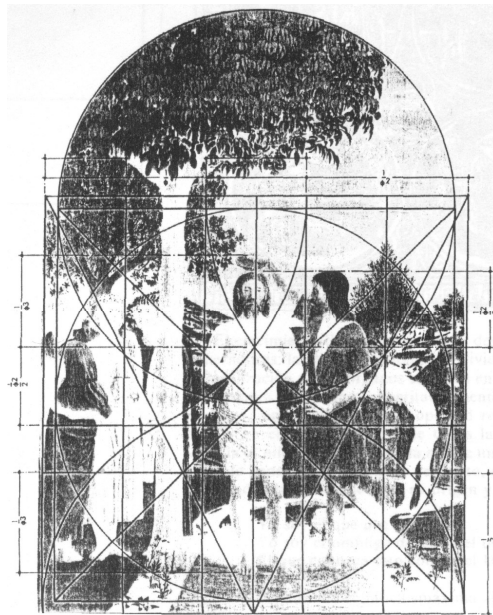


¹ Ignasi de Solá Morales; *Arquitectura Débil*; p.66

² Este tema ha sido tratado en extenso en el libro *Geometría Sagrada*, en el cual se explica desde un punto de vista filosófico, práctico y simbólico, cómo el mandala como producto de una visión armónica del universo. La metáfora del orden universal da nombre al capítulo 2 del libro, p. 16

	Aristas	Carras	Volúmenes	Superficie
Tetraedro	6	4	4	$\sqrt{2}$
Octaedro	12	8	6	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
Cubo	12	6	8	1
Icosaedro	30	20	12	$\frac{1}{3}$
Dodecaedro	30	12	20	$\frac{1}{5}$

Los cinco sólidos platónicos.

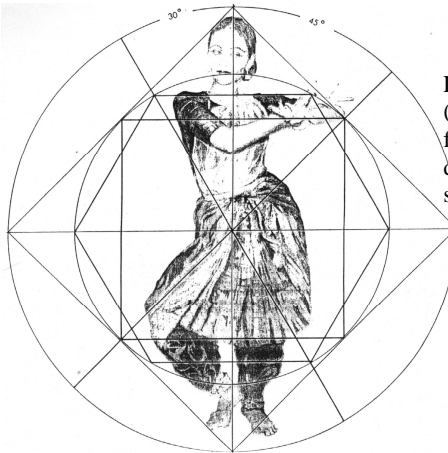


El *Bautismo de Cristo*, de Piero de la Francesca, se basa en el simbolismo geométrico de la proporción áurea, al igual que la Santísima Trinidad.

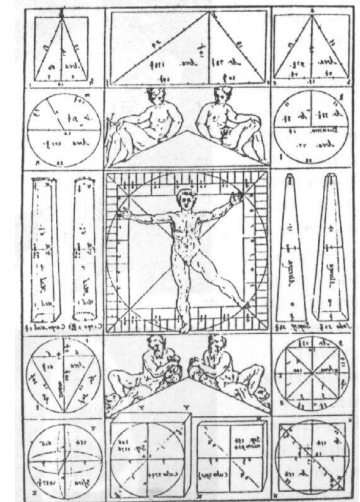
Lo más notable y constante de esta imagen es que expresa la noción de cosmos, es decir de la realidad concebida como un todo organizado y unificado.¹

“...el punto de partida del antiguo pensamiento geométrico no es una red de definiciones o abstracciones intelectuales, sino más bien una meditación sobre una unidad metafísica, seguida de un intento por simbolizar visualmente y contemplar el orden puro y formal que surge de esta incomprensible unicidad”².

Podríamos recordar también a los griegos y los sólidos “platónicos” ya que se supone que Platón los tenía presentes en *Timeo*, el *dialogo que esboza una cosmología mediante la metáfora de la geometría plana y los sólidos*³. En este diálogo se establece los 4 elementos básicos; la tierra, el aire, el fuego y el agua, y que cada uno de ellos está relacionados con una de las figuras sólidas (el dodecaedro estaba asociado con el quinto elemento, el éter). Según Platón el hacedor del universo creó el orden a partir del caos primordial de estos elementos por medio de las formas y los números esenciales. Entonces estos sólidos *tienen en sí mismos, y a través de su analogía con los elementos, el poder de dar forma el mundo material*⁴. Es esta también una cosmovisión, en la cual las formas y



Las posturas de la danza clásica hindú (Bharat Natyam) definen una geometría fundamental que se atribuye a diferentes deidades y que están destinadas a transmitir sus poderes característicos.



En la ciencia antigua la visión antropocósmica era la base de la filosofía astrológica. En este dibujo renacentista, el cuerpo del hombre es puesto en relación con las importantes proporciones de las formas geométricas universales.

¹ R. Lawlor; *Geometría Sagrada*; p.16

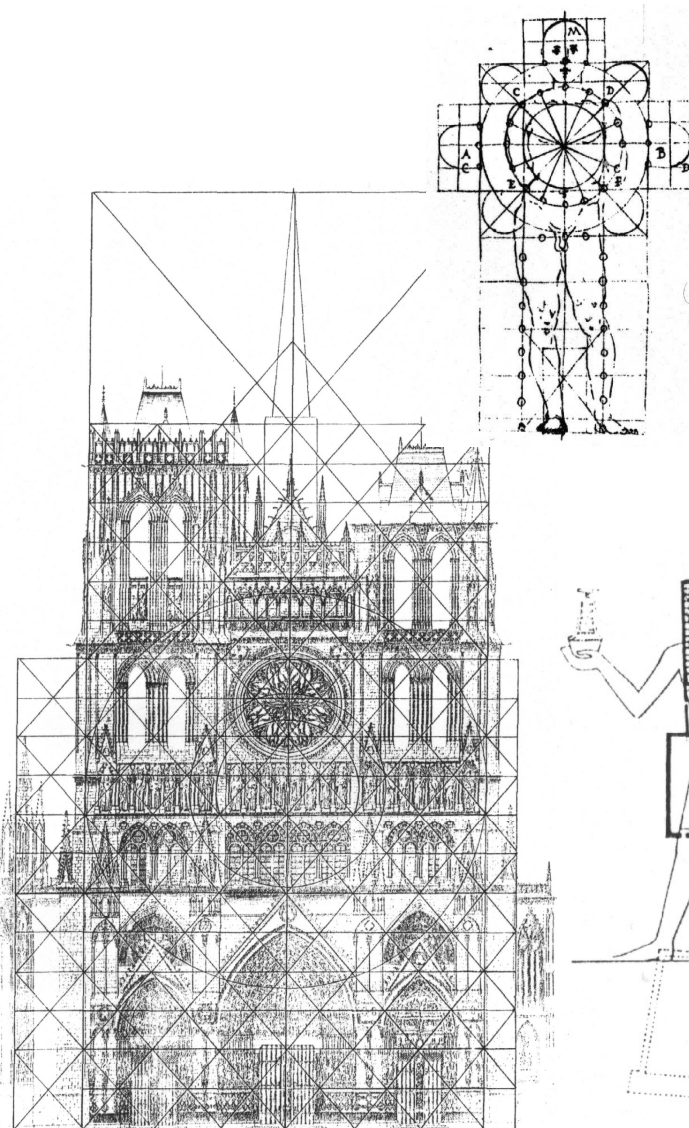
² R. Lawlor; *Geometría Sagrada*; p.16

³ R. Lawlor; *Geometría Sagrada*; p.96

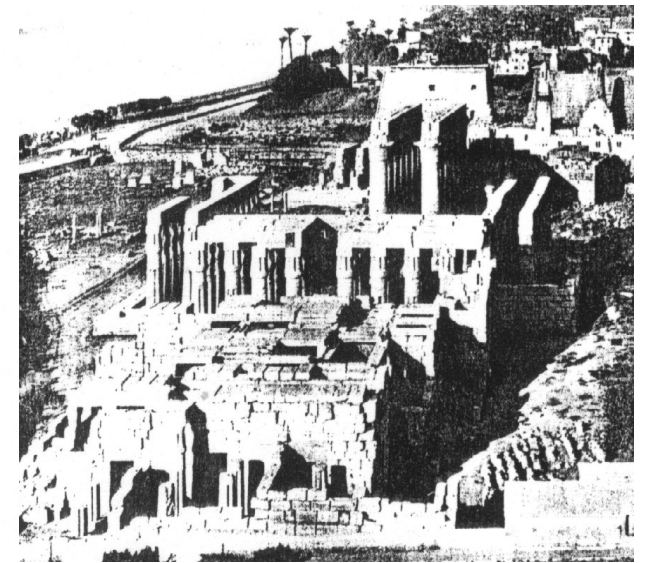
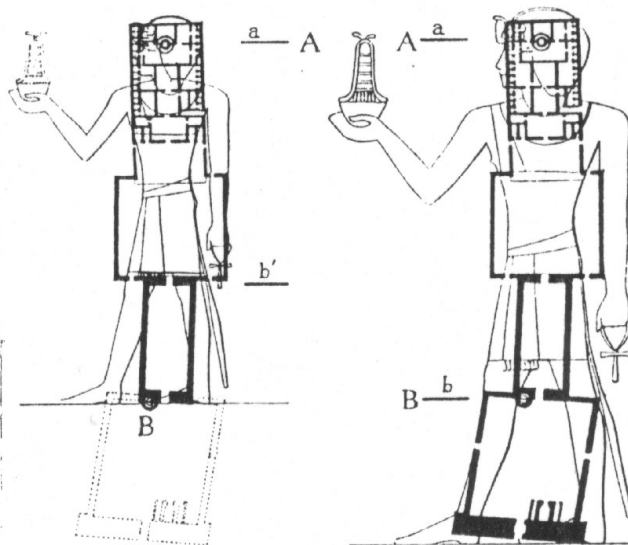
⁴ R. Lawlor; *Geometría Sagrada*; p.96

números esenciales actúan como una interconexión entre el reino superior y el reino inferior.

Pero quizá la cosmovisión geométrica más significativa en nuestra cultura corresponde a una visión *antropocósmica*¹ del universo, dado que en nuestra tradición judeo cristiana, el hombre es creado a imagen y semejanza de Dios, por lo que fue considerado como el objeto de medida del universo, incluso después del cambio del sistema teocéntrico al antropocéntrico. Pero esta visión subyace desde más antiguo en una serie de civilizaciones, desde la egipcia y la hindú, extendiéndose hasta después del renacimiento, no olvidemos que *el hombre del siglo XIX es Dios encarnado en la humanidad*². Se caracteriza por la representación del hombre como centro del universo a través de un sistema de proporciones universales que regían los cánones de la métrica del canto y la poesía, los movimientos de la danza, la artesanía, el arte y la arquitectura.



El hombre universal o cósmico, del que Cristo era una encarnación estructura geoméricamente la catedral gótica de Amiens.



En Egipto, el rey era la representación terrenal del principio antropocósmico, y sirvió de modelo para la construcción del templo de Luxor.

¹ R. Lawlor; Geometría Sagrada; p.90

² P. Daix; Las Claves del Estructuralismo, p.30

1.2. Cosmovisión y Cosmología

La crisis del pensamiento moderno, de este pensamiento sin fin ni centro, rompe la posibilidad de explicación de la realidad como un cosmos (aceptando cosmos en los términos planteados anteriormente; la realidad concebida como un todo organizado y unificado) lo que lleva irremediablemente al fin de la representación de la armonía cósmica mediante la geometría. El arte opta por la diversidad y la obra se hace *inmanente*¹, es decir, pierde su valorización como objeto representativo (de la realidad histórica, psicológica, sociológica, o del autor) y se centra su estudio en aquello que hace que sea arte.

Para enfocarnos entonces en nuestro estudio, lo que se hará es considerar esta visión de pensamiento sin fin ni centro, lo que implica que no nos adscribiremos a ninguna cosmovisión:

No buscaremos ni el fin ni el centro. Esto no significa que se desechen estos enfoques, sino que se tendrá una actitud escéptica; una rebeldía intelectual a encontrar explicaciones absolutas y conformarnos con ellas. Lo que involucra también un escepticismo frente al positivismo.

“El positivismo entiende que su óptica no es sólo la mejor, sino también el fruto inevitable y último del desarrollo del pensamiento: toda la historia pasada asume la forma de un largo balbuceo, de un peregrinaje que encuentra su término y su sosiego en la cosmovisión positivista.”²

Hoy por hoy, sabemos que es imposible predecir el futuro, si ni siquiera podemos entender el presente. La perspectiva de la investigación es siempre de reconocer la imposibilidad intrínseca del hombre de aprehender la realidad en su totalidad, de reconocer las limitaciones del conocimiento, de cuidarnos de no caer en el determinismo. La ciencia actual ha entrado en el ámbito de la especulación, de la complejidad, y en este sentido, es bastante difícil pensar hoy en el positivismo como la culminación del pensamiento.

“Toda cosmovisión, secreto o manifiesto, tiene condición de absoluto. Quien vive su entorno desde una cosmovisión tendrá poblado el ánimo de preferencias de respuestas, de negaciones, olvidos, tercas hostilidades; sentirá que sus actitudes están justificadas; que en su obrar, pensar o sentir late la humanidad entera. Y si ésta no participa de sus fervores, diagnosticará su anomalía lisa y llana. Cualquier cosmovisión pretende ser válida sobre las restantes porque se atribuye el hallazgo de una perspectiva que se cree más valiosa.”

J .Estrella, La filosofía y sus formas anómalas, p.86

¹ P. Daix; Las Claves del Estructuralismo, p.8

² J .Estrella, La filosofía y sus formas anómalas, p.86

“La ciencia conoce leyes. Paradójicamente el positivismo antimetafísico valorará en ellas algo que tienen de metafísico; la posibilidad de predecir el futuro, de anticiparnos a lo que ocurrirá en ese tiempo que no vivimos, conociendo cómo es el curso de los hechos, conociendo la ley el hombre podrá dominarlos y forjar un rostro a su futuro. En esto consiste el mecanismo del progreso, en esto consiste la forma de procedimiento que emplea la inteligencia positiva: ciencia luego previsión; previsión luego acción. La simplicidad de esta forma encierra lo medular del positivismo”.

J .Estrella, La filosofía y sus formas anómalas, p.92

Una vez tomadas estas precauciones frente al enfoque de una cosmovisión, podemos aclarar que a pesar de que no nos interesa encontrar un fundamento único de la realidad, o de una parte de ella (conformar una cosmovisión), si interesa estudiarla abarcando lo que más se pueda, persiguiendo su totalidad. Luego, podemos aceptar la noción de *cosmología* (bastante distinta a la de cosmovisión) en los términos de Hawking:

“cosmología es el estudio del universo de la realidad como un todo”¹

Es este el modo de estudio, de por ejemplo, Einstein o Hawking, los cuales estuvieron siempre preocupados de estudiar el universo como totalidad. Ultimamente una serie de investigadores han planteado un nuevo enfoque de la manera de enfrentarse a la realidad a través de las teorías de complejidad. Es esta ciencia, la de la complejidad, la que nos interesa, la que se aleja del positivismo, la que reconoce sus limitaciones. Ha tenido un acercamiento a la naturaleza, al estudio de los fenómenos tratando de considerar la realidad como un todo, incorporando lo que antes era inconmensurable.

Este nuevo enfoque ha desbordado el marco de las ciencias y ha influido en el pensamiento contemporáneo, y es precisamente, el que seguirá marcando el camino de la investigación. No obstante la posibilidad de caer en una cosmovisión estará siempre presente por lo que se pondrá especial cuidado en mantener siempre un grado de escepticismo.

¹ S. Hawking; La Historia del Tiempo; p.233

1.3. El enfoque de la complejidad

A partir de la segunda mitad del siglo XX, se empezó a desarrollar una nueva teoría de la ciencia, como respuesta a la imposibilidad de las leyes de la física de responder a una serie de fenómenos que tenían una *impredictibilidad* como característica distintiva. Esta nueva teorización se ha extendido a todos los ámbitos de la ciencias, tanto en las disciplinas “duras” como en las ciencias humanas, abarcando casi todas las ramas del conocimiento, incluso se ha transformado en materia de reflexión filosófica, recogida principalmente en el trabajo de filósofos franceses contemporáneos como Badrillard, Deleuze, Derridá, Kristeva y Lacan, quienes han hecho referencia a las matemáticas, la relatividad, la mecánica cuántica, la teoría del caos, etc. Hoy en día dicha perspectiva filosófica ha sido puesta en tela de juicio por algunos científicos que critican “*el uso de conceptos estrictamente técnicos fuera de sus contextos o sin la explicación pertinente*¹”. El salto desde la ciencia de estas nuevas teorías a otras disciplinas, incluida la arquitectura, es difícil pues presenta el peligro constante de una descontextualización de los contenidos científicos, pues para aplicarlos con propiedad se requiere de un conocimiento profundo, que supere la literatura de divulgación. No obstante, sabemos que dentro de la arquitectura podemos utilizar siempre estos contenidos en un modo homólogo o poético como fuente de inspiración de un proyecto. Pero para la elaboración de una investigación rigurosa, se debe necesariamente traspasar este umbral y entrar en los fundamentos básicos de estas nuevas teorías, considerando su fuente primera - la ciencia- para evitar caer en unas "imposturas intelectuales".

La ciencia tradicional, para describir los fenómenos de la naturaleza, se ha apoyado en las leyes de la física newtoniana, y por ende, en un ingenuo

¹ O. Contardo; a propósito del libro "Imposturas Intelectuales" de Sokal y Bricmont. Los científicos Sokal y Bricmont analizan el discurso de los filósofos contemporáneos y exhiben la inconsistencia de una filosofía que se apoya en la terminología científica. El Mercurio de Santiago, Artes y letras, p. E6 Domingo 31 Oct. 1999.

optimismo laplaciano. De esta manera, conociendo las leyes de la física y los parámetros que rigen el objeto de observación, se podría llegar a *explicar, predecir y controlar su conducta*¹.

Pero en una gran cantidad de disciplinas como la Ingeniería, Botánica, Sismología, Meteorología, Inteligencia Artificial, Geomensura, Embriología y otras, se observó que era imposible predecir el comportamiento de los fenómenos, lo que condujo a que la ciencia experimentara un gran cambio, la apertura de una nueva perspectiva; *una nueva formulación de las leyes de la naturaleza*².. Particularmente, se ha abierto camino a un concepto nuevo; la noción de *caos asociado a la inestabilidad dinámica*³, reconociendo en ella una característica de la naturaleza. Esta noción implica una nueva perspectiva científica, la de una ciencia que no sólo habla de leyes, sino también de sucesos y que se nos presenta abierta para la actividad creadora.

Hace un tiempo atrás, se consideraba que el ideal de las ciencias tradicionales era lograr la certidumbre, asociada a una descripción determinista, por eso las observaciones científicas se basaban en leyes intemporales e irrefutables, relegando una serie de fenómenos impredecibles a la fenomenología. En cambio, las ciencias humanas, como la economía, la sociología o la psicología, han estado comúnmente dominadas por la noción de *incertidumbre*⁴, y a menudo, se planteaban ciencias naturales y humanas como estados contradictorios.

Según Prigogine, de acuerdo con Karl Popper esta dicotomía entre estos dos estadios se debe a la manera de describir el tiempo, y la complejidad de su objeto. *“La física se ocuparía de los fenómenos simples y las ciencias humanas de los fenómenos complejos, pero hoy el abismo entre los llamados fenómenos simples y complejos se está reduciendo”*⁵.

En el mundo científico se sabe que problemas considerados simples por la ciencia tradicional, como la naturaleza de las partículas elementales, las

¹ A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

² I. Prigogine; Las leyes del Caos; p. 14

³ I. Prigogine; Las leyes del Caos; p. 14

⁴ I. Prigogine; Las leyes del Caos; p. 15

⁵ I. Prigogine; Las leyes del Caos; p. 16

mediciones de Geomensura y los pronósticos climatológicos corresponden a fenómenos sumamente complejos. Por otro lado, se han propuesto modelos simples para describir problemas que tradicionalmente fueron considerados complejos, como el funcionamiento del cerebro, o los comportamientos de sociedades. *Y es que hoy en día la distinción basada en la idea de complejidad no es clara*¹, en esto radica la complejidad; en su propia relatividad intrínseca.

Un aporte importante a la explicación de los fenómenos de la naturaleza ha sido la teoría general de los sistemas de L. Von Bertalanffy (ver anexo), en la cual distingue características particulares de los sistemas abiertos, como importación de energía, procesamiento de energía, resultado o producto hacia el medio, ciclos de acontecimientos, entropía negativa, insumos de información retroalimentación, estabilidad y homeostasis dinámica. En este sentido se observó a los objetos de estudio como un todo interactuante al cual sólo se lo podía segmentar, acaso, didácticamente. Atrás quedó la explicación atomista que intenta atomizar la observación y depurarla de toda natural interacción, dando paso a la consideración de sistema y sus múltiples retroalimentaciones propias y con su medio, haciendo *patente la emergencia de nuevas cualidades cuando el fenómeno se toma como un todo y no como un agregado de partes*² (A. Quezada).

A la luz de esta teoría podemos entender la idea de complejidad, en los términos propuestos por Arnold y Osorio:

*"Complejidad, por un lado, indica la cantidad de elementos de un sistema (complejidad cuantitativa) y, por el otro, sus potenciales interacciones (conectividad) y el número de estados posibles que se producen a través de éstos (variabilidad y variedad). La complejidad sistémica está en directa proporción con su variedad y variabilidad, por lo tanto, es siempre una medida comparativa*³"

entendiendo por:

¹ I. Prigogine; Las leyes del Caos; p. 16

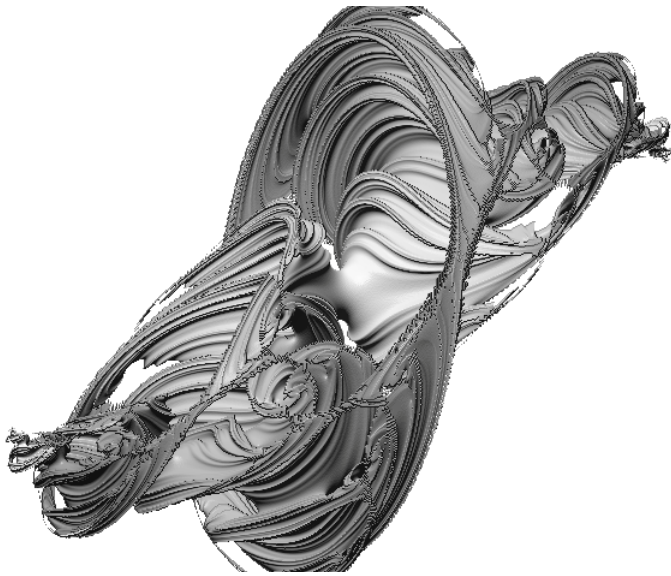
² A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

³ Marcelo Arnold, Ph.D. y Francisco Osorio, M.A. Departamento de Antropología. Universidad de Chile; Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas; boletín de estudio 1998.

"VARIABILIDAD :Indica el máximo de relaciones (hipotéticamente) posibles ($n!$).

VARIEDAD :Comprende el número de elementos discretos en un sistema ($v =$ cantidad de elementos).^{1"}

Se puede pensar en el ejemplo clásico de la transición de un fluido entre el movimiento laminar y el turbulento. El fluido es un sistema complejo, con una población enorme de partículas en interacción. Es un sistema tan complejo, que no podemos describirlo en términos de trayectorias individuales (explicación atomista). Se podría pensar que se puede proceder por aproximaciones, y el caos sería resultante de estas aproximaciones. Pero la novedad, es que actualmente se tienen sistemas caóticos muy simples. La inestabilidad e irreversibilidad pasan a ser partes integrantes de la descripción en el nivel fundamental.



Gráfica computacional que muestra el movimiento de rotación de un fluido generada con un programa de generación fractal realizada para el taller 511 con el profesor Juan Luis Moraga.

La ciencia moderna ha recuperado entonces el estudio de los fenómenos impredecibles, trabajando en base a probabilidades e irreversibilidad. El enfoque de la complejidad que a alcanzado la ciencia actual se debe a cinco teorías estrechamente relacionadas; teoría de las catástrofes, teoría del caos, teoría de los fractales, teoría holográfica y lógica borrosa (fuzzy logic)².

Todas ellas están ligadas de alguna manera a la noción de caos, pero ¿qué se entiende aquí por "caos"? Es "*desorden determinista*" o también "*dependencia sensitiva de las condiciones iniciales*". En otras palabras, las condiciones iniciales son determinantes (las cosas no ocurren al azar), pero el producto es eminentemente dinámico y complejo, lo cual hace el resultado casi imprevisible³.

La matemática del caos transformó tres supuestos científicos:

- a- Los sistemas simples se comportan de manera simple;
- b- El comportamiento complejo implica causas complejas
- c- Diferentes sistemas se comportan de manera diferente.

¹ Marcelo Arnold, Ph.D. y Francisco Osorio, M.A. Departamento de Antropología. Universidad de Chile; Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas; boletín de estudio 1998.

² F. Labra y A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

³ Raymond Colle, Caos y complejidad, boletín de estudio 2 Internet P.U.C.

"La filosofía, la ciencia y el arte quieren que desgarremos el firmamento y que nos sumerjamos en el caos. Sólo ha ese precio le venceremos. Y tres veces vencedor crucé Aqueronte. El filósofo, el científico, el artista, parecen regresar del país de los muertos. Lo que el filósofo trae del caos son unas variaciones que permanecen infinitas, pero convertidas en inseparables, en unas superficies o unos volúmenes absolutos que trazan un plano de inmanencia (referencia) secante, ya no se trata de asociaciones de ideas diferenciadas, sino de reconcatenaciones por zona de indistinción de concepto. El científico trae del caos unas variables convertidas en independientes por desaceleración, es decir por eliminación de las demás variables cualesquiera susceptibles de interferir, de tal modo que las variables conservadas entran bajo unas relaciones determinables en una función: ya no se trata de lazos de propiedades en las cosas, sino de coordenadas finitas en un plano secante de referencia que va de las probabilidades locales a una cosmología global. El artista trae del caos unas variedades que ya no constituyen una reproducción, sino un nuevo ser, ser sensible, capaz de volver a lo infinito..¹"

G. Deleuze y F. Guattari; Qué es la filosofía, pag.203

Los que ahora son:

- a. Los sistemas simples pueden generar comportamientos complejos;
- b. Los sistemas complejos causan comportamientos sencillos;
- c. Las leyes de la complejidad tiene validez universal y se desprecupan de los detalles de los microcomponentes de un sistema.¹

Hoy en día estas nociones han traspasado el umbral de la ciencia, abarcando casi todas las áreas del conocimiento; desde la visión de la economía (términos como "fluctuaciones" de la bolsa, que provienen de la teoría del caos y que escuchamos diariamente en televisión), a la medicina (procesos del pensamiento, latidos del corazón), al arte y la arquitectura (action paint, Eisenman) e incluso, como habíamos mencionado en un comienzo, la filosofía (franceses postmodernos). Nos es interesante particularmente el trabajo de Deleuze y Guattari, pues pese a que últimamente su perspectiva filosófica ha sido bastante criticada ² por una falta de rigor científico, nos es de especial valor la manera literaria en que vinculan la filosofía la ciencia, y el arte. Para Deleuze y Guattari, las tres formas del pensar se proponen trazar una cartografía del caos; enfrentarse con él, conquistar y construir un plano de ese dominio, que no es el del desorden o la falta de determinación, sino antes bien el del vértigo, el de las velocidades infinitas que tornan virtual cualquier estado de cosas. En primer lugar, filosofía, ciencia y arte comparten una misma condición: la creatividad; la especificidad de cada una surgirá de la diferencia sustancial de aquello que cada cual se propone crear, inventar o construir.

La filosofía extrae del caos esas variaciones infinitas y que se van relacionando (idea de dinamismo y relativismo de la realidad), a partir de las cuales establece los conceptos. La ciencia reduce el mundo a variables finitas, determinables a través de funciones que las explican, dentro de un marco de referencia que permite situar el punto de vista. Por último el arte, recoge variedades del caos que van más allá de lo meramente perceptible por los sentidos

¹ Raymond Colle, Caos y complejidad, boletín de estudio 2 Internet P.U.C.

²Para mayor información ver el libro "Imposturas Intelectuales" de Sokal y Bricmont, Ed. Paidós.

y a partir de ellas construye un objeto nuevo que asume nuevamente el caos expresado en una sensibilidad.

"El arte toma un trozo de caos en un marco, para formar un caos compuesto que se vuelve sensible, o del que extrae una sensación caoidea como variedad, pero la ciencia toma uno en un sistema de coordenadas y forma un caos referido que se vuelve naturaleza, y del que extrae una función aleatoria¹"

Estos esbozos que se han extraído de la última obra del tándem Deleuze Guattari, es pertinente con nuestra investigación (que no es científica) en la medida que sustentan una visión bella e intempestiva del enfrentamiento entre el cerebro y el caos como un modo de mantener abierta nuestra perspectiva y la imaginaria que se puede extraer de ella.

¹ G. Deleuze y F. Guattari; Qué es la filosofía, pag.207

Acercamiento a la Teoría de los Fractales

Consideraciones de la teoría del caos

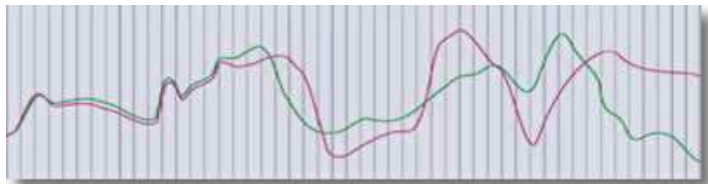
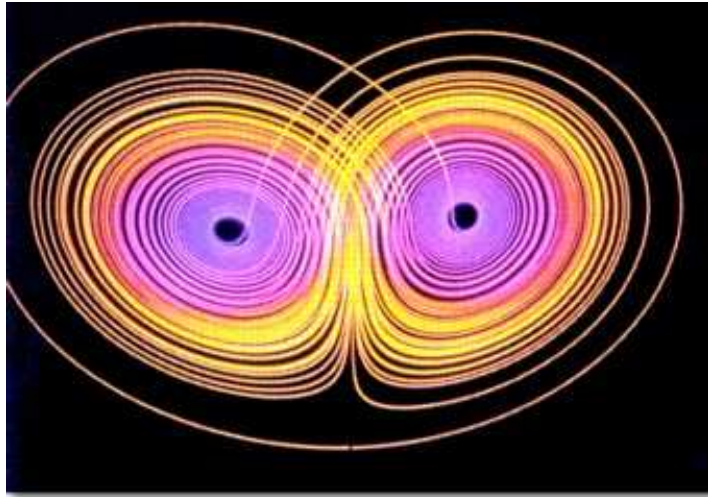
Teoría que se ocupa de los sistemas que presentan un comportamiento impredecible y aparentemente aleatorio aunque sus componentes estén regidos por leyes estrictamente deterministas. Desde sus comienzos en la década de 1970, la teoría del caos se ha convertido en uno de los campos de investigación matemática con mayor crecimiento. Hasta ahora, la física, incluso si se consideran las ramificaciones avanzadas de la teoría cuántica, se ha ocupado principalmente de sistemas en principio predecibles, al menos a gran escala; sin embargo, el mundo natural muestra tendencia al comportamiento caótico. Por ejemplo, los sistemas meteorológicos de gran tamaño tienden a desarrollar fenómenos aleatorios al interactuar con sistemas locales más complejos. Otros ejemplos son la turbulencia en una columna de humo que asciende o el latido del corazón humano.

Durante mucho tiempo, los científicos carecieron de medios matemáticos para tratar sistemas caóticos, por muy familiares que resultaran, y habían tendido a evitarlos en su trabajo teórico. A partir de la década de 1970, sin embargo, algunos físicos comenzaron a buscar formas de encarar el caos¹.

Dentro de esta teoría podemos encontrar varias nuevas clasificaciones de sistemas, entre las cuales nos es particularmente importante destacar la noción de sistema Dinámico, que es aquel que está definido por un estado variable que cambia en el tiempo y que está descrito a través de un conjunto de ecuaciones diferenciales $(x = f(x))^2$.

2.1. Sistema dinámico

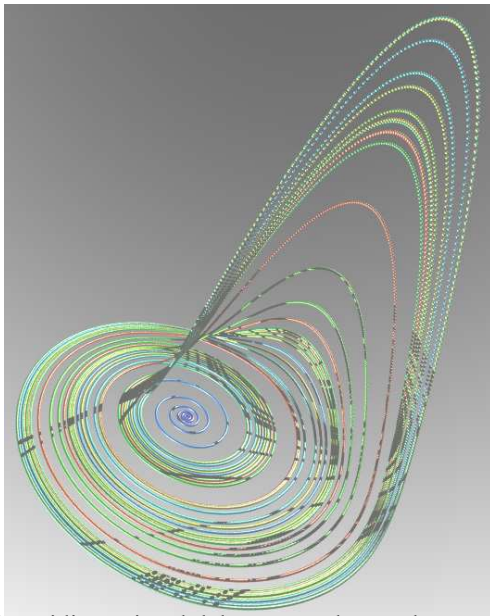
Un sistema dinámico se puede entender matemáticamente comprendido dentro de un espacio topológico B, al cual asociamos determinadas conductas x, asociadas a un punto f(x), proceso que se puede repetir -iterar- a otro punto



Espacio de fases y curva del atractor "extraño" de Lorenz.

¹ Referencias de Enciclopedia Encarta 98 de Microsoft.

² A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.



$f(f(x))$, luego a $f(f(f(x)))$ y así sucesivamente, generando una *órbita* de puntos x definidos por f que viven en el espacio B , en el cual pueden comportarse de diferentes maneras. La órbita de este comportamiento puede llevarse a una gráfica que considera todas las posibles ubicaciones de la conducta de un sistema y esta gráfica se denomina *Espacio de Fases*¹. En él puede registrarse el comportamiento del sistema a través del tiempo, entiendo que cada punto es el estado del sistema en instante determinado, el cual cambia en otro instante, por eso el punto se mueve y describe el movimiento que genera la órbita

La órbita se agrupa en *atractores*, que pueden ser puntos fijos si llegan a un estado estable, o Ciclos Límite que se repiten continuamente. Un *atractor* extraño es el que describe órbitas de conducta en el que éstas nunca pasan por los mismos puntos, nunca se intersectan, ni cruzan entre sí, y lo que lo define como *atractor*, permanecen dentro de un espacio finito².

2.2. Sistemas dinámicos lineales y no lineales

Un sistema dinámico lineal *es aquel que presenta una conducta predecible y generalizable y que puede describirse por ecuaciones diferenciales que pueden indicarse con una línea recta en un gráfico. Los sistemas lineales son sistemas ideales, difíciles de encontrar en la práctica*³.

Un sistema dinámico no lineal *es aquel que presenta una conducta que no es posible de graficar con rectas en ecuaciones diferenciales, sino que a través de curvas onduladas, en las cuales pequeños cambios en una de sus variables producen efectos catastróficos en las otras variables. Se producen conductas inesperadas*⁴.

Un ejemplo bastante clarificador es el que nos otorga *Owen S. Wangenstein*⁵ al ilustrarnos ambos sistemas; imaginemos por un momento que estamos sentados a la orilla de un río en una inmensa llanura. El río sigue su curso

¹ A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

² F. Labra, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

³ A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

⁴ A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

⁵ *Owen S. Wangenstein*; Semanario La gaceta de Intenet Fractales Orden en el Caos.

lentamente, siempre en la misma dirección, siempre con la misma velocidad. Es un río recto, ideal, lineal... En un instante dado tiramos en el centro del río un corcho. Transcurrido un minuto desde que tiramos el corcho, nos preguntamos en qué posición se encuentra este ahora. Sin dudarle un minuto, puesto que el corcho ha flotado tranquilamente corriente abajo a velocidad constante, podremos contestar a la pregunta:

$$\text{Espacio recorrido por el corcho} = \text{Velocidad del agua} \times \text{Tiempo}$$

Es más, si tiramos dos corchos idénticos, a la vez, situados uno al lado del otro, al cabo de un minuto habrán recorrido la misma distancia y permanecerán uno al lado del otro, indefinidamente.

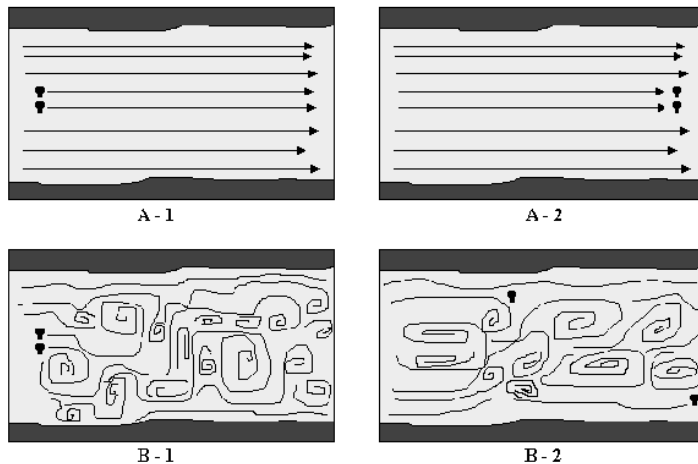
Estos dos hechos ocurren porque un río que transcurre lentamente es prácticamente un sistema lineal, y se caracteriza por:

1. Si situamos un objeto en una posición determinada, podremos calcular con exactitud y de forma sencilla en qué posición se encontrará al cabo de un cierto tiempo.
2. Si situamos dos objetos en posiciones iniciales cercanas, al cabo del tiempo dichos objetos permanecerán más o menos cercanos, ya que sobre ellos actuarán fuerzas de parecida magnitud.

Cambiamos ahora el escenario y sustituyamos nuestro plácido río por un torrente de montaña que discurre impetuosamente entre rápidos y remolinos, con zonas de turbulencia acusada, donde se formarán torbellinos y vórtices, y otras zonas donde el agua circula más tranquila, en flujo laminar. Estas zonas cambian además con el tiempo: en el punto donde ahora el agua está quieta, dentro de un instante puede formarse un súbito remolino que puede desaparecer dos minutos más tarde.

Si situamos ahora nuestro corcho en un punto exacto en el centro del torrente, justo donde la turbulencia es mayor, no podremos saber la posición del corcho, ni siquiera de un modo aproximado.

Ahora realicemos otro experimento: situemos dos corchos idénticos en el mismo lugar, separados tan sólo un centímetro. Esperemos un minuto. Al cabo de un minuto los dos corchos han seguido trayectorias completamente distintas. Uno escapó a gran velocidad y está situado a una larga distancia corriente abajo. El otro se quedó dando vueltas en un remolino, luego volvió sobre sus pasos y, por



Un río lineal (A-1) actúa de igual forma sobre dos objetos situados en puntos cercanos, que evolucionarán de forma paralela hasta A-2, mientras que un flujo turbulento (B-1 y B-2) actúa de muy distinta forma, incluso para condiciones de partida similares.

último, quedó atrapado en una zona de aguas quietas, con lo que la separación entre ambos es ahora de un centenar de metros.

El río lineal representa el sistema dinámico lineal. La mayoría, por no decir todos, los modelos matemáticos que utilizamos son lineales. Recordemos que un sistema lineal no implica necesariamente una relación matemática lineal, del tipo $Y = ax + b$, sino que basta con que las ecuaciones diferenciales que lo definen puedan indicarse como una recta. En la práctica, condiciones iniciales parecidas nos deben conducir a resultados similares, reproducibles. Esto no siempre ocurre porque *la naturaleza no es siempre lineal y, la mayoría de las veces, se comporta de un modo inesperado*¹. El sistema lineal queda siempre en el ámbito teórico, como por ejemplo, en el análisis de un péndulo sin fricción (Sistema dinámico conservativo).

Si consideramos un sistema dinámico no lineal (flujo turbulento), el cual de hecho se acerca bastante a los fenómenos de la naturaleza, debemos tener presente que en ellos cualquier error o diferencia despreciable en las condiciones iniciales o en los parámetros de control puede generar grandes diferencias en un sistema al cual se intentará reproducir su conducta. Por esta impredecibilidad de su conducta, podría decirse que el sistema es caótico, lo que no significa que en el opere un azar absoluto, sino que el sistema dinámico no lineal opera dentro de un caos determinístico que es sensible a sus condiciones iniciales y a sus parámetros de control. Es en este punto en el cual la geometría fractal nos permite un acercamiento a este tipo de sistemas.

¹ Owen S. Wangensteen; Semanario La gaceta de Intenet Fractales Orden en el Caos.

2.3. Origen matemático de los fractales

"Hablar sobre los fractales e ignorar los procesos por los cuales son generados, es inadecuado"¹

Números complejos

Los números complejos son obra de Girolamo Cardano, médico italiano que vivió entre 1501 y 1576, jugador y confeccionador de horóscopos (en cierta ocasión hizo un horóscopo de Cristo). Escribió en 1545 un tratado de álgebra, el "*Ars Magna*", en el cual desarrolló por primera vez la expresión completa para las soluciones a la ecuación cúbica general. Se percató de que en algunos casos se veía obligado a tomar raíces cuadradas de números negativos en su desarrollo y posibilitó la resolución de numerosas ecuaciones que antes se consideraban irresolubles. Más tarde, en 1572, Raphael Bombelli extendió el trabajo de Cardano y dió cuerpo y forma al álgebra de los números complejos.²

Un número complejo puede escribirse de la siguiente forma:

$$z = a + bi$$

Donde i representa la raíz cuadrada de -1 . Los parámetros a y b se denominan, respectivamente, parte real y parte imaginaria del número complejo z . Las reglas para sumar y multiplicar números complejos se siguen de las reglas ordinarias del álgebra, teniendo en cuenta que $i^2 = -1$:

$$(a + bi) + (c + di) = (a + c) + (b + d)i$$

$$(a + bi) \times (c + di) = ac + bd i^2 + adi + bci = (ac - bd) + (ad + bc)i$$

Es de notar que, a diferencia de los números reales, donde el cuadrado de un número es siempre un número real y positivo, por el contrario, el cuadrado de un número complejo puede ser real o complejo, pudiendo tener cualquier signo sus partes real e imaginaria:

$$(a + bi)^2 = (a + bi) \times (a + bi) = (a^2 - b^2) + (2ab)i$$

¹ F. Labra, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso

² Owen S. Wangensteen; Semanario La gaceta de Intenet Fractales Orden en el Caos.

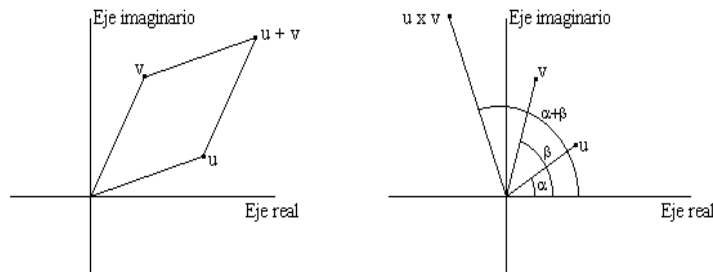


Portada de la *Bible Moralisée* escrita entre 1220 y 1250. La leyenda reza:

Ici crie dex ciel et terre (Aquí crea Dios el cielo y la tierra)
Soleil et lune et toz elemenz el sol y la luna y todos los elementos)

Notar que en esta ilustración aparecen los círculos y las ondas, que constituyen parte de la base y de la ciencia y de la geometría junto a unos extraños formas desconocidas que también conforman la naturaleza.

Un número complejo puede representarse en un sistema de coordenadas conocido como diagrama de Argand. Jean Robert Argand fue un contable suizo que dio a conocer su representación en 1806, aunque el topógrafo noruego Caspar Wessel la había descubierto nueve años antes y la había publicado en noruego. El plano de Argand es un sistema de coordenadas euclídeas convencionales, en las cuáles se representa la parte real de un número complejo en el eje de las "x" y su parte imaginaria en el eje de las "y". Todos los números reales están representados (y forman parte del conjunto de los números complejos) en el eje "x", mientras que los números que se representan en el eje "y" se denominan "imaginarios puros", y su parte real es nula. Por ejemplo, la raíz de -1, i , se representa en el eje imaginario a una distancia 1, positiva, del origen de coordenadas. Los números complejos pueden ser entonces representados como si se trataran de vectores cuyas dos coordenadas vendrán dadas por sus partes real e imaginaria.



Suma y producto de dos números complejos u y v en el plano de Argand.

- Al multiplicar dos números reales positivos (ambos con ángulo 0°), el producto será también un número real positivo (ángulo 0°).
- Al multiplicar dos números reales negativos (ángulo 180°), el producto será un real positivo (ángulo $360^\circ = 0^\circ$).
- Al multiplicar dos imaginarios puros positivos (ángulo 90°), el producto será un real negativo (180°). Ejemplo: $i \times 3i = -3$.
- Al multiplicar dos imaginarios puros negativos (ángulo 270°), el producto será un real negativo: ($270^\circ + 270^\circ = 540^\circ = 180^\circ$). Ejemplo: $-i \times -3i = -3$.

Se puede comprobar que, en el diagrama de Argand, se pueden sumar dos números complejos como si se tratase de una suma ordinaria de vectores (mediante la ley del paralelogramo). Para multiplicarlos es un poco más complicado: el módulo del producto (su distancia al origen) será el producto de los módulos de los factores, y el ángulo que forma el producto con el eje real (llamado ángulo de fase o argumento del complejo) es la suma de los ángulos que forman los dos factores.

Si multiplicamos dos números complejos cualesquiera, puede comprenderse que el producto puede salir en cualquier dirección del plano de Argand, dependiendo de los ángulos que tengan los dos números complejos que se multiplican.

He tenido que recordar los números complejos y la forma de operar con ellos porque, como veremos, las interesantes figuras fractales, como los conjuntos de Julia o el famoso conjunto de Mandelbrot, se encuentran en el plano de Argand, pudiéndose obtener de una forma sencilla, iterando una sencilla expresión algebraica.

Iterando hasta el infinito

*"los objetos arquitectónicos no pueden ser sino una reflexión específica sobre las condiciones externas, que se vuelven cada vez más determinantes e inevitables. Sólo podemos operar por alteración, por adicción, por iteración ... subrayar ciertas trazas, identificarlas en el caos."*¹

Recordemos que al explicar un sistema dinámico lo hacíamos considerando una operación llamada iteración. Para el efecto de nuestra investigación, consideraremos iteración como el equivalente matemático de las noción de retroalimentación o feedback:

*"Son los procesos mediante los cuales un sistema abierto recoge información sobre los efectos de sus decisiones internas en el medio, información que actúa sobre las decisiones (acciones) sucesivas. La retroalimentación puede ser negativa (cuando prima el control) o positiva (cuando prima la amplificación de las desviaciones). Mediante los mecanismos de retroalimentación, los sistemas regulan sus comportamientos de acuerdo a sus efectos reales y no a programas de outputs fijos."*²

Con el estudio de los fractales se pretende explicar el comportamiento del caos en la naturaleza y podemos adelantar que en contraste con el concepto antiguo (Recordemos que en el mundo griego el conocimiento de la naturaleza es en base a lo inmutable y lo finito y que la geometría euclidiana no representa en sus postulados problemas de infinitud) el caos sí mantiene una estructura ordenada dentro de sí mismo y que además se comporta de manera semejante a la globalidad estructural de fenómeno en estudio.

¹ Jean Nouvel, entrevista en Web Architecture Magazine n°9.

² Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas; Marcelo Arnold Ph.D. y Francisco Osorio, M.A. Departamento de Antropología. Universidad de Chile. Para mayor profundización ver anexo.

Proceso de iteración

Una sucesión se define algebraicamente mediante una expresión del tipo:

$$x(n+1) = f(x(n))$$

es decir; se puede calcular el siguiente término de la sucesión, $x(n+1)$, a partir del anterior $x(n)$, mediante algún tipo de operación matemática $f(x(n))$. El hecho de calcular el siguiente número de una sucesión se conoce como "iteración". Por ejemplo, fijémonos en la sucesión:

$$x(n+1) = 2x(n) + 2$$

Si arrancamos del punto de partida $x(0) = 0.20$, obtenemos la siguiente sucesión de números reales: 0.20, 2.40, 6.80, 15.60, 33.20, ...

Mientras que si arrancamos de un valor ligeramente diferente, como 0.21, obtenemos la sucesión parecida: 0.21, 2.42, 6.84, 15.68, 33.36, ...

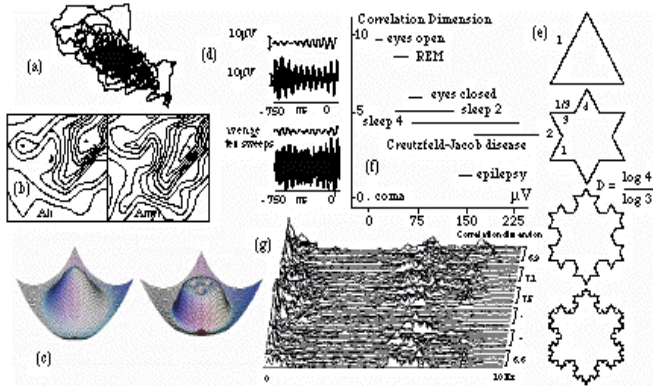
Evidentemente es un sistema lineal: puntos de arranque parecidos provocan una evolución parecida, de igual forma que, al poner dos corchos juntos en el río lineal, ambos evolucionaban juntos río abajo, sin variar excesivamente sus distancias.

Consideremos ahora, sin embargo, la siguiente sucesión que, a primera vista, es sólo un poco más complicada que la anterior:

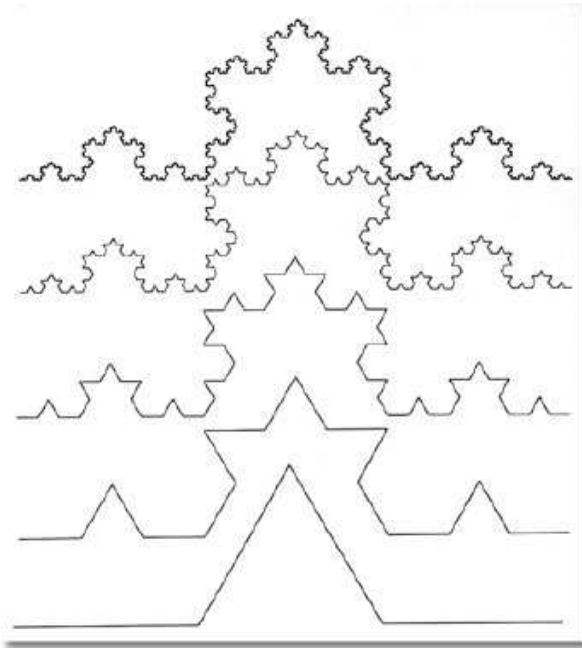
$$x(n+1) = 4x(n) - 4x(n)^2 = 4x(n) * (1-x(n))$$

A partir de 0.20 se genera la secuencia: 0.20, 0.64, 0.9216, 0.2890, 0.8219, 0.5854, 0.9708, 0.1133... mientras que, escogiendo como punto de partida 0.21, se genera la siguiente inesperada retahíla: 0.21, 0.6636, 0.8929, 0.3824, 0.9447, 0.2091, 0.6614, 0.8958, ... Como puede verse, a partir de la tercera o la cuarta iteración, las secuencias se van diferenciando cada vez más, de modo que nadie diría, al ver los dos últimos valores, que los puntos de partida que los han originado estaban tan próximos. Este es claramente un sistema caótico.

Se puede argumentar que quizás la iteración no se haya llevado lo suficientemente lejos, o puede que los números escogidos sean casos especialmente divergentes. Sin embargo, un estudio más exhaustivo de la



La Isla de Koch, o copo de nieve de Koch, se logra a través de un proceso de iteración que va aumentando paulatinamente la complejidad geométrica a través de una triangulación.



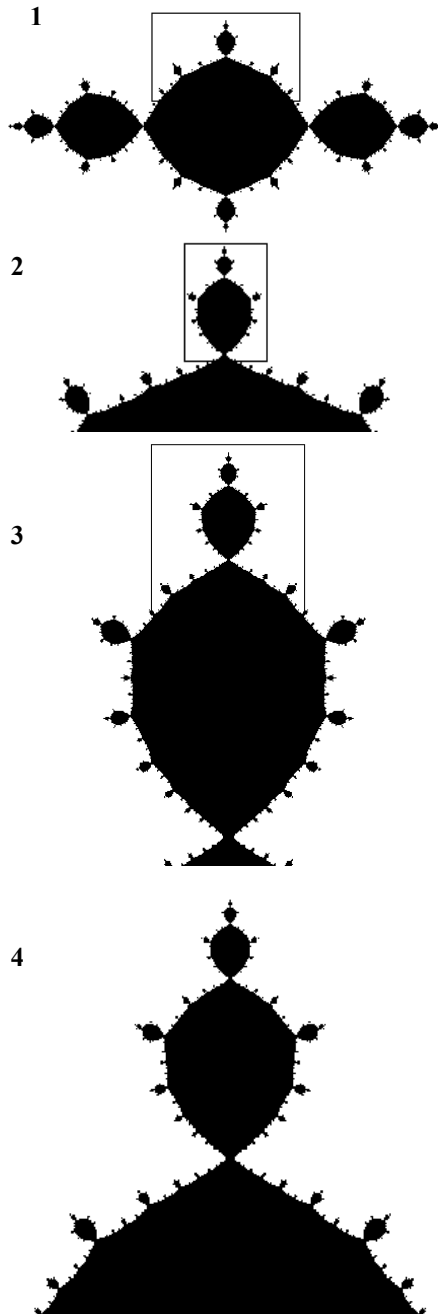
La famosa curva triádica de Koch, la tercera parte de una isla de Koch.

ecuación anterior nos lleva a concluir que es un sistema efectivamente caótico. Se podría pensar que la ecuación cuadrática que presenta tan extraño comportamiento es rebuscada, que no tiene aplicación real, o que es un caso poco frecuente entre las expresiones matemáticas. Sin embargo, la ecuación que he escrito no es sino una forma de la conocida "*curva logística*"¹, de fórmula general:

$$x(n+1) = kx(n) * (1-x(n))$$

Es una fórmula que viene usándose desde el siglo pasado en ecología para representar la evolución de poblaciones aisladas, no influidas por otras poblaciones, limitadas solamente por la escasez de alimento. La variable $x(n)$ puede representar, por ejemplo, la población de lagartos en una isla en un momento determinado, mientras que $x(n+1)$ representaría la población de lagartos en la generación inmediatamente posterior. El parámetro k puede ajustarse para que refleje una gran variedad de restricciones biológicas. Una vez fijado el parámetro k y el número de individuos iniciales $x(0)$, el destino de la población está inexorablemente fijado. Algunos valores de $x(0)$ conducen a una inevitable muerte de la población, mientras que otros conducen a una población estable u oscilante, pero que se mantiene en el tiempo. ¿Qué valores iniciales conducen a uno u otro resultado? La respuesta es que no podemos predecirlo de un modo sencillo, ya que valores muy próximos podrán conducir a resultados muy diferentes: Si partimos de 420 lagartos quizás la población se mantenga, mientras que si inicialmente tenemos 421 podría ocurrir un desastre ecológico y extinguirse la especie!.

¹ Owen S. Wangensteen; Semanario La gaceta de Intenet Fractales Orden en el Caos.



Cuatro acercamientos sucesivos al conjunto de Julia.

Los conjuntos de Julia

Gaston Julia fue un matemático francés de principios de siglo quien, junto a Pierre Fatou, estudió por primera vez las formas de los conjuntos que llevan su nombre, intuyendo su gran complejidad. Intuyendo, y no viendo, ya que las primeras computadoras que podrían haber representado un conjunto de Julia en todo su apogeo no aparecieron sino hasta unos 70 años más tarde.

¿Qué es un conjunto de Julia? ¿Cuáles son las supuestamente complicadas ecuaciones que pueden generarlo? La respuesta es que *un conjunto de Julia no es más que el resultado de iterar una ecuación cuadrática en el plano complejo*¹.

Consideremos la expresión:

$$z(n+1) = z(n)^2 - 1$$

Que, abreviadamente, se puede expresar: $z^2 - 1$.

Es una sucesión igual que las descritas en el epígrafe anterior, con la salvedad de que estamos considerando que la variable x de las fórmulas anteriores pueda ser una variable compleja, z .

De esta forma, partiendo de un valor de partida complejo, $z(0) = a + bi$, calcularíamos el siguiente valor elevándolo al cuadrado y restándole 1, y así sucesivamente tendríamos una sucesión de números complejos. Algunos valores de partida originan secuencias que crecen sin límite, volando al infinito. Otros valores, más modestos, originan secuencias que permanecen siempre dentro de unos límites bien establecidos dentro del plano. Por ejemplo: $z(0) = (2 + i)$ origina la secuencia: $(2 + i)$, $(2 + 4i)$, $(-13 + 16i)$, $(-88 - 416i)$, $(-165313 + 73216i)$,... que tiende hacia el infinito, mientras que $z(0) = (0.2 + 0.2i)$ origina la secuencia: $(0.2 + 0.2i)$, $(-1 + 0.08i)$, $(-0.0064 - 0.16i)$, $(-1.0256 + 0.002i)$, $(0.0051 - 0.004i)$, $(-1 - 0.00004i)$, $(-0.0000000018 + 0.000084i)$,... que se mantiene siempre dentro de un límite en torno al origen de coordenadas del plano de Argand. Esto es: su módulo

¹ Owen S. Wangensteen; Semanario La gaceta de Intenet Fractales Orden en el Caos.



$$c = 0.37 + 0.5i$$

Todos los conjuntos de Julia que he representado tienen algo en común: todos ellos son conjuntos conexos, compuestos por una única mancha negra en un fondo blanco. Cada punto perteneciente al conjunto de Julia tiene al menos otro adyacente al mismo que también pertenece al conjunto. ¿Ocurre esto siempre o, por el contrario, existen valores de c que provocan conjuntos de Julia con dos, diez, veinte o infinitos borrones negros? La respuesta, dada por el propio Julia, es inesperada: existen sólo dos posibilidades, o bien el conjunto de Julia forma un único borrón **conexo** o bien explota en infinitos borrones, alejados unos de otros, que se dispersan hasta el infinito; **inconexo**. Los conjuntos con infinitos borrones, dado su aspecto, reciben a veces el nombre de "polvo fractal". Se puede conseguir polvo fractal para valores relativamente grandes de c .

no sobrepasa un determinado valor. En términos matemáticos se dice que la sucesión está acotada.

El conjunto de Julia de z^2-1 lo forman todos aquellos puntos del plano complejo que, al iterarlos según z^2-1 originan secuencias que están acotadas, mientras que los puntos que originan secuencias que tienden hacia el infinito no forman parte de dicho conjunto y se dice de ellos que "divergen". En los ejemplos anteriores, $(0.2 + 0.2i)$ es un punto del plano complejo que sí pertenece al conjunto de Julia, mientras que $(2 + i)$ no pertenecería.

De lo anterior, se puede deducir que, para representar el conjunto de Julia de z^2-1 en un ordenador, basta con dibujar una representación del plano complejo entre los límites que deseemos, iterando después cada punto un número determinado de veces. Si la sucesión que obtenemos diverge hacia el infinito, dejamos el punto en blanco, puesto que no pertenece al conjunto de Julia, mientras que, si la sucesión que obtenemos no supera un determinado valor, fijado arbitrariamente por nosotros, consideraremos que el punto en cuestión forma parte del conjunto de Julia, y lo colorearemos de negro.



$$c = -1.27 + 0.06i$$

El conjunto de Mandelbrot

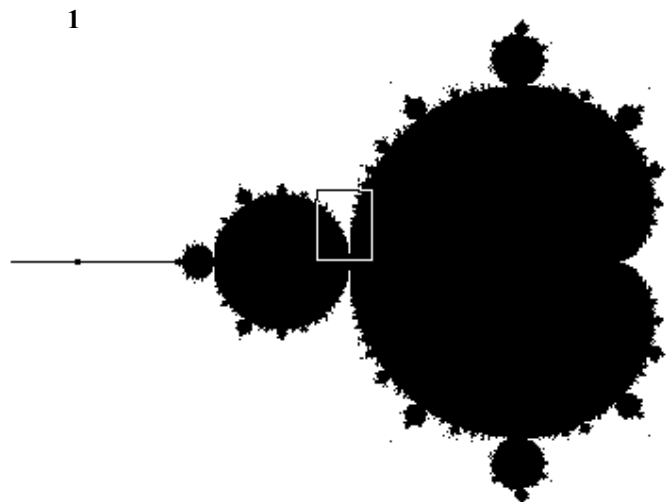
Este singular conjunto de puntos del plano complejo fue descubierto por el matemático polaco-norteamericano Benoit B. Mandelbrot (Actualmente en el T. J. Watson Research Center de IBM en Yorktown Heights, New York), a principios de los años 80. La definición del conjunto de Mandelbrot (a partir de ahora, lo llamaremos M) está íntimamente ligada a los conjuntos de Julia. Vimos anteriormente que había dos tipos de conjuntos de Julia para $z^2 + c$. Algunos valores de c (que es un número complejo) producen un conjunto de Julia conexo, mientras que otros valores provocan un conjunto de Julia escindido en infinitos trozos. Pues bien, si el valor de c produce un conjunto de Julia conexo, entonces, c pertenece a M (y lo pintaremos de negro en su representación). Si c produce un conjunto de Julia disgregado, entonces c no pertenece a M y lo dejaremos en blanco¹.

Una forma intuitiva, aunque trabajosa, de dibujar M, consiste en representar para cada valor de c el conjunto de Julia correspondiente y ver si es o no conexo. Sin embargo, el gran descubrimiento de Mandelbrot fue la demostración de un teorema que permite representar su conjunto sin recurrir a tan titánico trabajo. Consiguio demostrar que, si c pertenece a M (esto es, si produce un conjunto de Julia de una sola pieza), entonces la sucesión:

$$z^2 + c$$

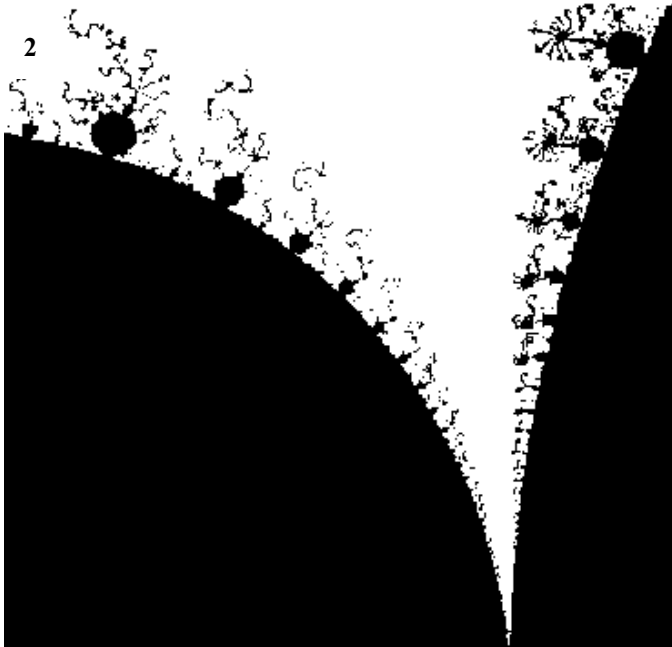
comenzando por $z_0=0$, se mantiene acotada, mientras que si c no pertenece a M, entonces la sucesión anterior diverge hasta el infinito.

Con esta consideración, es fácil representar el conjunto de Mandelbrot, de una forma parecida a como se hacía con los conjuntos de Julia (teniendo en cuenta que no se hace sobre el plano z , sino sobre el plano c).



Conjunto de Mandelbrot (M).
El cuadro indica el comienzo del recorrido de Penrose.

¹ Owen S. Wangensteen; Semanario La gaceta de Intenet Fractales Orden en el Caos 2.



El recorrido de Penrose

El conjunto de Mandelbrot posee una característica muy peculiar, es cuasi-autosemejante. Es decir, cuando lo contemplamos a una escala menor, nos encontramos con estructuras parecidas, pero no completamente iguales, a las de mayor escala (los conjuntos de Julia, sin embargo, son estrictamente autosemejantes).

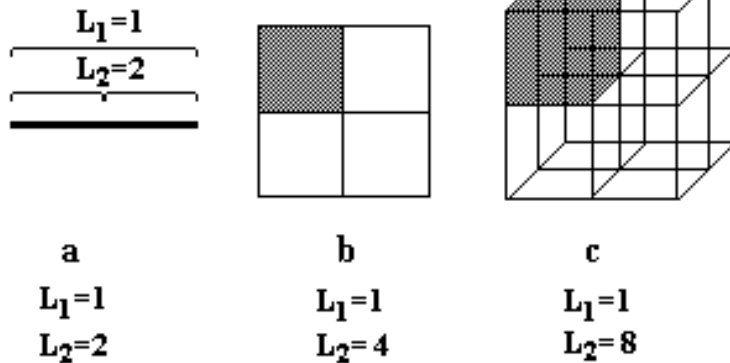
Esto hace de M una estructura que siempre ofrece nuevos encantos al explorador. Comprobemos esto en la siguiente secuencia, descrita por Roger Penrose. Este es sólo uno entre los infinitos itinerarios que nos ofrece el conjunto de Mandelbrot, un mundo siempre cambiante que nos plantea las siguientes dudas: si una ecuación cuadrática tan sencilla, iterada, puede llegar a dar resultados tan complejos, ¿qué podemos esperar de otras ecuaciones más complicadas? y si algunos de los sistemas caóticos reales tienen comportamientos tan inesperados, ¿llegaremos algún día a poder deducir la sencilla ecuación que puede generarlos?



2.4. Dimensión Fractal

En el mundo euclídeo y en nuestra intuición más inmediata el número de dimensiones de un objeto es algo muy bien definido y que tiene un valor entero (o, más bien, natural): un cubo posee dimensión 3, al igual que cualquier cuerpo sólido de contornos claramente definidos; un plano, o la superficie de un sólido, poseen dimensión 2; una línea, o el contorno de una superficie, poseen dimensión 1 y, por último, un punto o el ancho de una línea, poseen dimensión 0, conformando las denominadas *dimensiones topológicas*¹.

A lo largo de la historia han existido numerosas definiciones precisas del concepto de "dimensión". Ninguna es para nosotros tan valiosa a la hora de estudiar los objetos fractales como la introducida por F. Hausdorff en 1919 y mejorada posteriormente por A. S. Besicovitch en 1935.



Dimensiones de un segmento, un cuadrado y un cubo en diferentes escalas.

Consideremos un objeto monodimensional, como el segmento de línea recta de la figura 1(a). Suponemos que tomamos una unidad de medida y obtenemos su longitud: L_1 . Para simplificar la comprensión, consideremos que la unidad de medida es el propio segmento, de forma que $L_1 = 1$. Tomemos ahora una unidad de medida cuya longitud sea la mitad. Entonces obtendremos un nuevo valor para la longitud: $L_2 = 2$. Podemos comprobar que:

$$L_2 = L_1 \cdot 2^1$$

Consideremos ahora un objeto bidimensional, como el cuadrado de la figura 1(b). Si medimos su superficie con una unidad de medida igual a ella misma, obtenemos, como es lógico, $L_1 = 1$ (utilizo también la letra L, como voy a hacer después para el volumen, ya que todos ellos representan la magnitud del objeto medida). Si ahora defino una nueva unidad de medida, disminuyendo para ello a la mitad cada una de las distancias que aparecían en la unidad anterior, obtengo un pequeño cuadrado, con el cuál obtengo el nuevo valor de la superficie: $L_2 = 4$

¹ B. Mandelbrot; La geometría fractal de la naturaleza; p. 64.

(es decir, el pequeño cuadrado está contenido 4 veces en el cuadrado inicial). Se comprueba que:

$$L_2 = L_1 \cdot 2^2$$

Tomemos ahora un cuerpo tridimensional, como el cubo de la figura 1(c). Su volumen, tomando como unidad de medida él mismo, es $L_1 = 1$. Si definimos la nueva unidad de medida de la misma forma que en el caso del cuadrado, obtenemos el pequeño cubo representado en la figura, que está contenido 8 veces en el cubo inicial. Es decir, $L_2 = 8$. Se comprueba:

$$L_2 = L_1 \cdot 2^3$$

De lo anterior podemos deducir que: el exponente del 2 en las igualdades anteriores es la dimensión del objeto según la definición de Hausdorff (o dimensión de Hausdorff, D_H). Dichas igualdades se pueden escribir en forma logarítmica:

$$\log(L_2/L_1) = D_H \log(2)$$

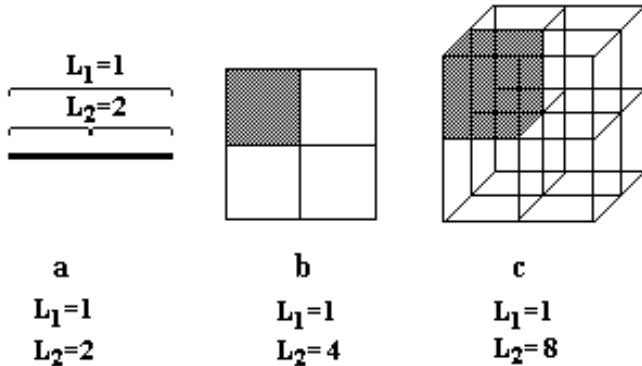
De donde: $D_H = \log(L_2/L_1) / \log(2)$

El ejemplo está hecho para unidades de medida que son una el doble que la otra. Se puede generalizar para unidades de medida que difieran en un factor r . Llamando N al cociente entre el valor de la magnitud medida con la unidad más pequeña y la misma magnitud, medida con la unidad mayor, tendremos:

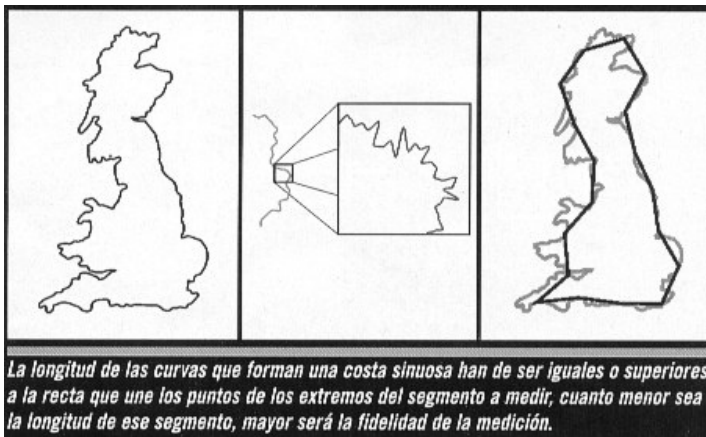
$$D_H = \log(N) / \log(r)$$

que es la definición de Hausdorff. Posteriormente Besicovitch generalizó los casos en que D no es entera y la forma no es estándar, aumentando la aplicabilidad de la fórmula.

Hausdorff postulaba que todos los objetos de la naturaleza, tienen una dimensión superior a la que se les asigna. Mandelbrot utilizó la técnica de Hausdorff para medir las costas, y se dio cuenta que los resultados arrojaban valores de dimensiones fraccionarias¹.



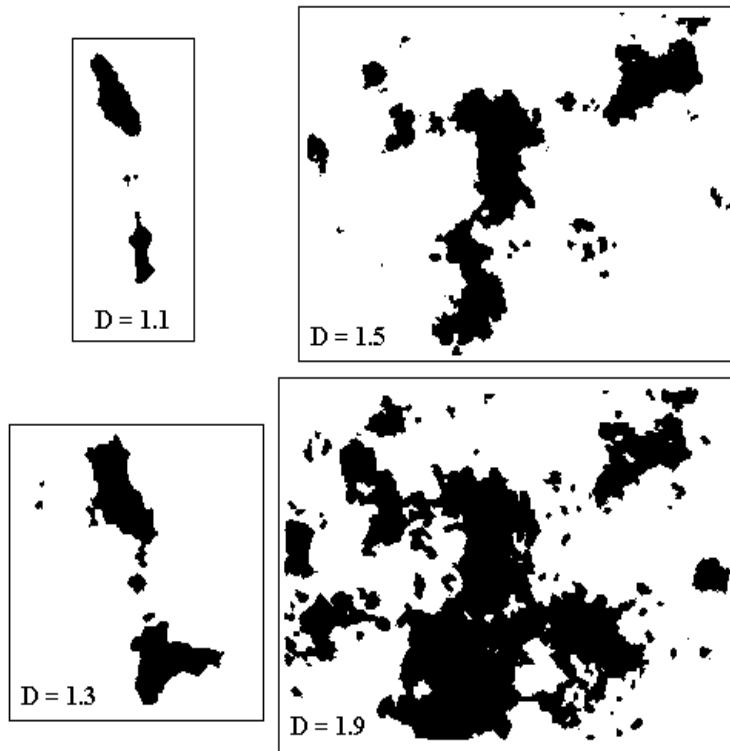
Dimensiones de un segmento, un cuadrado y un cubo en diferentes escalas.



¹ A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

Es decir, no podemos seguir considerando la "línea" de una costa (piénsese en la costa de Chile) como una línea de dimensión 1, sino que su dimensión tomaría algún valor fraccionario entre 1 (una línea) y 2 (una superficie), tal como 1.35, por ejemplo.

Algunas figuras de costas simuladas por computadora, con distintos valores para la dimensión, se pueden contemplar en la figura adjunta. Se puede observar que, a medida que crece la dimensión, el contorno de la costa se va haciendo más irregular, hasta que, para $D = 2$, dicho contorno termina por llenar el plano. La mayoría de las costas reales suelen tener una dimensión cercana a 1.3.



Simulación de costas de distintas dimensiones.

Mandelbrot no sólo encontró dimensiones fraccionarias en el estudio de las líneas de costa. Al contrario, numerosos fenómenos naturales, que tenían en común el hecho de tener contornos irregulares o poco definidos podían ser estudiados desde este punto de vista. Mandelbrot observó como cientos de exponentes o coeficientes empíricos que habían sido introducidos en las explicaciones de los fenómenos reales correspondían, en realidad, a una dimensión fraccionaria. **Esta dimensión se hace tanto mayor cuanto más irregular es el contorno de una figura, tendiendo al siguiente número entero cuando la figura tiende a llenar la dimensión entera inmediatamente superior.**¹

Mandelbrot señala que "como se ha utilizado el nombre de Félix Hausdorff a una cierta clase de espacios topológicos, la denominación generalmente dada a D , dimensión de Hausdorff, podría sonar a "dimensión de un espacio de Hausdorff", por lo cual podría sugerir que se trata de un concepto topológico, y no es así en absoluto. He aquí una razón para preferir la denominación de Dimensión Fractal."

¹ Owen S. Wangensteen; Semanario La gaceta de Intenet Fractales Orden en el Caos 3.

2.5. Hacia una definición de fractal

Mandelbrot aplicó sucesivamente su concepto de dimensión fractal a fenómenos tales como: el movimiento browniano, los errores de transmisión de datos en líneas de teletransmisión (ruidos eléctricos), la superficie de la Luna, la distribución de las galaxias, el relieve terrestre, la turbulencia de un fluido, los cristales líquidos, la ordenación de los componentes de una computadora, el crecimiento de cultivos bacterianos, la frecuencia de aparición de mutaciones en cultivos celulares, etc...

Todos estos fenómenos, en apariencia dispares tienen algunas cosas en común, además de su complejidad implícita, siempre aparecen asociados a ellos fenómenos como: (1) *dimensiones fractales*, (2) *autosemejanza o cuasi-autosemejanza* y (3) *existencia de contornos irregulares o poco definidos*¹. Todo ello es la esencia del comportamiento fractal. Lo que antes aparecía como algo aleatorio y en total desorden empezó a ser comprendido y domado.

El término **fractal** fue acuñado por Mandelbrot a partir del adjetivo latino **fractus**. El verbo correspondiente es *frangere* que significa "*romper en pedazos*", significando al mismo tiempo "*fragmentado*" (como en fracción) e "*irregular*", confluyendo ambos significados en el término **fragmento**².

La primera definición general de conjunto fractal (desde la perspectiva matemática) fue elaborada por Mandelbrot en 1977:

*"Un fractal es por definición, un conjunto cuya dimensión hausdorff-besicovitch es estrictamente mayor que su dimensión topológica"*³.

Es decir:

¹ Owen S. Wangensteen; Semanario La gaceta de Internet Fractales Orden en el Caos 3

² B. Mandelbrot; La geometría fractal de la naturaleza; p. 19.

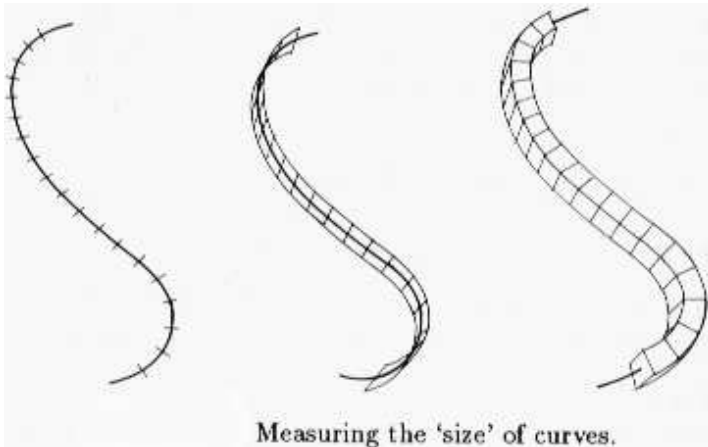
³ B. Mandelbrot; La geometría fractal de la naturaleza; p. 32.



Curva de Peano en la cual se han integrado valores aleatorios. El conjunto fractal no necesariamente debe ser autosemejante o parecido a los fractales clásicos para presentar fenómenos de dimensión fractal, autosemejanza y existencia de contornos irregulares.

$Dim(fractal) > Dim(topológica)$

Sin embargo, esta denominación matemática es restrictiva y relativa, pues al aplicarla a algunos objetos fractales se obtienen dimensiones enteras o irracionales. El problema principal radica en la relatividad de objetivación del concepto de dimensión, por ejemplo un hilo puede tener dimensión topológica de 1, 2 o 3, dependiendo de nuestro punto de vista (ver figura). Cuando un objeto presenta una dimensión fractal, podríamos decir que operativamente es fractal, pero si presenta una dimensión topológica no podemos saber si es o no fractal. La dimensión fractal es una medida operativa y comparativa y no se puede determinar sólo a través de ella la fractalidad epistemológica de un objeto, pese a que es una herramienta de gran utilidad para medir el grado de fragmentación de la forma.



"A fractal is a shape made of parts similar to the whole in some way"¹

Entonces, el único rasgo que es totalmente común a toda la geometría fractal es el de la auto similitud, no necesariamente entendida de manera lineal, como una estructura que se repite continuamente a distintas escalas, sino también reconociendo la emergencia de ciertas estructuras de orden particulares en determinados intervalos de escalas (piénsese en el conjunto de Mandelbrot, por ejemplo), las local scaling properties².

El mismo Mandelbrot nos advierte de diferenciar la noción matemática (teórica) de conjunto fractal, de un *fractal natural (o objeto fractal)*, que servirá para designar sin demasiada precisión una figura natural que puede ser representada como un conjunto fractal³. Ejemplos de conjuntos fractales son los conjuntos de Julia, Mandelbrot, la curva de Koch y todas las gráficas teóricas que intentan representar el comportamiento de un fenómeno determinado. Ejemplos de fractales naturales podemos encontrar en la mayoría de los objetos de la naturaleza que nos rodean, y en una serie de fenómenos como el movimiento browniano y el del flujo caótico de los fluidos.

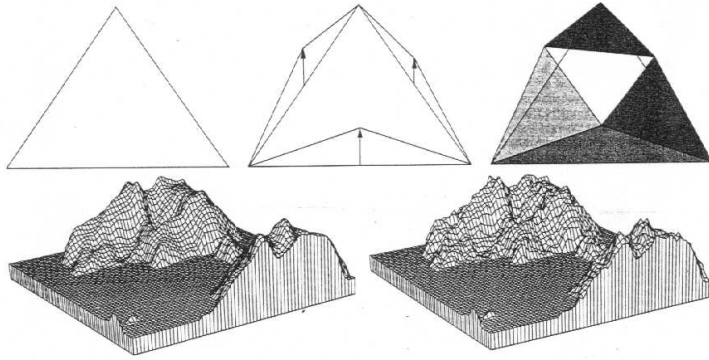
¹ J Feder; Fractals; p.11

² J Feder; Fractals; p.17.

³ B. Mandelbrot; La geometría fractal de la naturaleza; p. 19.

Por último, debemos señalar que dentro del mundo de los fractales podemos expresarnos dentro de tres "dialectos"¹:

- a) *el dialecto lineal*, dentro del cual los fractales son el resultado de un proceso de iteración a partir de una estructura sencilla que se repite en forma continua en todas las escalas - sibi-similaridad -, como por ejemplo la curva de Koch o el triángulo de Sierpinski.
- b) *El dialecto no lo lineal*, en el cual encontramos los fractales cuadráticos, es decir aquellos que se generan a partir de números complejos y que presentan una gran variedad de órdenes y son dependientes de las condiciones iniciales, como los conjuntos de Julia y de Mandelbrot.
- c) *El dialecto aleatorio*. Todos los fractales comentados hasta ahora pueden ser considerados deterministas, dado que el azar no desempeña ningún papel en su construcción. La introducción de la aleatoriedad en los fractales, ha generado modelos mucho más cercanos a la realidad de los objetos naturales, como simulaciones de relieves y de plantas.



FRACATALES ALEATORIOS construidos mediante desplazamientos de puntos medios. En el ejemplo que se muestra, los puntos medios de los lados de un triángulo se desplazan perpendicularmente al plano del triángulo, hacia arriba o hacia abajo. Para fijar la magnitud de estos desplazamientos pueden prescribirse normas diversas, dependiendo del aspecto global de la superficie que se quiera modelar, cuya forma se aprecia en el diagrama obtenido mediante ordenador. (La representación de la superficie precisa de un dispositivo gráfico suplementario que una todos los puntos resultantes de los desplazamientos, al objeto de hacerla visible. En este ejemplo, la superficie se ha modelado mediante una red de cuadrados.)

En resumen, la designación de objeto fractal quedará siempre en términos relativos de las condiciones de observación y de los parámetros de control. Una de las herramientas de estudio de los fractales es la dimensión fractal y pese a que es insuficiente para abordar todas las características de un objeto fractal, es una herramienta *cuantitativa y cualitativa de la forma*² (cuantitativa por cuanto permite medir y cualitativa por cuanto da cuenta de una cualidad morfológica de fragmentación) que permite un acercamiento a nuevos aspectos de la forma y relacionarlos con los procesos por los cuales ésta se lleva a cabo.

¹ H. Jurgens y otros; El lenguaje de los fractales; Investigación y Ciencia. 1990.

² A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

3. Concepciones fractales acerca del pensamiento y de la arquitectura

El prominente psicólogo Carl Jung, durante el desarrollo de su *teoría de la colectividad inconsciente*¹, supuso que la experiencia estética en arte consiste en la elevación de imágenes de arquetipos hacia la mente consciente, por medio de estímulos generados por objetos artísticos. Estas imágenes se depositan en la colectividad subconsciente. Jung propone que, así como el cuerpo humano conserva los rastros de nuestros antepasados (signos vestigiales), la mente humana mantiene imágenes imprimadas en la parte más profunda de nuestra psique; las estructuras y modelos que se capturaron durante nuestro proceso evolutivo. *Nuestros juicios instintivos son dirigidos por arquetipos universales que fueron configurados por la interacción de seres humanos con sus ambientes durante las fases distintas de nuestra evolución*².

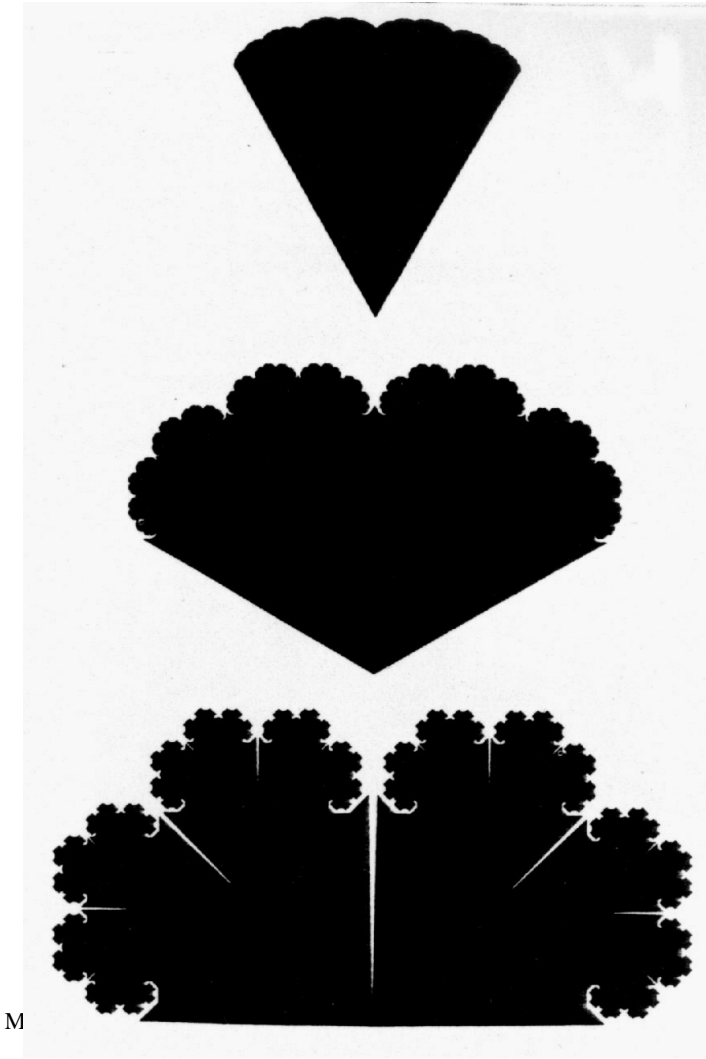
Estas ideas son apoyadas por la investigación actual en biología evolutiva, fisiología del cerebro y ciencia cognoscitiva. Estas disciplinas entran lo que nosotros podemos llamar *psicología evolutiva*³ y a través las cuales podemos proporcionar un cuadro de cómo la mente evolucionó durante milenios para adaptarse a este mundo cambiante. Hay un eslabón continuo de las rutinas de acción inconscientes más tempranas de otros animales, al desarrollo de idioma y la mente consciente

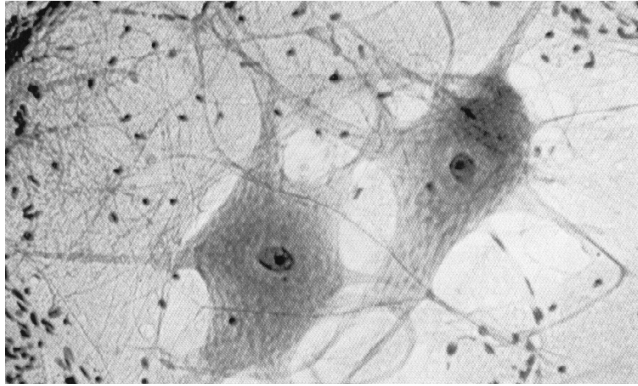
Los arquetipos de Jung corresponden más precisamente a patrones conjuntivos que a formas globales. La mente pone en código una imagen por medio de relaciones internas, como lo hacen también las computadoras, ya que lo que prima son las interconexiones, y es ése precisamente el punto que ha dado el norte a la investigación de la inteligencia artificial contemporánea (piénsese en las redes neuronales).

¹ C.G. Jung Houston Homepage.

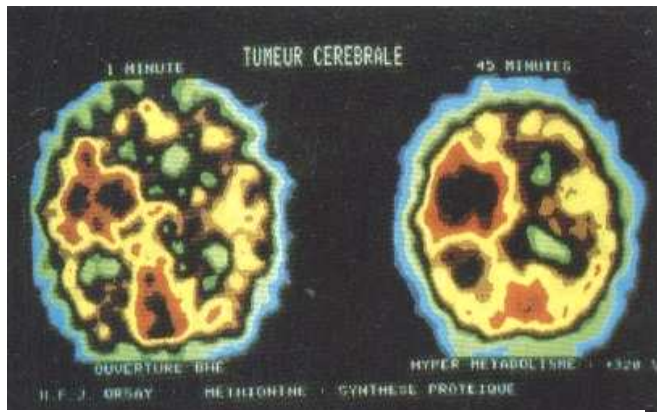
² C.G. Jung Houston Homepage.

³ V. Padrón and N. Salingaros; Ecology and the Fractal Mind in the New Architecture.





Neuronas, tal como se ven bajo el microscopio óptico. Los dos somas se encuentran metidos en una red de dendritas y axones (Carolina Biological Supply Company).



Tomografía Axial Computadorizada. El estudio de las diferentes zonas del cerebro se realizan mediante programas de análisis fractal.

Los fractales estructuran claramente los objetos de la naturaleza siguiendo los mecanismos de interacción física y de la evolución de la materia. Lo que los matemáticos, psicólogos y biólogos actuales implícitamente infieren es que; *del mismo modo que la estructura de nuestra psique, la colectividad subconsciente de Jung, es esencialmente fractal*¹. Este gran depósito de nuestros recuerdos hereditarios tiene que ser estructurado de la manera más sencilla y que permita una capacidad casi ilimitada de respuestas, pero también con muchas interconexiones para facilitar el flujo libre de información. ¿Qué podría ser más conveniente para entender esto que una estructura fractal?

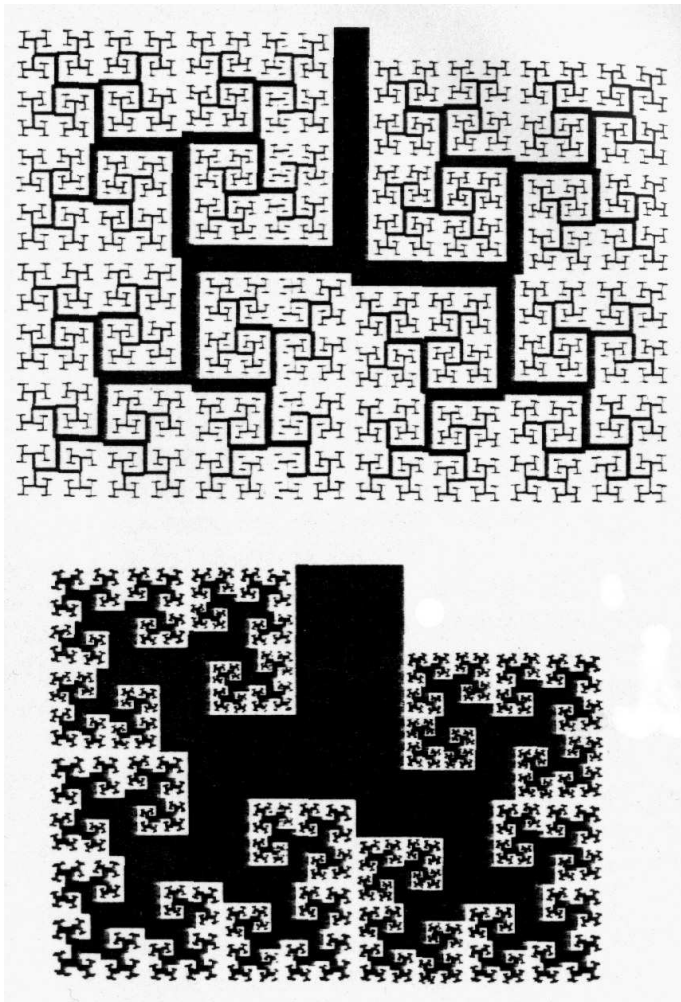
También es interesante observar que el nivel de "complejidad" de nuestra estructura mental está empezando a jugar un papel importante en el estudio de la salud mental. Recientes investigaciones en lo que se conoce como "Inteligencia Emocional" se oponen a la concepción monolítica de medir el IQ como una manera de apreciar la inteligencia de un individuo, y en cambio proponen el estudio de la adaptabilidad de una compleja estructura mental a las diversas situaciones. Esta capacidad de adaptación sería la responsable del éxito y de la felicidad de un individuo en nuestra sociedad, lo que demuestra una tendencia clara hacia una concepción fractal de la psique humana.

En 1986 Arnold Mandell realizó una serie de trabajos que apuntan a reconocer que *el funcionamiento de la mente también tiene una estructura fractal tanto en su base fisiológica como en la estructura semántica*². Con este punto de partida, muchos científicos emprendieron la aplicación de los formulismos del caos a la investigación de la inteligencia artificial. La dinámica de sistemas que vagaban entre cuencas de atracción, por ejemplo, atrajo a quienes buscaban la forma de establecer modelos de símbolos y recuerdos.

El físico que pensara en las ideas como regiones de límites imprecisos, separadas, aunque coincidentes, atrayendo como imanes y, al mismo tiempo, dejando ir, recurriría naturalmente a la imagen de un espacio de fases con "cuencas de atracción». Tales modelos parecían tener los rasgos idóneos: puntos de estabilidad mezclados con inestabilidad, y regiones de límites mutables. Su

¹ V. Padrón and N. Salingaros; Ecology and the Fractal Mind in the New Architecture.

² R. Colle; Informativo de estudio nº 2 P.U.C.



Modelos fractales de redes por ramificación.

estructura fractal ofrecía la clase de cualidad de autorreferencia infinita que posee, al parecer, importancia tan esencial en la capacidad de la mente para florecer en ideas, decisiones, emociones y demás elementos de la conciencia. *Con el caos o sin él, los científicos cognoscitivos honestos no pueden establecer ya un modelo de la mente como una estructura estática. Reconocen una jerarquía de escalas, desde la neurona en adelante, que brinda la oportunidad al juego recíproco de macroescalas y microescalas, tan peculiar como la turbulencia de los flúidos y de otros procesos dinámicos complejos*¹.

Pero estas ideas se anticiparon hace mucho tiempo de alguna manera a través de ciertas culturas orientales. Por ejemplo, no sólo se usan los Mantras y los sonidos de algunos instrumentos musicales como los cuencos tibetanos en ceremonias espirituales y rituales, sino que también se utilizan con propósitos curativos. Ellos tienen la propiedad de una gran riqueza armónica, conformando a una *escala fractal de sonoridades*² que producen el singular efecto en nuestra mente e través de su audición.

La dinámica de los procesos múltiples que ocurren en lo podríamos nosotros llamar *mente colectiva* hace pensar en algo sobre su estructura. Los volúmenes de este gran universo de la mente (ej., ideas y modelos) se interconectan. Podemos prever a la mente colectiva con interconexiones múltiples en muchos niveles diferentes, similares a la estructura fractal del sistema nervioso, como un fractal enorme. En su necesidad de comunicar los volúmenes de su mente nuestros antepasados desarrollaron el idioma hablado. Luego lograron escribir y más adelante serían capaces de crear libros, de imprimirlos, de inventar la fotografía y finalmente inventar las telecomunicaciones. Con cada paso en este progreso, la mente colectiva se hizo *más compleja e interconectada*³. Ahora, en la era de computadoras personales, la mente colectiva también incluye el Internet.

Sin lugar a dudas este enfoque de la mentalidad colectiva entendida como una estructura fractal es interesante como una nueva manera entender algunos

¹ R. Colle; Informativo de estudio nº 2 P.U.C.

² V. Padrón and N. Salingaros; Ecology and the Fractal Mind in the New Architecture.

³ V. Padrón and N. Salingaros; Ecology and the Fractal Mind in the New Architecture.

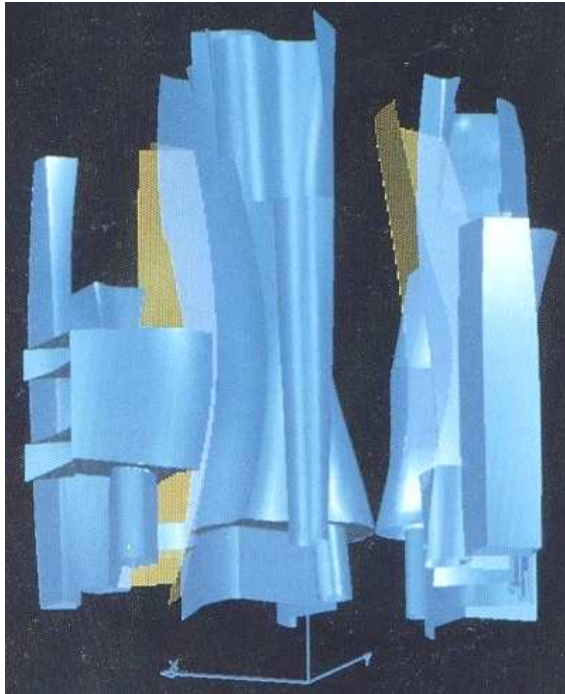
aspectos del pensamiento contemporáneo como estado de la cultura y se relaciona con la investigación en la medida en que reconocemos en Valparaíso una arquitectura vernácula de una elevada complejidad geométrica, la cual podría aceptar una investigación desde la perspectiva de los arquetipos y de las estructuras fractales. Sin embargo, debemos tener claro que estas teorías son sólo un postulado teórico incipiente y no podemos reducir únicamente a éste el complejo proceso de pensamiento y la génesis de la arquitectura, y sobre todo, que no puede justificarse la arquitectura a partir de esta sola idea.

Nikos Salingaros sostiene que dado el aumento de la complejidad de la mentalidad colectiva, *la arquitectura contemporánea debe tener una gran complejidad geométrica, como natural resultado de nuestra natural maduración intelectual*¹; que la arquitectura debe tener un manejo geométrico de una gran cantidad de escalas y detalles que serían propicios para ser comprendidos por la mente del hombre actual, por lo que se menosprecia gran parte de las obras de la arquitectura moderna, del minimalismo, o de cualquier obra que plantee una simplicidad geométrica ya que esta iría en contra de la naturaleza misma de la mente humana.

Por supuesto que en este nivel no podemos aceptar estas afirmaciones de carácter más estilístico que arquitectónico. Sabemos que varias obras de la arquitectura moderna, como la misma iglesia de Ronchamp de Le Corbusier, (la cual ha sido estudiada por Salingaros y catalogada como topológica (no fractal)²) ha alcanzado una real trascendencia en la historia de la arquitectura y es aún considerada como una obra maestra, la que difícilmente podría producir efectos negativos en nuestra mente, e ir más allá aún, proponiendo un escepticismo radical frente a un único punto de vista de valoración de la arquitectura. Pero por otro lado no podemos desconocer la creciente tendencia de los arquitectos contemporáneos en realizar una arquitectura cada vez más compleja en cuanto a su geometría, dadas las temáticas arquitectónicas propias de este momento cultural y las posibilidades que el diseño asistido por computadora (CAD) brinda para la exploración de nuevas posibilidades geométricas.

¹ V. Padrón and N. Salingaros; Ecology and the Fractal Mind in the New Architecture.

² N. Salingaros; A Scientific Basis for Creating Architectural Forms.



Frank O. Gehry, Estudio geométrico para el Museo Guggenheim de Bilbao, España 1991-1997, dibujo asistido por computadora.

Lo que realmente pareciera importar de esta perspectiva fractal, no es tanto considerar los productos (obras) y las reglas de valoración que de ella se desprendan, sino el aporte que brinda de adquirir un nuevo punto de vista de los procesos por medio del cuales surge la geometría de las obras, la manera de realizar su creación. Es en este sentido que se hace interesante plantear el tema, no como una conclusión, sino como una apertura, que ayude particularmente al entendimiento de una arquitectura porteña, frente a la cual podemos plantear como una interrogante la posibilidad que brinda entender la mentalidad colectiva con una estructura fractal, la cual podría valerse de las ideas de Jung para explicar la forma arquitectónica. No obstante, en el ámbito del trabajo de este seminario, se hace inalcanzable la profundización en esta temática que involucra

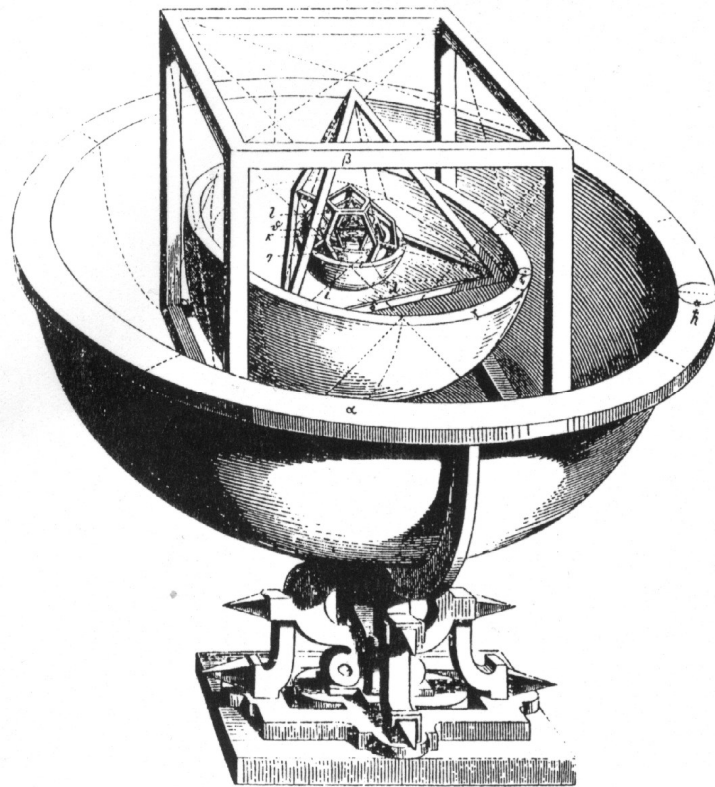
Para ello, nos es esencial considerar el cambio que produce la teoría fractal y las teorías de complejidad en general, en el entendimiento de la noción de orden, cuya importancia desborda el campo de la geometría y que puede ayudarnos a situar un punto de vista de la creatividad.

4. Noción de orden

La rígida cosmovisión del universo tradicionalmente ha determinado que consideremos la idea de orden como algo rígido y estático que ha formado parte de nuestra cultura. Mientras el pensamiento ha avanzado desde una visión antropocósmica del universo a la de un pensamiento sin fin ni centro y la ciencia ha evolucionado para estudiar estructuras complejas, nuestras nociones del orden todavía encuentran su paradigma en el modelo Cartesiano. Hay un orden subyacente en muchos de aquellos sistemas aparentemente caóticos que nosotros observamos en la naturaleza y en las obras de arte. Y no se trata de intentar racionalizar ni las artes ni la naturaleza, reduciéndolas sólo a su perspectiva geométrica, sino de comprender que el orden implícito en ellas es fruto de una complejidad intrínseca, la cual buscamos como guía de nuestros procesos creativos.

Sabemos que la noción de orden es parte de la perspectiva con que el hombre entiende el universo. En este sentido es una idea muy amplia que trasciende el ámbito de la geometría y se inserta en el ámbito cultural mismo.

"La noción de orden está en la naturaleza misma y su significado en el pensar y el actuar del hombre¹" nos declaran Peat y Bohm. Recordemos que la noción de orden que se extiende desde los griegos, cuando Aristóteles hablaba de *"un orden eterno de perfección creciente, que iba de la materia terrestre a la celeste²"* se mantiene prácticamente hasta la Edad Media, en que este esquema se había extendido tanto que se encontró una base eterna en el orden de la religión y la filosofía, de las cuales surgían las leyes, la ética y la moral que regulaban la sociedad. Tras la Edad Media este orden dio paso a un nuevo *orden secular* (El "nuevo



El universo representado en uno de los primeros modelos de el sistema solar de Kepler, que consistía en sólidos platónicos unos dentro de otros, relacionando los radios de las esferas concéntricas que intervenían en las órbitas de los planetas. (1571-1630).

¹ D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.121.

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.123.

"El tiempo es nuestra dimensión existencial fundamental. Es la base de la creatividad de los artistas, los filósofos y los científicos. La introducción del tiempo en el esquema conceptual de la ciencia clásica fue un inmenso progreso. Sin embargo, empobreció la noción de tiempo, por que no se hizo ninguna distinción entre pasado y futuro. En cambio, en todos los fenómenos que percibimos a nuestro alrededor, ya sea en física macroscópica, en química, en biología o en las ciencias humanas, el futuro y el pasado tienen distintos papeles. Encontramos por doquier una flecha del tiempo. Se plantea, pues la pregunta de cómo puede surgir del no tiempo la flecha del tiempo ¿Es sólo una ilusión el tiempo que percibimos? La cuestión nos lleva a la paradoja del tiempo.."

I. Prigoginne; Las Leyes del Caos; p.

orden secular" es el motivo del sello real de los estados unidos)¹ en que todo se consideraba sujeto al fluir del tiempo. La comparación del universo con un organismo dio paso a compararlo con un mecanismo, y la imagen favorita del siglo XVIII era la de *un mecanismo de relojería*², dada la idea de mecanicidad planteada en la mecánica de Newton, en la que el tiempo y el espacio siguen siendo absolutos, por lo que aún subyace la idea del viejo orden planteado por Aristóteles.

La Teoría de la Relatividad de Einstein plantea que el la noción del tiempo y del espacio dependen del observador, cambiando totalmente el esquema planteado anteriormente. Por último, la Teoría Cuántica y el Principio de Incertidumbre cuestionan la base misma del orden mecánico. Por otro lado, se ha planteado desde Nietzsche, la ruptura de una armonía última, de una esperanza de explicación única del mundo, de un orden último del universo.

*"Toda esta transformación del orden eterno ha traído un movimiento que se aleja de lo absoluto y se acerca a la idea de que las cosas son intrínsecamente relativas y dependientes de condiciones y contextos"*³.

Frente al esquema de la Edad Media en que el significado del tiempo es la eternidad, se plantea una visión más profunda, la de dar al tiempo el rango de lugar, siendo la base del cambio de la noción de orden en la ciencia, la paradoja del tiempo.

Hoy en día, incluso la Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica están siendo cuestionadas. Hawking plantea que los agujeros negros son fenómenos singulares de la estructura del espacio tiempo en las cuales "se vienen abajo todas las leyes de la física hasta ahora conocida, incluidas la de la relatividad y la cuántica, y en la que las estructuras básicas, como las partículas elementales dejan de existir. Se ha llegado a sugerir que el universo comenzó con una singularidad de este tipo, en forma de

¹ D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.123.

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.124.

³ D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.125.

*gran explosión*¹". Todos los restos de orden eterno, con sus ciclos naturales y armonías, han sido totalmente barridos.

Nuestra interrogante es entonces, como podemos concebir la noción de orden, como podemos entender lo que es orden, sobre todo si consideramos la relatividad del espacio y del tiempo y la relatividad de la realidad que nos rodea. ¿Es el orden sólo un producto de nuestra mente o tiene una realidad objetiva propia?. Pareciera sencillo si examinamos la simetría de un copo de nieve, una estrella de mar o la concha de un caracol, en las cuales la noción de orden es evidente en el objeto. Pero cuando hablamos de nociones como de sistemas, estructuras, o de los arquetipos de Jung, cabe preguntarnos hasta que punto estos órdenes son sólo funciones de nuestra mente y si tienen una existencia objetiva e independiente. La respuesta, por muy general y abstracta que pudiera parecer, es planteada por Peat y Bohm en los siguientes términos.

*"Podría servir de ayuda recordar a Korzybski y hacer hincapié en que cualquier cosa que digamos que es el orden, no lo es. Es más de lo que decimos y es capaz de desplegarse de infinitas maneras diferentes. Intentar atribuir el orden solamente al objeto o al sujeto resulta demasiado limitado. Es ambos y ninguno, e incluso va mas allá de todo esto: un proceso dinámico en el que se ven implicados el sujeto, el objeto y el ciclo de percepción-comunicación que los relaciona. Este enfoque sugiere que ningún orden constitutivo es una verdad absoluta, ya que en realidad su capacidad para conducir a una actividad coherente y consistente es siempre limitada*²".

La idea misma de plantear el orden como un proceso relativo deriva en que no existe una idea de orden única y que a medida que los contextos cambian, los órdenes deben ser constantemente creados o modificados. El asunto del orden es demasiado complejo para ser resumido en una definición (aunque sea parcial) única. Existe orden en el crecimiento de un organismo, en el lenguaje, en el pensamiento, la música, las artes y en la

¹ S. Hawking; Historia del Tiempo; p.115

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.138.

sociedad en general, y podríamos suponer algún tipo de orden a partir de cualquier cosa.

Si pensamos en el ejemplo dado para explicar un sistema dinámico y uno lineal, es decir el del riachuelo y el del río de aguas turbulentas, podemos recordar que en el primer caso en el cual arrojábamos un corcho en un riachuelo con un pequeño torrente, con dos datos podíamos saber fácilmente la trayectoria del corcho, lo que no sucedía con el caso del régimen turbulento (caótico). Esta paradoja puede resolverse fácilmente mediante la propuesta de que la noción de orden depende en realidad del contexto.

Pero para acercarnos más concretamente a la noción del orden recogeremos las ideas de Peat y Bohm de que "*nuestras primeras nociones de orden dependen de nuestra habilidad para percibir similitudes y diferencias*¹", ideas que se fundamentan en una serie de estudios realizados por psicólogos e investigadores de los procesos cognitivos. Ellos plantean que esta capacidad permite una categorización, es decir, que se colocan juntas cosas que han sido seleccionadas (por su diferenciación con el contexto) y en las cuales no se consideran tan importantes sus propias diferencias, como la diferencia total con su contexto. Por ejemplo al observar una bandada de pájaros en un árbol, la categoría de pájaros se forma al reunir cosas que se distinguen simultáneamente de aquellas que no pertenecen a esta categoría, como las hojas del árbol, que corresponden a otra categoría. Luego podríamos ver que hay pájaros grandes y otros pequeños, por ejemplo, e ir creando así otras categorías. "*La selección y colección se convierten en dos partes inseparables de un único proceso de categorización*²", proceso dinámico que por cierto puede cambiar en multitud de formas, al seleccionarse distintas similitudes y diferencias, generando distintos órdenes.

Dicha categorización descansa en el proceso de percepción, que tiene lugar *tanto en la mente como a través de los sentidos y que involucra el*

¹ D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.129.

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.130.

*cuerpo entero*¹, sentando la base de la creatividad en la noción de inteligencia. En el apartado anterior ya se había planteado la ambigüedad con que se usa esta palabra actualmente. Al respecto podemos remitirnos a su etimología que parte del latín *intelligere*, que significa "reunir en medio". Según Peat y Bohm esta expresión equivaldría a "leer entre líneas", proponiendo que la inteligencia es "la capacidad de la mente para percibir lo que existe "en medio" y crear categorías nuevas²". En contraste, *intelecto* es el participio pasado de *intelligere* por lo que podría interpretarse como lo que ha sido recogido. El intelecto es un esquema fijo de categorías ya existentes, mientras que la inteligencia es un acto de percepción creativo y dinámico, que tiene lugar *en el libre juego de la mente*³. Podemos agregar además que el test de CI mide más bien un coeficiente de intelecto que de inteligencia.

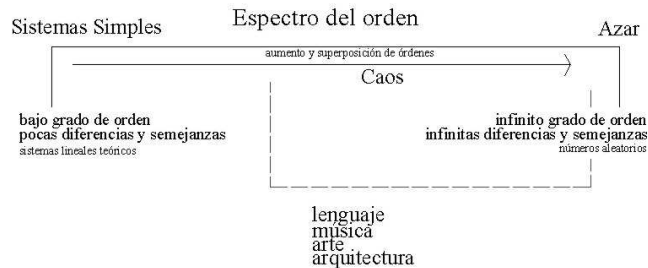
Por último podemos vislumbrar la noción de orden como un proceso de percepción y elaboración de *diferencias semejantes y semejanzas diferentes* que involucra tanto al objeto como al sujeto.

¹ F. Labra; Apuntes del curso de Fractales 1999 de la Escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.132.

³ D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.133.

4.1 En búsqueda de nuevos ordenes para las artes



Es apropiado aclarar que la noción de orden comprende tanto sistemas muy simples y predecibles, como el del riachuelo, al que podríamos denominar como un sistema de orden muy bajo, y sistemas dinámicos como el del río torrencioso, que tienen un grado de orden altísimo. Desde esta perspectiva, podemos decir *que lo que Prigogine denomina Caos, no es en realidad un completo Caos, sino más bien un orden aleatorio inicial sobre el que se superponen una serie de otros órdenes*. Entonces debemos considerar que la noción de orden se comprende *dentro de un espectro del orden* que abarca desde sistemas de grado muy bajo hasta el azar. El azar se entiende como "*un comportamiento aleatorio y errático del cual no puede deducirse nada*"¹ y entre éste y el orden absoluto, se encuentran el lenguaje, la música, el arte y la arquitectura.

Dentro de lo que hemos denominado el espectro del orden, podemos decir que el *lenguaje, la arquitectura y las artes, oscilan en algún punto entre los órdenes de grado bajo y el azar*². El mismo Barthes nos habla de la lectura "*levantando la cabeza*"³; es decir de esta otras lecturas que se desprenden en el acto de leer un texto, lo que nos parece bastante cercano a lo que sucede en las artes, de las cuales se desprenden siempre esas otras lecturas, por lo que podríamos sugerir que éstas tienen un grado de orden tendiente al infinito. Pero ciertamente, en las artes y el lenguaje, a pesar de que se pueden considerar de grado infinito, hay una sutileza que las diferencia del modo de ordenamiento del azar, que es errático y de naturaleza relativamente mecánica, como los números aleatorios.

¹ A. Quezada, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.147.

³ R. Barthes; El susurro del lenguaje; p.35.

Una aproximación bastante interesante es el planteamiento de la idea de orden generativo, propuesta como un ordenamiento que se encuentra en el proceso creativo mismo y que tiene un potencial en el acto de desarrollo de la obra.



Victoire, P. Cézanne.

"Orden generativo: *Es aquel que se genera y continúa en otros órdenes, aquel que tiene un potencial. Así como en una pintura (al menos en este siglo) el pintor no empieza por los detalles, sino captando la totalidad, y afinando poco a poco su obra, en la que cada pincelada condiciona y llama a la otra...¹*".

Esta idea se hace presente a partir de una fuente generativa, desde la cual se logran cada vez aproximaciones más definidas.

"... Tanto en la ciencia como en el arte es necesario que las formas que se van haciendo más definidas sean abiertas, en cada estadio, al tipo de juego libre que resulta fundamental para la creatividad²" .

Por supuesto que el orden generativo de una pintura escapa a toda definición, pero lo que queda claro es que es muy diferente al ordenamiento de una máquina. Lo que las nuevas teorías de complejidad han aportado a la noción de orden es una diferencia enorme en la manera de entenderlo; de la cual se han extraído los siguientes criterios:

El enfoque tradicional de orden, se presentaba como eterno y estático, como verdad absoluta que regía los cánones de las obras, que se fundamentaban en una geometría, que podríamos llamar de *composición* en la que el todo *está determinado y constituido por las partes* (criterio mecanicista).

¹ D. Zerega; La legibilidad de la ciudad; Revista Facultad de Arquitectura; p. 13.

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.178.

La nueva perspectiva del orden como un proceso generativo, es capaz de recoger de la teoría del caos y de la de los sistemas de Von Bertalanffy la idea del orden como un fenómeno *emergente*¹ del mismo proceso de generación, en el cual el todo es indisoluble. Proponemos para entender este orden el uso de una geometría de estructuración (en los términos planteados por Piaget) en base a la categorización de diferencias semejantes y semejanzas diferentes.

Esta propuesta no presupone que el orden generativo conlleve a la forma final como un resultado más detallado de la idea generativa (aunque es una opción), puede constituirse una forma final también como una "simplificación" de la realidad, como en la obra de Matisse, en las cuales la reducción de los detalles crea un orden más sutil y complejo, de trazos que logran una gran carga dinámica de ritmos que generan un orden altamente perceptivo por parte del observador. Podríamos reconocer una serie de órdenes muy complejos aparte de los trazos, como de la luz, la textura, la tridimensionalidad, etc. y proponer su estructura en base a las semejanzas y diferencias necesarias, sin necesidad de entrar en el significado del cuadro. La propuesta se hace interesante al pensar en el potencial que tiene para el estudio del arte contemporáneo.

"La actividad de leer y entender una obra de arte lleva consigo un acto de percepción creativa de unos órdenes generativos nuevos, que subyacen a ese trabajo en concreto, y se extienden a la totalidad de la naturaleza y la experiencia."²

¹ Este concepto se refiere a que la descomposición de sistemas en unidades menores avanza hasta el límite en el que surge un nuevo nivel de emergencia correspondiente a otro sistema cualitativamente diferente. E. Morin (Arnold. 1989) señaló que la emergencia de un sistema indica la posesión de cualidades y atributos que no se sustentan en las partes aisladas y que, por otro lado, los elementos o partes de un sistema actualizan propiedades y cualidades que sólo son posibles en el contexto de un sistema dado. Esto significa que las propiedades inmanentes de los componentes sistémicos no pueden aclarar su emergencia. Para mayor profundización, consultar anexo de teoría general de sistemas.

² D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.192.

4.2. El aporte de los fractales

"Entre el orden absoluto de la geometría tradicional y el caos total hay un orden intermedio que es el de los fractales¹".

Por **orden fractal** podemos entender un *orden generativo que se compone de diferencias semejantes a partir de uno o varios principios geométricos generadores (de ello depende su complejidad) en diferentes escalas²*. Un modo personal de entenderlo es como un *proceso generador de formas a partir de una misma estructuración geométrica en todas sus escalas*.

Con todo, sabemos que el número de escalas que consideremos para estudiarlo, es una elección del sujeto y produce variaciones en los resultados de la observación. Recordemos que el fractal como sistema dinámico es sensible a las condiciones iniciales y los parámetros de observación, por lo que la noción de orden fractal es de naturaleza relativista (concordantemente con lo expresado del orden como dependiente de sus condiciones y contextos).

Si bien, desde el punto de la teoría del fractal, el fractal es generado a partir de una ecuación simple o de una figura geométrica simple, el valor de la capacidad de esta herramienta es invertir la complejidad y explicar sistemas complejos en base a estructuras más o menos simples (esta es la forma de su aplicación en varios campos).

Es particularmente interesante el hecho de *que puede derivarse un orden local de un orden general, lo inverso del punto de vista normal, en el que suele verse el orden global como el resultado del local³*. Es en este sentido, gobernado por uno, o varios, principios generales inmanentes.



Mariposas. Xilografía. Escher

¹ F. Labra, apuntes del curso de Fractales 1999 de la escuela de Arquitectura de la U. de Valparaíso.

² D. Zerega; La legibilidad de la ciudad; Revista Facultad de Arquitectura; p. 13.

³ D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.186.

Como la idea de totalidad va mas allá de la mera composición del todo a través de las partes, la idea de jerarquía que tradicionalmente se usa también sufre un cambio. Si nos remitimos al significado de jerarquía "*gobierno de sacerdotes*¹" la cual apunta a pensar que las partes más pequeñas están dominadas por las más grandes. Las jerarquías que surgen de esta perspectiva ya nos son fijas y rígidas, en las que los niveles más bajos están dominados por los más altos, sino que se desarrollan *a partir* de un principio generativo inmanente que va de lo más general a lo menos general.

¹ D. Peat y D. Bohm; Ciencia, Orden y Creatividad; p.184.

5. La idea de lugar

"La cuestión de la arquitectura es en realidad la cuestión del lugar, del tener lugar en el espacio. El establecimiento de un lugar, que hasta ese momento no existía y que está en armonía con lo que tendrá lugar ahí algún día, eso es un lugar.¹"

Dentro del gran espectro de las ciencias y filosofía actuales podemos encontrar un punto singular, de difícil delimitación; la denominada *lógica del lugar*², de ubicación incierta dentro del pensamiento contemporáneo, en el sentido de que no podemos adscribirla a ninguna disciplina en particular. Con sus orígenes desde el mundo griego, en Aristóteles y luego Platón, la idea de lugar ha sido abordada por una gran cantidad de autores (ver recuadro) que han ido forjando una verdadera filosofía del lugar. Filosofía de la cual derivaremos sólo algunos aspectos necesarios para plantear la problemática. Más que rehuir de la investigación de la lógica del lugar, plantaremos una pequeña selección de nociones pertinentes al estudio sin el afán de reducir a ellas la temática del lugar, que es en sí misma un vasto campo de exploración que mantendremos abierto por ahora.

Rastreando en la etimología de la palabra lugar, encontramos que deriva del latín 'localis'³, que significa: local o del lugar. Allí, en el concepto original, se implica necesariamente el sentido de pertenencia, en indudable referencia a un humano sentimiento de utilización del espacio. Por eso podemos aclarar que cuando hablamos de lugar, nos referimos a una noción que va más allá de la referencia a un sitio, o a un espacio, en realidad queremos apuntar a una experiencia de habitar concreta. Al respecto podemos reconocer al lugar como

Siglo	Operativos	Figurativos	Linguísticos
XVI	Galileo (1564)		
	Descartes (1596)		
XVII		Spinoza (1632)	
		Leibniz (1646)	
XVIII	Euler (1707)		
	Boacovich (1711)		
XIX	Boole (1815)	Kant (1724)	Humbolt (1767)
	Mach (1838)	Hegel (1770)	
	Pointcaré (1854)		
		Husserl (1854)	
	D'Arcy Thompmon (1860)		
	Rusell (1872)	Cassirer (1874)	Saussure (1857)
	Einstein (1879)	Bachelard (1884)	Guillaume (1883)
		Minkowski (1885)	Sapir (1884)
		Heidegger (1889)	
			Hjemslev (1899)
	Nicod (1900)		
		Merleau-Ponty (1908)	

Selección de autores sobre la filosofía del lugar (Año de nacimiento.)

¹ J. Derridá; entrevistado por E. Mayer, Revista Domus 1986.

² J. Muntañola; La arquitectura como lugar; p.19

³ Diccionario Larousse Ilustrado 1997.

una categoría existencial compleja (en el sentido amplio en el que hemos planteado la complejidad), bastante distinta de la referencia al espacio, mucho más genérica y abstracta. Montaner al respecto nos aclara:

"...los conceptos de espacio y de lugar se pueden diferenciar claramente. El primero tiene una condición ideal, teórica, genérica e indefinida, y el segundo posee un carácter concreto, empírico, existencial, definido hasta los detalles..."¹

Lo que se está planteando no es otra cosa que la noción de lugar relacionada fenomenológicamente con el hombre y con su esencia no sólo en el espacio mismo sino también en la vida que se desarrolla en él, o si se quiere ser más preciso, en sus *acontecimientos*. Lo anterior no quiere decir que los acontecimientos sean indiferentes al espacio o realidad física del lugar, sino más bien, como nos lo plantea Alexander, que los acontecimientos corresponden a una unidad indisoluble entre las acciones que se dan lugar, y los elementos del espacio físico que las acoge.

"La acción y el espacio son indivisibles. La acción se apoya en el tipo de espacio. El espacio apoya este tipo de acción. Ambos forman una unidad, un acontecimiento en el espacio"²

Entonces la labor del arquitecto podría ser la construcción de lugares, de lugares que como dice Derridá, no existían antes, y en los cuales se habitará. Construirlos implica la consunción del lugar. No obstante, el construir siempre trae consigo una cierta violencia, se quiera o no, sobre el lugar. El sitio, el suelo de que el arquitecto dispone, está siempre expectante, atento al momento que lo transformará y le hará jugar un papel activo en el curso de los *acontecimientos*.

Una visión bastante esclarecedora de la noción de lugar es la que nos entrega Montaner:

"Los lugares ya no se interpretan como recipientes existenciales permanentes, sino que son entendidos como focos de acontecimientos, como concentraciones de dinamicidad, como caudales de flujos de circulación, como

¹ J.M.Montaner; La Modernidad Superada; p.32.

² C. Alexander; El Modo Intemporal de Construir; p. 69.

escenarios de hechos efímeros, como cruce de caminos, como momentos energéticos..¹".

Lo anterior nos sitúa en una perspectiva de lugar que considera la temporalidad de los hechos, frente a la cual el lugar es más que sólo un contenedor de acontecimientos, correspondiendo a una construcción compleja y variable que permite su ocupación. También se plantea en forma implícita que el lugar no es un ente independiente en si mismo, sino que surge de la que pudiese establecer con su contexto. Es este un aspecto importante dentro del desarrollo de la idea de lugar, al cual nos aproximaremos desde un punto de vista geométrico en el siguiente apartado.

¹ J.M.Montaner; La Modernidad Superada; p.32.

5.1. Acerca de la geometría del lugar

Cuando nos preguntarnos acerca de cual puede ser la esencia de los lugares o quizá al evaluar por que consideramos que algunos lugares son mejores que otros, sabemos que no podremos encontrar una respuesta única; eso que apreciamos de algunos lugares es difícil de aprehender, sobre todo al considerar que la experiencia de habitar un lugar es a través de todos los sentidos. Pero tampoco se trata de atribuir una magia oculta y última que de cuenta de ese lugar, no es el caso el de crear una metafísica que nos libere de la curiosidad de aprender, sino tal vez aproximarse buscando lo que Alexander ha denominado como *cualidad sin nombre*¹; buscando interminablemente ese cúmulo de relaciones que logran aquello que no podemos nombrar, pero que nos seduce. Y sin duda que el carácter geométrico es parte importante de esta cualidad, pese a que nunca podremos atribuir exclusivamente la cualidad sin nombre a la pura geometría del lugar.

*"Por que cuando una ciudad o un edificio viven, siempre podemos reconocer su vida, no sólo en la evidente felicidad que allí se experimenta, no sólo en su libertad y relajamiento, sino también en su aspecto puramente físico. Por que siempre poseen cierto carácter geométrico*²".

Compartimos con Alexander la propuesta de que podemos encontrar una vinculación entre la los acontecimientos que suceden en los lugares y su configuración geométrica. Este es uno de los planteamientos fundamentales que serán recogidos en la conformación de las hipótesis al proponer un acercamiento a los lugares (y acontecimientos) de los casos escogidos desde una perspectiva geométrica.

¹ C. Alexander; El Modo Intemporal de Construir; p.29.

² C. Alexander; El Modo Intemporal de Construir; p.71.

5.2. Envoltente del lugar

Para acercarnos a la idea de envoltente, podemos remontarnos inicialmente hasta Aristóteles, quien define el lugar (ó tópos) a partir de dos conceptos; el de envoltura límite y el de la inmovilidad de ésta:

"El lugar es la primera envoltura interior, en reposo, que posee el cuerpo envoltente.

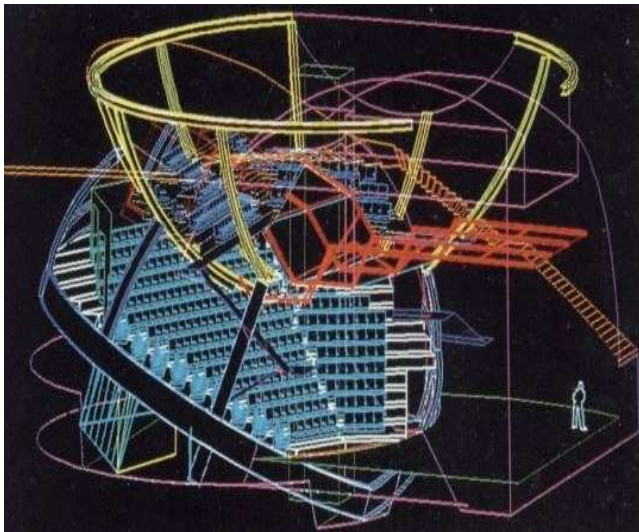
El lugar está en algún lugar, pero no como una cosa está en un lugar, sino como el límite está en lo que lo limita.

Un cuerpo está en un lugar si tiene otro cuerpo que lo envuelve¹".

El lugar se nos presenta como un receptáculo fijo y determinado en el conjunto del mundo, sin embargo, su función viene definida respecto del cuerpo que lo ocupa (aunque Aristóteles tiene buen cuidado de advertir que el lugar no es cuerpo, si no se quiere que dos cuerpos existan en uno solo). El cuerpo localizado, que ya es móvil, susceptible de ocupar diferentes lugares, aunque ello nada afecte a su sustancia, como les ocurre a los astros. Y así como un cuerpo puede, en general, ocupar sucesivamente varios lugares, así un lugar puede ser ocupado por diferentes cuerpos.

Entonces el planteamiento de Aristóteles nos lleva a la idea de una envoltura límite en la cual coinciden la frontera interior de lo que conforma el lugar y la frontera exterior del cuerpo. Muntañola nos aclara :

"La noción de Aristóteles es pues, "modernísima", ya que en la noción de límite, lo que importa no es la movilidad o inmovilidad del límite en sí, sino la coincidencia entre las dos fronteras descritas. El límite es inmóvil porque existe una "constancia de vecindad" entre lo que envuelve y lo envuelto en el lugar, o entre el continente y el contenido²".



Estudio de la envoltente del Ince Theater, Culver City, California, realizado por computadora por E. Owen Moss.

¹ Física, tomo IV, 209b. Se de notar que Física viene de Phisis, que en griego significa naturaleza y no ciencia física, en un sentido contemporáneo. J. Muntañola; La arquitectura como lugar; p.20.

² J. Muntañola; La arquitectura como lugar; p.21.

La idea de lugar, de todos, ha sido siempre central en la relación del hombre con su medio ambiente. El diseño de esta casa investiga el significado del lugar, y cómo éste ha sido afectado por una cambiante comprensión del mundo, desde el tiempo de los romanos, cuando el cruce entre el “cardo” y el “decumenus” marcaba el topos del campamento romano. El hombre ha estado definiendo lugar como la marca, sea una cruz o un cuadrado, un claro en un bosque o un puente sobre el río, en su intento para sobrepasar a la naturaleza. Hoy dos han sido las causas de traer la problemática sobre las formas tradicionales de hacer lugar:

1. La tecnología a abrumado a la naturaleza, el auto y el avión con su potencial para una ilimitada accesibilidad han hecho obsoletos las grillas racionales y los patrones radiales propios del siglo XIX.
2. El pensamiento moderno a encontrado cosas racionales dentro de la razón tradicional y se ha visto que la lógica contiene también lo ilógico.

Estos desafíos al orden habían sido reprimidos por la razón tradicional, pero dada la actual condición del hombre éstas ideas no pueden continuar siendo reprimidas.

En arquitectura esto se ve como interrogante de si la manera en que el hombre está haciendo la conquista de la naturaleza es significativa y más aún, consciente de que el lugar (topos) siempre ha contenido al no lugar.

Junto con esta ruptura del concepto tradicional de lugar ha llegado una ruptura recurrente de las categorías tradicionales de figura - base y estructura - objeto (en cuanto a entes separados y separables).

Desde los tiempos antiguos ha habido una “otra” definición de lugar que sugiere tal simultaneidad de dos estados considerados tradicionalmente contradictorios. Esto se encuentra desde Platón en su definición de receptáculo - chora - como algo *entre* el espacio y el objeto, entre el *continente* y el *contenido*. Para Platón el receptáculo es como la arena en la playa, no es un objeto en un lugar, sino un registro del movimiento del agua, que deja trazar las líneas de marea alta, marcando sus niveles - erosión - con cada ola sucesiva, que “retrocede” hacia el agua y tal como el pie deja su huella en la arena, la arena permanece como una traza del pie ; cada uno de esos residuos y acciones están fuera de cualquier orden racional o natural, son ambos y ninguno.

Hoy en día, tras el invento de la Teoría de la Relatividad, no podemos concebir el mundo como un universo circular, cerrado y eterno, y por lo tanto, inmóvil como lugar figurado. Sin embargo en el planteamiento Aristotélico, que es el primer tratado general sobre la lógica occidental del lugar, podemos ya encontrar la problemática de la envoltura límite, que lo forma, y que es parte de lo que envuelve y lo envuelto, y que está a la vez como desligada e independiente, pese a formar parte de ambos. En las palabras de Muntañola:

“...el lugar se identifica con la noción de contacto como límite de dos cuerpos en afinidad, determinándose un equilibrio ...”¹

La noción de lugar a la que queremos llegar, se sitúa dentro de una línea de pensamiento que persigue la geometría de las construcciones de los cerros de Valparaíso; de una geometría que hemos llamado de “*transformación*”², es decir que reconocemos un habitar que se está equilibrando constantemente con el paisaje, con la luz, etc. Por eso no podemos conformarnos con la sola idea Aristotélica de una envoltura estática (y por ende, también el lugar).

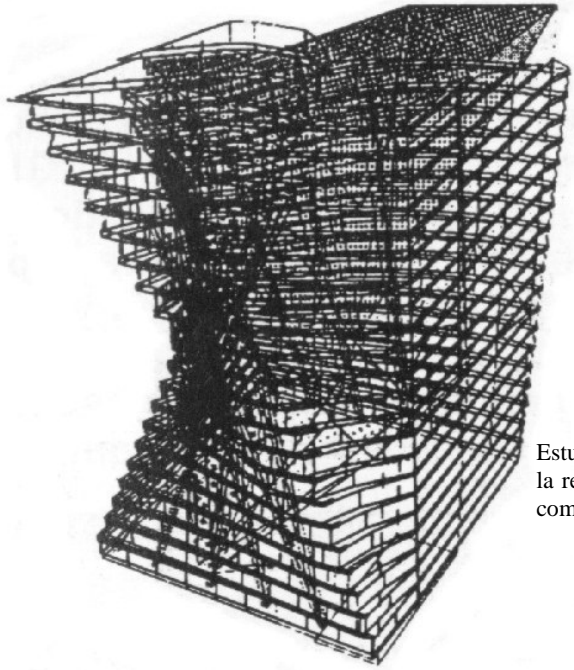
Un referente más contemporáneo y de bastante interés podemos encontrar en los estudios de Peter Eisenman, quien en su texto de presentación de la Casa Guardiola, aparte de poner en cuestión la concepción de lugar frente a la postmodernidad como estado de la cultura, nos remonta a Platón para sugerir la noción de lugar ligada a la de receptáculo, como algo entre el continente y el contenido, diferenciándose de Aristóteles, al considerar el receptáculo desde una perspectiva dinámica que abarca los estados del movimiento y de la traza (huella) en forma simultánea.

Más adelante, podemos encontrar en el mismo Eisenman el desarrollo de la Casa Immendorf ¹, la cual se plantea a través el movimiento de las envolventes, en la cual surge un espacio “entre” como fruto de la interacción entre una “envolvente interior” y una “envolvente exterior”.

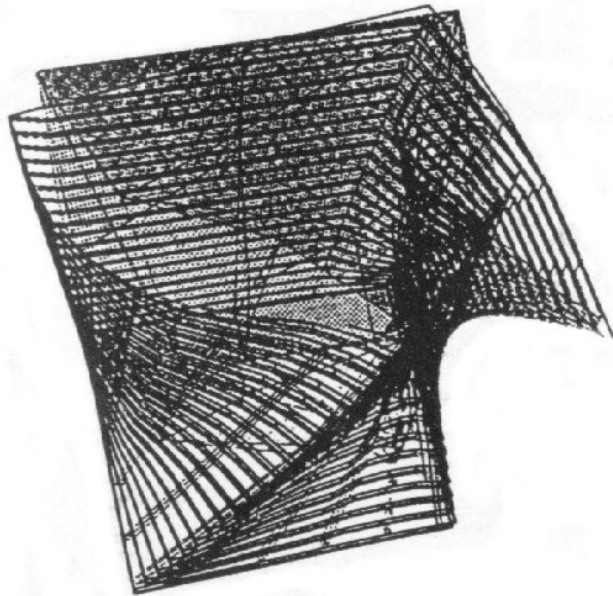
Entenderemos la envolvente, de ahora en adelante, en una concepción dinámica de transformación, para diferenciarla del término envoltura, aparte que

¹ J. Muntañola; La arquitectura como lugar; p.21.

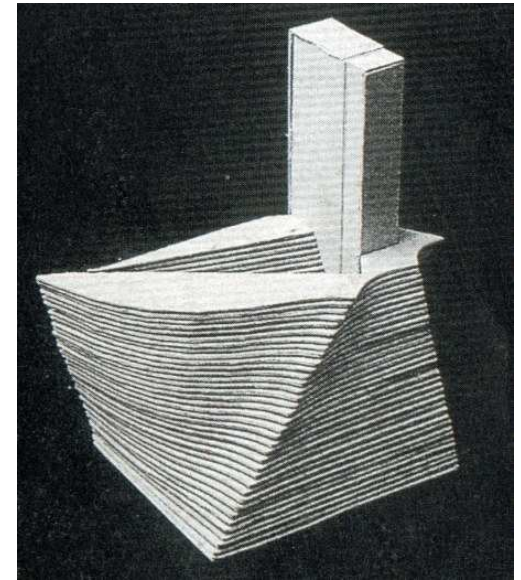
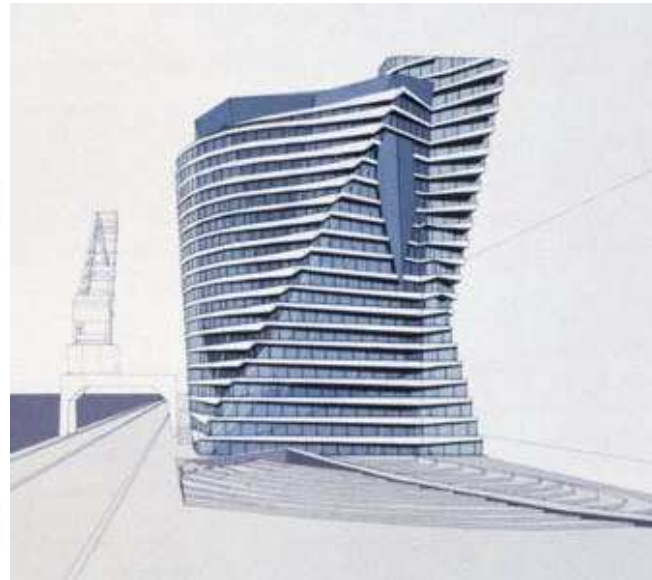
² E. Alvarado; Seminario Investigaciones sobre geometrías; p.13 1ª parte.



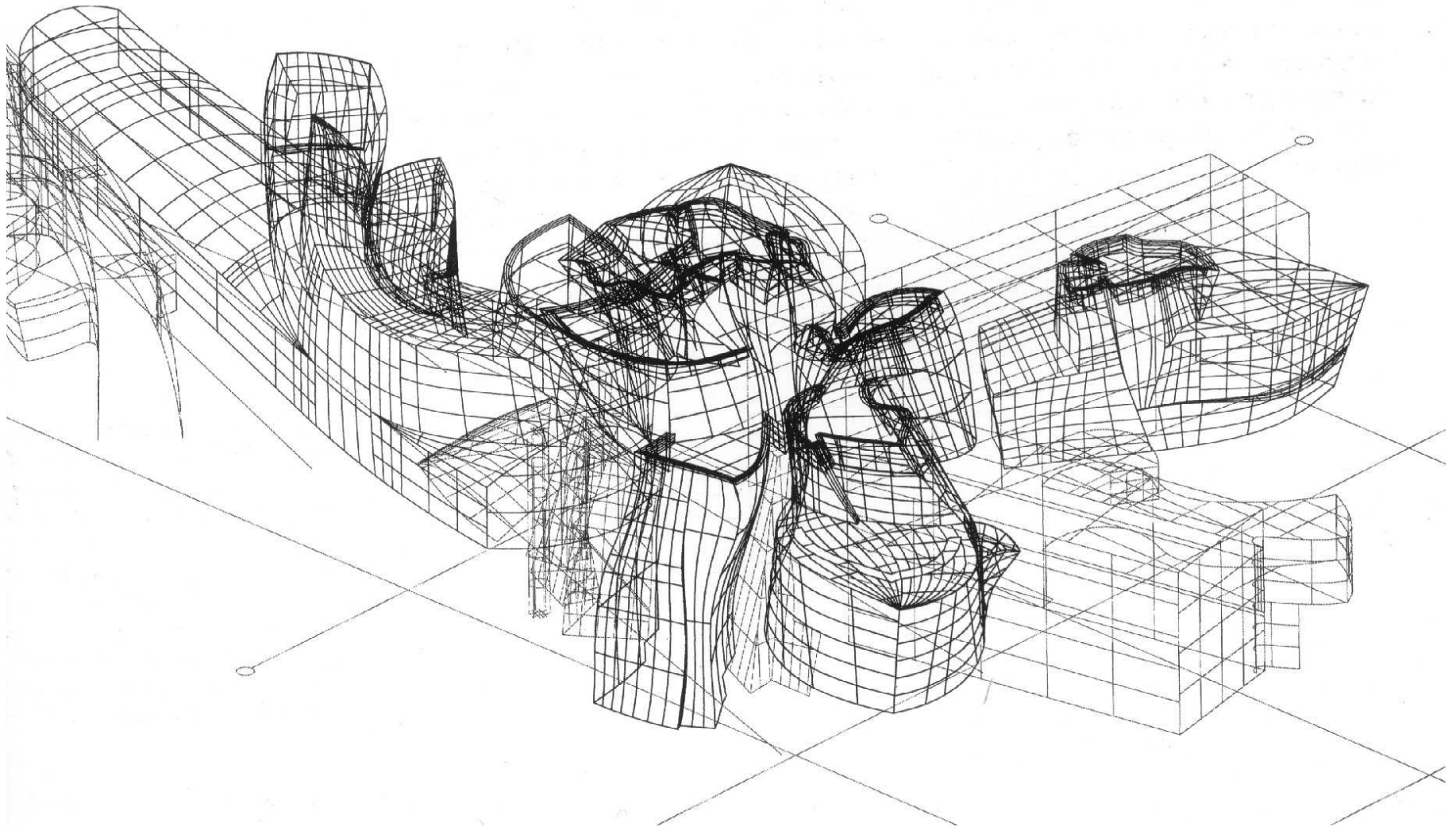
Estudio computadorizado de la geometría resultante de la relación entre una envolvente interior y una exterior como generadores de la Casa Immendorf.



"envolvente" tiene una acepción mas bien ligada el movimiento, piénsese en la envolvente atómica por ejemplo. La envolvente se presenta como una entidad más compleja que una simple superficie e involucra ese "algo" entre continente y contenido en forma simultánea. Tal noción de envolvente pone el acento en el aspecto geométrico de la obra, teniendo una validez operacional en el estudio de la geometría del lugar, sin embargo, se debe considerar siempre dentro del marco de la complejidad de los acontecimientos que determinan una materialización real; la envolvente es sólo una teorización geométrica y no puede desligarse de su realidad material.



¹ El trabajo de P. Eisenman tiene un contenido mucho más profundo que una mera experimentación formal de las envolventes, aparte de una visión bastante distinta de la que estamos planteando. Por ahora, se han rescatado algunos aspectos de su manera de abordar los procesos creativos y se deja para al lector la tarea de profundizar dentro de su campo teórico. Una buena introducción a su obra se puede encontrar en el artículo "Tentativas de dislocación de la mirada y la casa Immendorf" de A. Hidalgo H. En la revista C.A. n° 85 p.78.



Diseño en CAD para el Museo Guggenheim de Bilbao, en España. Frank O. Gehry a alcanzado formas tan complejas gracias a un programa informático muy desarrollado, que le permite operar tridimensionalmente la envolvente del edificio a partir de la digitalización de una serie de maquetas de estudio. El CAD que utiliza (el mismo que se usa para el diseño del fuselaje de aviones) le ha permitido un manejo formal extraordinario, además de garantizarle la viabilidad de la construcción.

Documental Guggenheim de Bilbao, exhibido en taller J. Moraga 1999.
Imagen: Contemporary American Architects; vol. 2; p. 91.

Capítulo 3
problema arquitectónico

1. Problemática General

A partir del deseo de descubrir algo acerca de la cultura espacial de Valparaíso, se ha recogido la inquietud de estudiar la generación de la forma arquitectónica de las casas de sus cerros viejos, desde una perspectiva que considere la geometría estructurante de ellas en relación con los acontecimientos que allí se dan lugar.

Dicha geometría tan peculiar de los cerros de Valparaíso, que ha servido de fuente de inspiración de pintores y poetas, ha sido asumida como una *geometría de transformación*¹ noción que se comparte a partir de estudios anteriores de seminarios de esta línea, en el sentido que existe un constante proceso de equilibrio de un habitar con el paisaje, la luz, etc. y con sus propios cambios internos (crecimiento familiar, nuevas necesidades etc.).

Se evidencia también que esta geometría transgrede los cánones fijados por la geometría tradicional y a menudo se habla acerca de la *apariencia caótica*² de las construcciones espontáneas de los cerros. Pareciera que la concepción geométrica tradicional fuese insuficiente para entender dicha realidad, en el sentido que esta realidad es dinámica y compleja, en contraste con el estático y reduccionista enfoque tradicional de la geometría. Por eso, se propone la investigación a través de una *otra* mirada, a través de la perspectiva de una reciente geometría que no ha sido fruto de una concepción de mundo, sino más bien de un intento de acercamiento al campo fenomenológico, y que como tal, implica la idea de proceso y transformación, además de presentar una posibilidad real de estudiar esa *apariencia caótica* desde un punto de vista objetivo. Lo anterior sin el ánimo de instaurarla como metafísica o como respuesta al problema mismo, sino más bien cómo una manera de abrir un nuevo camino en el mundo de la exploración arquitectónica de Valparaíso, que lejos de acercarse a su fin, se va abriendo día a día.

¹ E. Alvarado; Seminario Investigaciones sobre Geometrías; p.13 1ª Parte.

² E. Alvarado; Seminario Investigaciones sobre Geometrías; p.15 1ª Parte.

Para ello nos abocaremos primeramente a *situar* esta geometría en nuestro campo arquitectónico, para luego abordar a través de ella la problemática arquitectónica de la morfogénesis de algunas construcciones de los cerros, para terminar generando y constatando una serie de hipótesis, que tienen como objetivo probar un primer alcance de esta técnica, que acarrea una serie de ideas que ya han sido mostradas en el marco teórico.

2. Aclaraciones del enfoque fractal

A partir de las teorías de complejidad se ha construido una nueva perspectiva para la investigación y el conocimiento de gran impacto dentro del mundo científico y de reciente eco en los ámbitos artístico y filosófico. Dichas teorías, nacidas de la imposibilidad de predecir cabalmente el comportamiento de los fenómenos de la naturaleza, se nos presentan como una nueva concepción para entender el universo, y nos sitúan al mismo tiempo, dentro de un momento de gran cambio y revolución del pensamiento, sobre todo en el ámbito de las ciencias, a partir del desmesurado avance de la tecnología desde la segunda mitad del siglo XX.

En este marco podemos encontrar la teoría de los fractales, de extensión casi ilimitada, abarcando múltiples disciplinas y consolidada actualmente, como una herramienta eficaz e imprescindible para el estudio de la naturaleza y el diseño tecnológico.

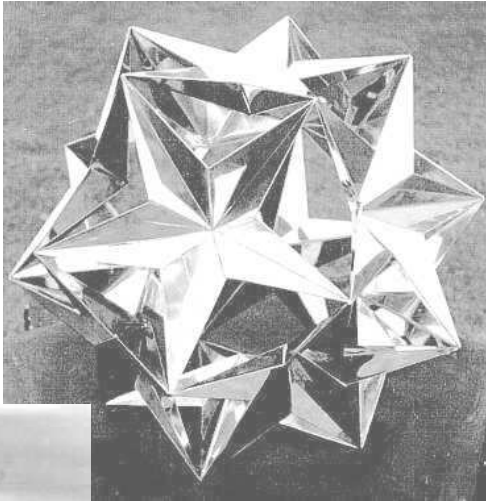
Pero esa misma vastedad le significa una espada de doble filo; si por un lado es una herramienta de grandes prestaciones, por otro, los fractales son también una maleta sin fondo, donde todo cabe, y desde la cual podríamos estudiar prácticamente cualquier cosa.

Esto nos demanda un especial cuidado; es fácil caer en un positivismo que intente explicar la naturaleza desde este único punto de vista.

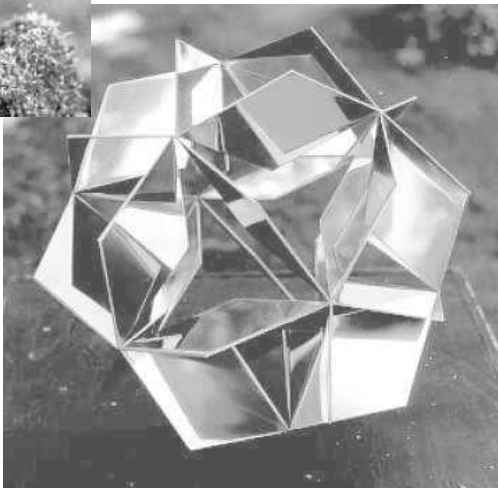
"El secreto del universo es que su estructura última es una estructura fractal¹".

Nuestra decisión ya ha sido la de un pensamiento que no busca verdades últimas, sino que juega consigo mismo, y que se inserta en el marco de un pensamiento *sin fin ni centro*. Y esto es acorde a las perspectiva misma de las teorías de complejidad; se trata de trabajar con la impredecibilidad y la

¹ Isaac Asimov; Entrevista Semanario La Gaceta de Internet.



Starburst, temple of fire y oracle. Esculturas de John Robinson.



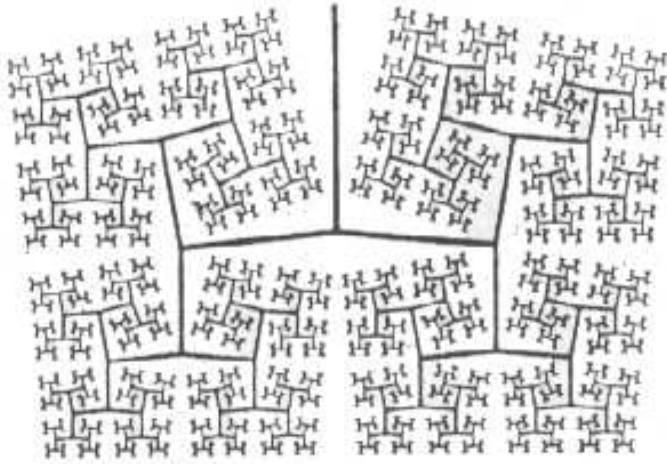
incertidumbre, buscando desde ellas un orden, sin el afán de lograr un determinismo absoluto.

La teoría fractal implica también una visión cosmológica del universo; a través de ella podemos estudiar una pequeña concha de mar en algún océano remoto, como la conformación de una galaxia y descubrir en ambas principios de estructuración similares. Podríamos mal entender la frase de Asimov y suponer que todo en el universo es fractal. El mismo término fractal es relativo (de condiciones y contextos), y desde el punto de vista matemático podríamos acomodar nuestro contexto de manera de decir que cualquier cosa es fractal. El punto es que no se hace pertinente discutir si la realidad o las sustancias de los objetos son fractales (e intentar constituir cosmovisiones) sino más bien tener claro que los fractales corresponden a una teoría, a un orden intelectual mucho más cercano a la naturaleza que el euclídeo, pero no más real ni verdadero que éste.

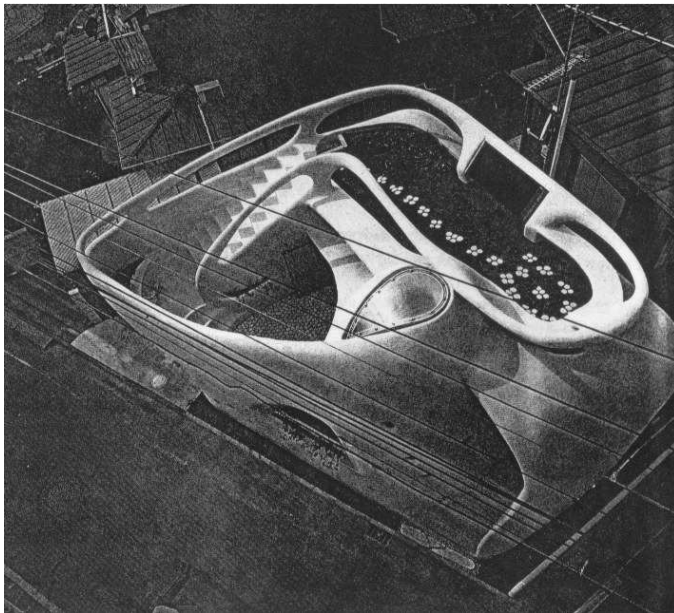
Debemos recalcar que el entendimiento de la arquitectura como un arte, implica que ésta no requiere ninguna fundamentación externa, ya sea científica, filosófica, social etc. La introducción de temáticas científicas pareciera ser solo válida en la medida que las usamos como herramientas que ayuden a sustentar un pensar arquitectural, y en opinión de quien escribe, la geometría fractal no es en sí un pensar arquitectural.

Pero ¿dónde podemos fijar el nexo entre la arquitectura y los fractales? Pese al gran avance de la teoría fractal en el campo científico (su propio ámbito), no hay una completa claridad de sus aplicaciones fuera de éste; en la filosofía los fractales no van más allá de una simple mención y en el arte; en la pintura y escultura, pareciera desenvolverse dentro de un plano más analógico a las gráficas matemáticas que constituir un problema artístico en sí (a excepción de las geniales obras de Escher). En la Arquitectura, al menos podemos encontrar tres enfoques de que vinculan los fractales con el diseño arquitectónico.

El primer, y más conocido, es el enfoque planteado por el arquitecto y teórico Christopher Alexander en colaboración con el matemático Nikos Salingaros, quienes junto a equipos interdisciplinarios están concluyendo el desarrollo de una teoría que culmina los estudios anteriores de Alexander, la cual



Planta general del Proyecto PREVI, conjunto de viviendas en Lima Perú. Christopher Alexander 1969.



Truss Wall House. Ushida Findlay

está estrechamente ligada a la teoría de los fractales, y que sustenta la base de la autodenominada "Nueva Arquitectura" ¹. Esta incipiente vanguardia se ha definido como un movimiento ecológico para la arquitectura y el urbanismo que exalta los valores de la naturaleza, y encuentra en los fractales una herramienta de juicio estético, con la capacidad de recuperar para la arquitectura las formas naturales, y al mismo tiempo, como una herramienta de valorización de la habitabilidad de la arquitectura, en el sentido de que un ambiente fractal es más propicio para el desarrollo integral del ser humano. Además, se propone esta perspectiva con una validez universal; sobre todas las arquitecturas y para todos los tiempos. Es este el punto más débil de su argumentación; la reducción de toda la arquitectura a un solo sistema de coordenadas, es una cosmovisión. Aparte de esto, hay un problema teórico de fondo; si los fractales se desprenden desde la teoría del caos, del estudio de los sistemas dinámicos, implica que su aplicación es a fenómenos, a comportamientos, a procesos... En este entendido se hace bastante difícil la consideración de toda la arquitectura como proceso dinámico. Pronunciarse sobre la sustancia de la arquitectura desde esta única perspectiva pareciera no ser adecuado. En todo caso, no es el interés invalidar esta postura, sino mantener precaución frente a esta nueva teoría que se nos acerca cada vez más.

Otro enfoque bastante serio de aproximación a la arquitectura a través de la geometría fractal, es el de los arquitectos Eisaku Ushida y Kathryn Findlay ², quienes en los últimos diez años han combinado el uso de los fractales con el manejo de la topología, utilizando los principios básicos de la geometría fractal como método de diseño y como fuente de estudio desde una perspectiva literal y metafórica. La geometría fractal ha sido incorporada como una herramienta que ayuda a medir temas de diseño como Masa, Campo, Percepción, Psicogeometría y Geometría del Caos, los cuales han ejercido el papel de motor teórico y de diseño de su trabajo el cual se caracteriza por sobrepasar la idea de fractal más allá de la analogía con las figuras matemáticas y por no proponer una visión global de la arquitectura, sino más bien por la apertura a la exploración formal a través de los fractales.

¹ Ver anexo 2" Arquitectura Fractal: Una Arquitectura para la Vida".

² Ver anexo 3" Trazos fractales: geometría y arquitectura en Ushida Findlay".

Un tercer acercamiento posible a la arquitectura ,y a las artes en general, es considerar una visión holística, bajo las nociones de orden ya planteadas más extensamente en el marco teórico. David Peat propone la existencia de sutiles principios de ordenamiento generativo como base de la creatividad, presentes en las artes, en la naturaleza, e incluso, en la ciencia. Este planteamiento de orden no corresponde a una epistemología, sino que se entiende como un proceso dinámico posible en el que se ven implicados el sujeto, el objeto y el ciclo de percepción-comunicación que los relaciona. Además se considera la emergencia, en este sentido, de un orden como fenómeno del caos, con un potencial generativo. Esta es una de las aproximaciones mas bellas e interesantes para el ámbito artístico.

Frente a maneras tan distintas de enfrentarse a la temática fractal dentro de la arquitectura nos asalta la interrogante de cómo vamos a situarla dentro de nuestra investigación. Demás está decir que no será utilizada como conformadora de una visión hacia toda la arquitectura y hacia la realidad, sino más bien como herramienta, pero con una validez operacional restringida al campo de estudio, sin deshechar la visión holística, mediante la cual podemos plantear una posibilidad de encontrar órdenes generativos, o en otras palabras, una posibilidad de realizar una lectura geométrica de este tipo de órdenes. Sin embargo, la pertinencia de los fractales para este estudio, parte principalmente de un punto de vista metodológico, para lograr la mayor objetividad posible,y podemos encontrar su criterio de aplicación al observar la teoría fractal desde al ámbito de las estructuras. Porque efectivamente, la teoría fractal propone una nueva concepción de estructura geométrica (entendiendo estructura como se explicó en la primera parte), y como estructura, proponemos su uso como herramienta de estudio sin justificar dicha opción como determinada por el objeto, sino que basta con la pertinencia del método. Al no pronunciarnos sobre las sustancias de los objetos arquitectónicos cuidamos de no caer en una cosmovisión. No obstante, aclararemos que incluso como herramienta metodológica, debemos tener en claro ciertos aspectos que la restringen, fundamentalmente la consideración que el uso de la geometría fractal presupone la investigación de procesos, cambios, estados de movimiento y el uso exclusivo en el campo en cuestión. En consecuencia, extender la metodología fractal a usar en esta investigación fuera de su propio campo de estudio, es inapropiado.

3. Hipótesis generales

La elaboración de las siguientes hipótesis de trabajo se ha llevado en forma conjunta con la investigación y selección de casos, de modo que no son el fruto de un pensamiento abstracto a priori la investigación. En ellas se recogen los conceptos investigados en el marco teórico y se reconoce **la pertinencia de la perspectiva fractal en el estudio de los casos mencionados, no como una epistemología, sino como una herramienta operacional.**

Primera hipótesis:

1. **La perspectiva fractal otorga una posibilidad de exploración de una geometría de los acontecimientos, a través de herramientas que permiten medir cualitativamente y cuantitativamente la forma de las obras, y que pueden ser puestas en relación con los modos de habitar de manera objetiva.**

La concepción de una geometría fractal otorgaría una mayor probabilidad de construcción de lugares, de lo que se desprende:

- (a) La pertinencia del enfoque fractal implica que en los casos podemos encontrar fenómenos asociados a:
 - autosemejanza o cuasi-autosemejanza.
 - existencia de contornos irregulares, fragmentados o poco definidos.Lo que indica que se cumplen las *local scaling properties*.
- (b) Una de las características de la geometría fractal en los sistemas naturales (como en un árbol o en el sistema nervioso) es que permite una gran interrelación de variables. De la misma manera, esta geometría posibilitaría una cantidad de interrelaciones de habitabilidad de los lugares con su ambiente.
- (c) Estos lugares se caracterizarían por una gran habitabilidad en pequeñas dimensiones y por las sutiles y particulares posibilidades de interrelación mutua y con su ambiente.
- (d) La complejidad geométrica misma sería el resultado de el uso y la "domesticación" constante que el habitante hace a los lugares. Dicha

domesticación obedece a ciertas variables que pueden ser descritas fractalmente.

Segunda hipótesis:

- 2. Podemos entender este proceso de construcción de lugares como una morfogénesis, en el sentido en que ésta sería el resultado de la natural interacción entre la forma y su contexto, por parte de un habitar que constantemente realiza procesos de adaptación con su ambiente interno y externo como desarrollo, crecimiento y transformación.**

La morfogénesis nace de una retroalimentación entre el acto de construir de una "cultura inconsciente de sí misma"¹ y los elementos de su ambiente físico, dentro de un contexto determinado.

- a) Podemos hablar de una retroalimentación en el sentido que la forma se genera de una construcción de tipo artesanal, que el habitante va elaborando como respuesta a sus necesidades propias, y a las solicitaciones del terreno, del paisaje, etc. al mismo tiempo que construye su ambiente.
- b) Los métodos constructivos son tradicionales y similares entre sí y al entrar en juego con las condicionantes contextuales particulares (paisaje, nivel de marginalidad, disponibilidad de materiales, etc.), conllevan a un proceso morfogenético único.
- c) Como resultado de este constante proceso, la obra adquiere una particularidad geométrica y una expresividad únicas, que indican la pertinencia de una idea de orden como fenómeno emergente del caos.

¹ *"Denominaré inconsciente de sí misma a aquella cultura cuya elaboración de formas es aprendida mediante pura práctica, a través de la imitación y la corrección"; C. Alexander; Ensayo de síntesis de la forma; p.41*

Tercera hipótesis:

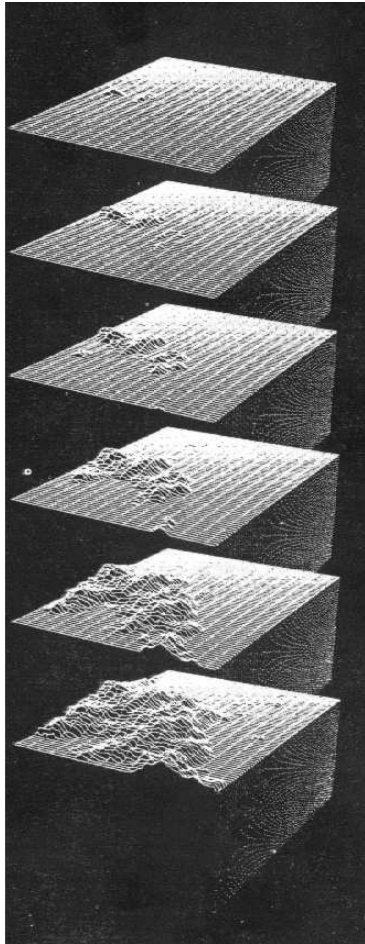
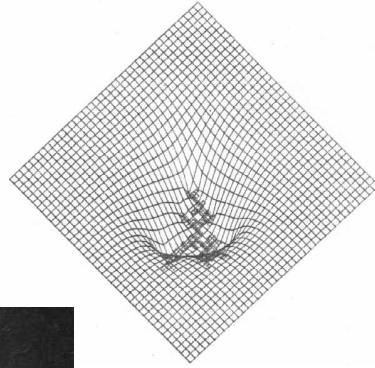
3. **Concebimos la idea del emplazarse, de tomar dominio del lugar, como un proceso morfogenético, que va más allá del primer posicionamiento en el terreno.**

El emplazamiento parte con el acto del primer orden generativo entre la obra y su lugar, el comienzo del proceso de morfogénesis de la envolvente, que responde tanto a rasgos generales en relación a las solicitudes apremiantes, como rasgos menores, que responden a situaciones de lugaridad más particulares.

- a) En el establecimiento de este primer orden podemos proponer que variaciones iniciales producen grandes cambios en la forma final, constituyendo un orden único.
- b) La envolvente, entendida en los términos planteados, no es una superficie (de dimensión 2), sino que a través del enfoque fractal se concibe como una trayectoria construida y habitable, de dimensión fractal en función de su complejidad geométrica.
- c) Existe la posibilidad de reconocer algunos procesos fractales generadores que estructuran los rasgos geométricos en varias escalas.
 - . Los generadores fractales propuestos para los casos de estudio son:
 - **Erupción:** Explosión construida de la envolvente interior al exterior.
 - **Quiebre y fractura :** de las líneas que definen el perfil de la envolvente y generan la complejidad geométrica.
 - **Desfibración:** Fragmentación de la envolvente por la separación de sus fibras o la desmultiplicación de una figura. Es un crecimiento en base a bordes longitudinales del habitar.

Homologías de los procesos generadores propuestos con conjuntos fractales

Erupción



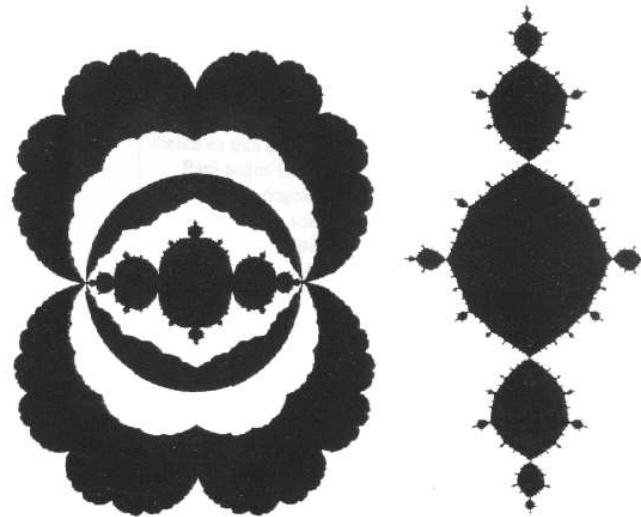
Gráfica del movimiento browniano

Quiebre y fractura

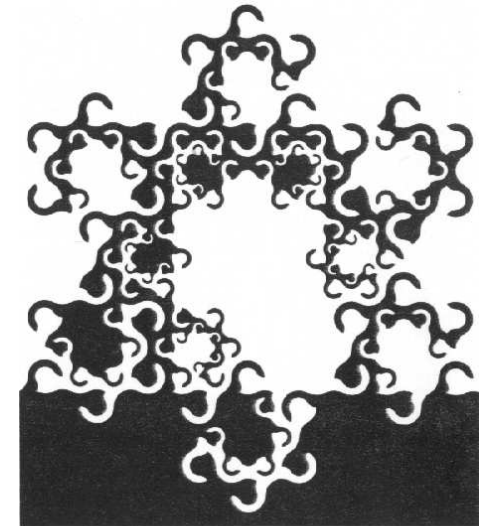


Trayectorias brownianas fraccionarias
(dimensiones $D \sim 1,1111$ y $D \sim 1,4285$)

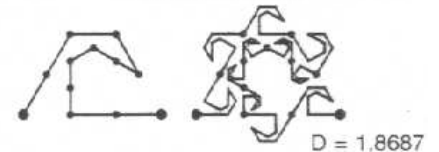
Desfibración



Curvas fractales autocuadráticas con λ real.



El árbol de los monos



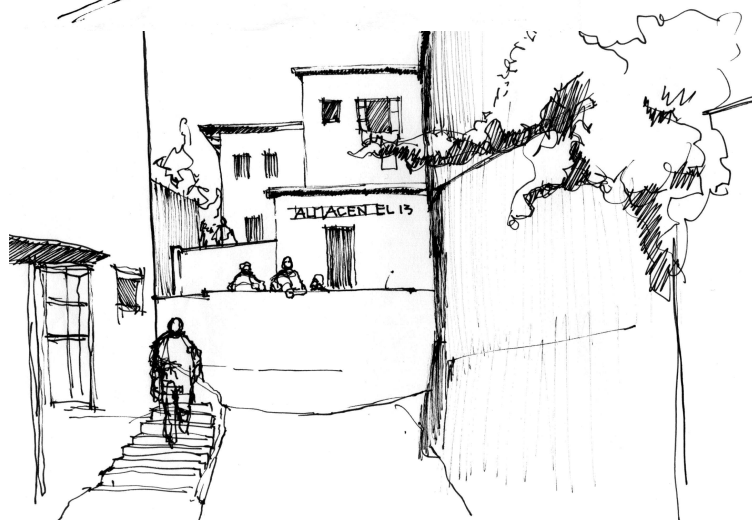


4. Elección de casos

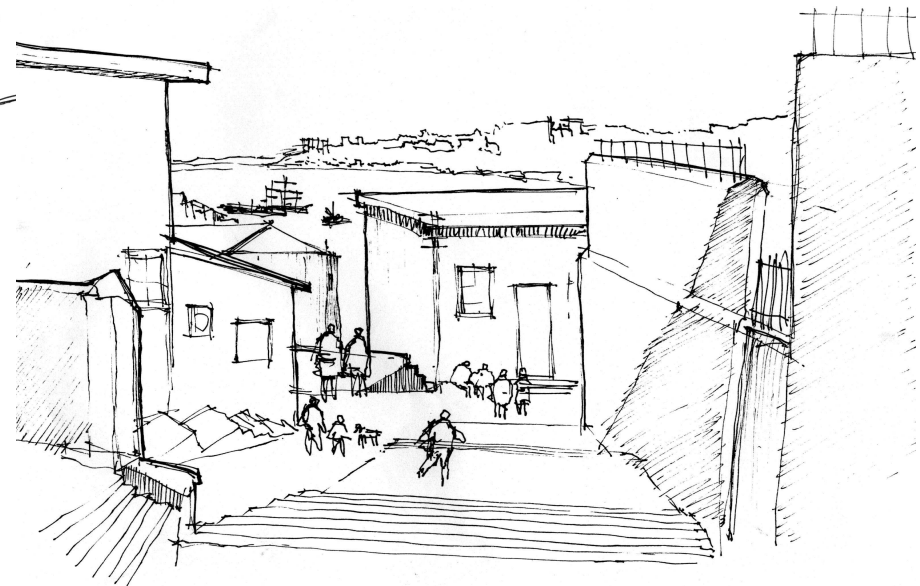
La elección de los casos se hizo en el marco de trabajo del taller 511 y el criterio a utilizar fue el que se cumplieran sólo con dos requisitos:

1. Que los casos presentaran un aspecto geométrico interesante desde el punto de vista de una transgresión de los cánones fijados por la geometría tradicional.
2. Que en ellos se pueda advertir a simple vista una gran vitalidad, un gran número de acontecimientos.

Se hizo un muestreo de varios casos, a través de un recorrido por todo el sector del Camino Cintura y la Avda. Alemania y se eligieron los casos más representativos, es decir, los que más se ajustaban a los dos únicos criterios de selección.

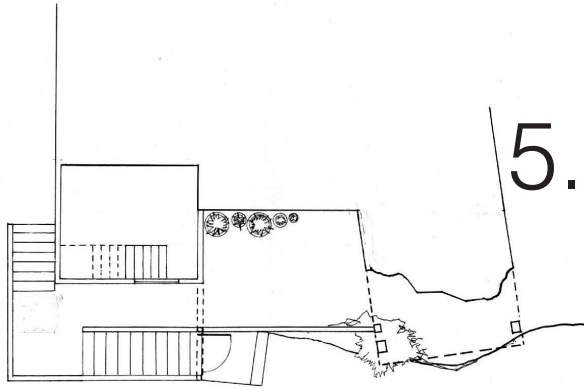


Croquis de algunas situaciones de interés en la etapa de selección de casos.



5. Presentación de los casos

Caso n°1: Vivienda en C° Cordillera



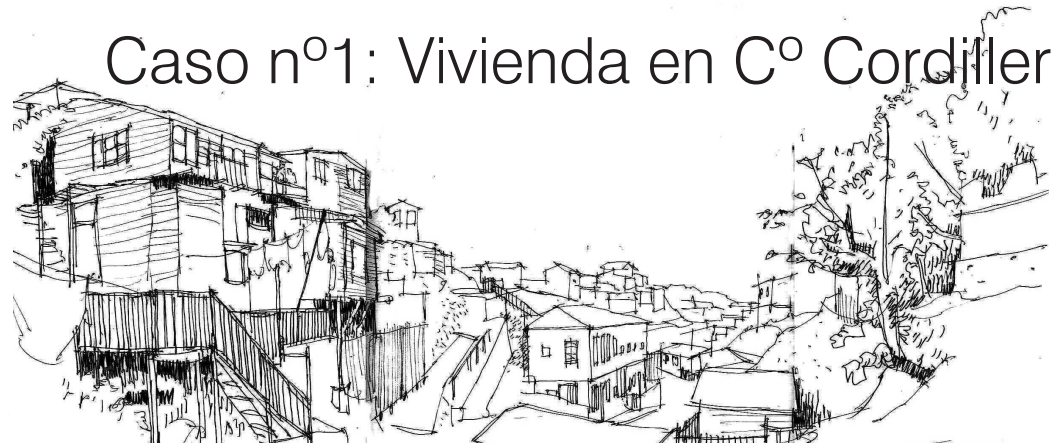
Planta 1 piso esc. 1:200



Planta 1 piso esc. 1:200



Planta 3 piso esc. 1:200

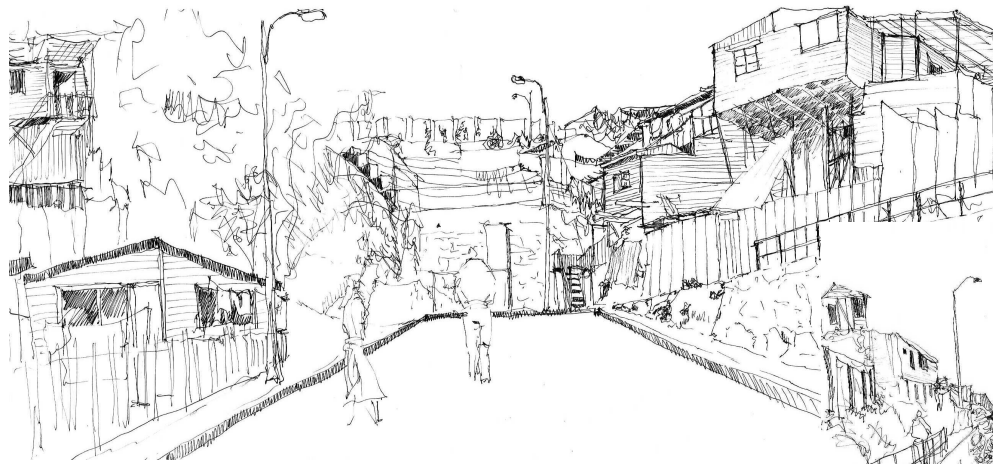


La fragmentación otorga la calidad de lugaridad a un habitar que se vuelca a la quebrada



Plano de ubicación

1: 1000



La casa se hace uno con el paisaje. Se habita el exterior en patios de naturaleza más bien vertical. Es la forma de construir lugar de una construcción que ocupa todo el lote.

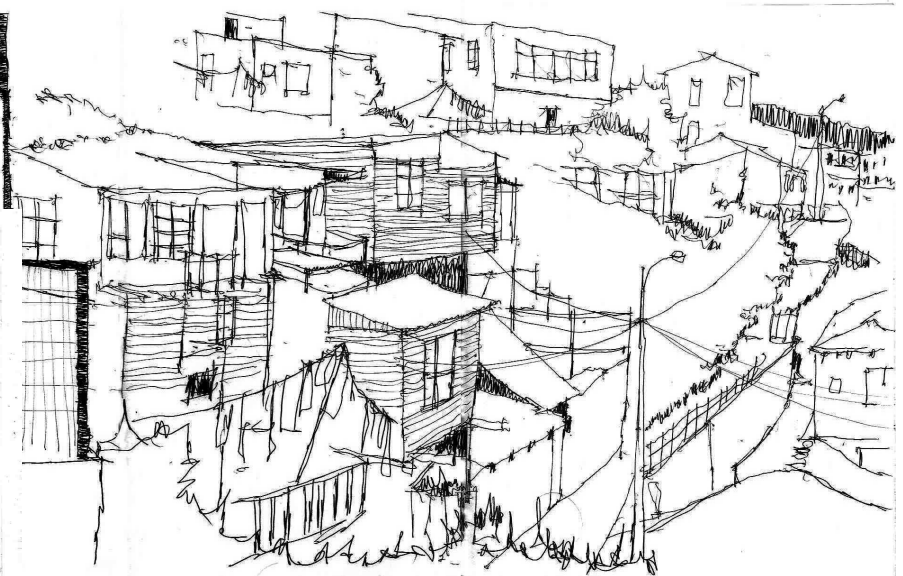


Podemos considerar la quebrada como un pequeño barrio, cerrado propio, en que los volúmenes se descuelgan por la pendiente abrupta generando miradores.



La vecindad, el contacto entre la gente, surge de la construcción de los lugares como pequeños miradores relacionados con el recorrido.



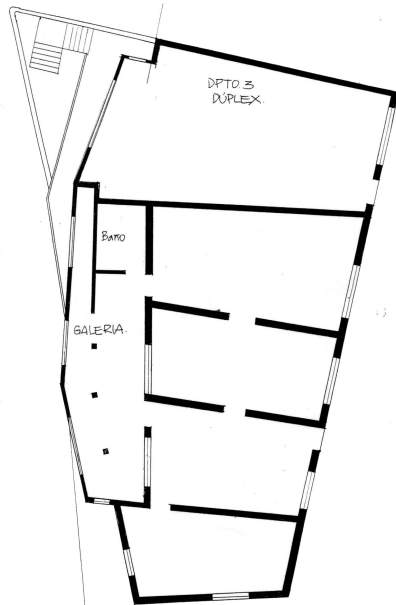


La volumetría se compone de infinidad de partes que generan una expresión de lo fragmentario.

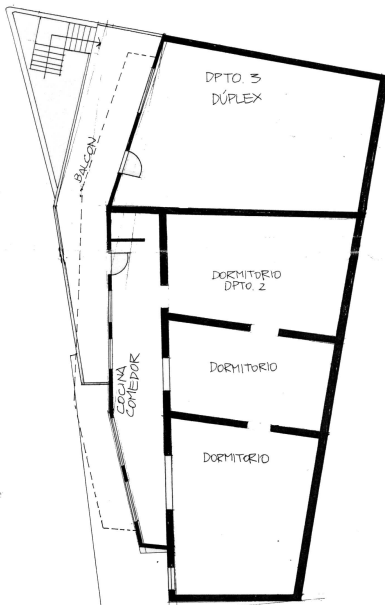
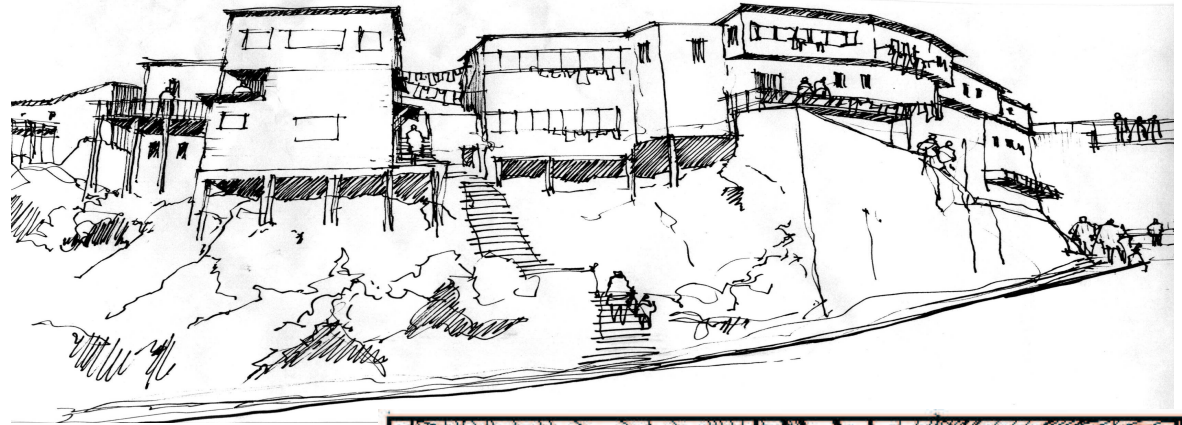
*Jardines
Terrazas
Ropas
Volantines*

Caracterizan la quebrada, que encierra un sonido propio un sonido del habitar.

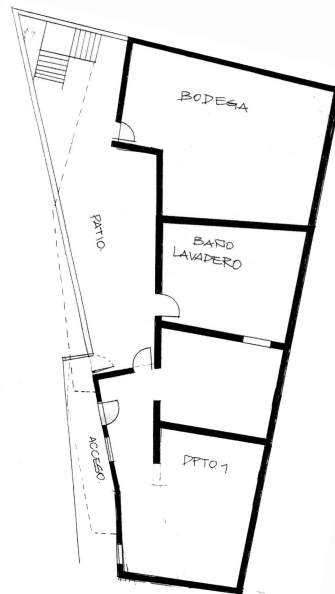
Caso n°2: Casa en C° Toro



Panta 3 piso 1 : 200



Panta 2 piso 1 : 200

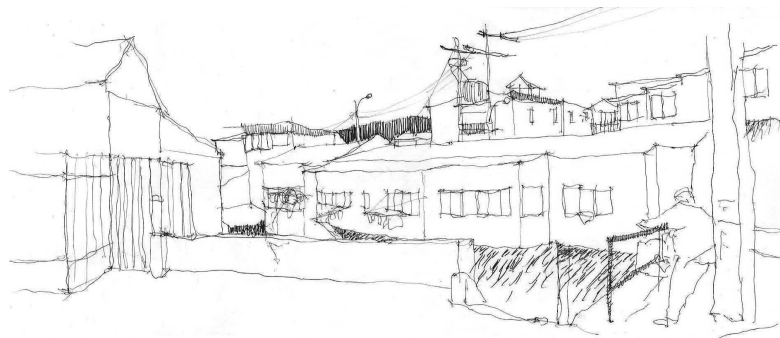


Panta 1 piso 1 : 200

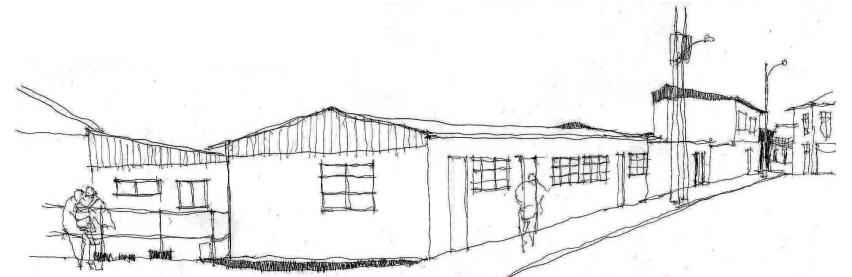


Pano de ubicación

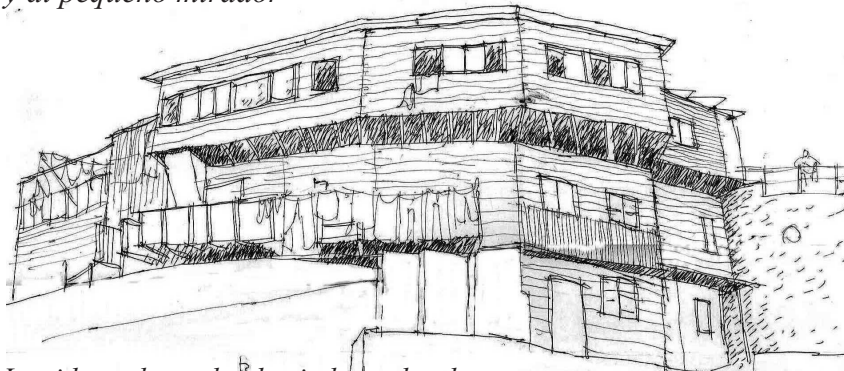
escala 1 : 1000



La vecindad, el contacto surge en el dominio hacia la calle y al pequeño mirador

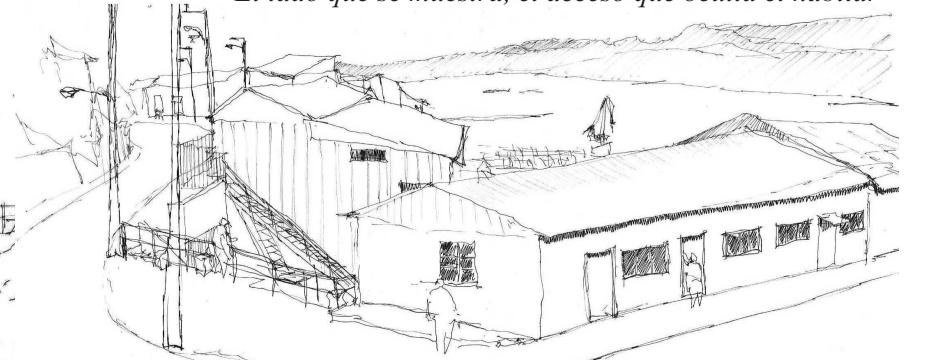


El lado que se muestra, el acceso que oculta el habitar

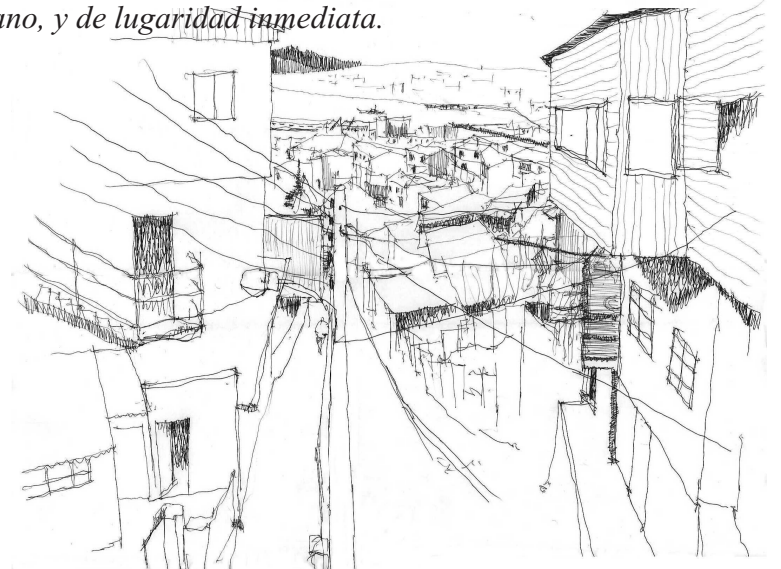
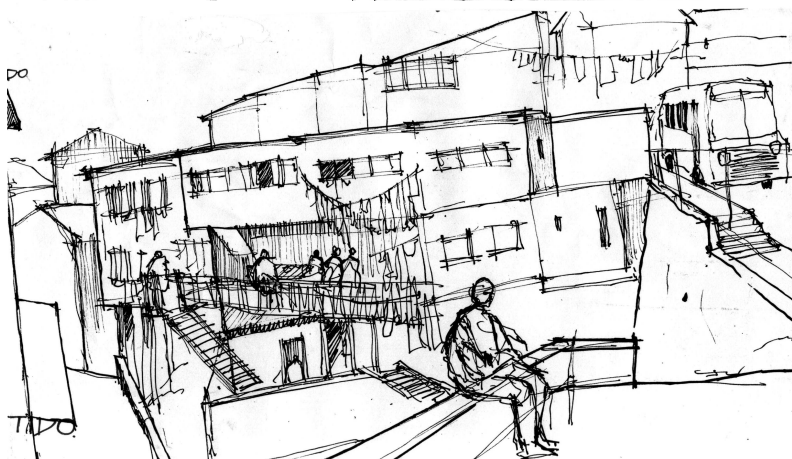


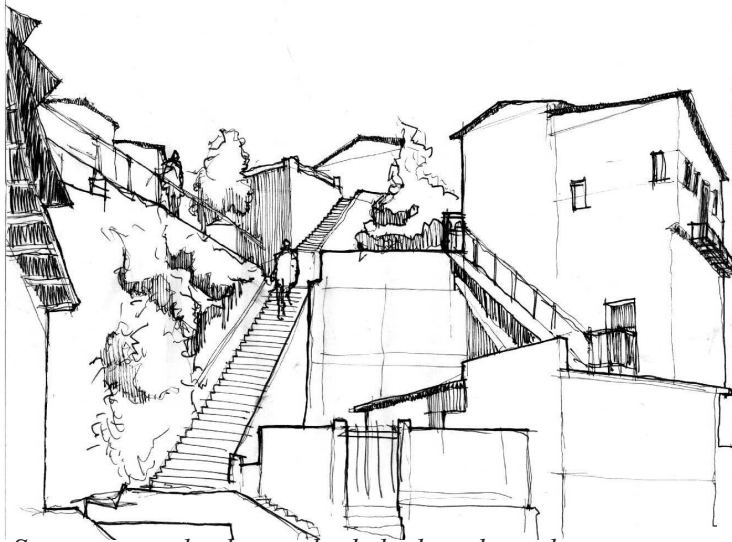
La vida se descuelga hacia la quebrada.

Se reconoce su ruido-propio, su susurro



La geometría respondería a las condiciones de un paisaje lejano, y de lugaridad inmediata.





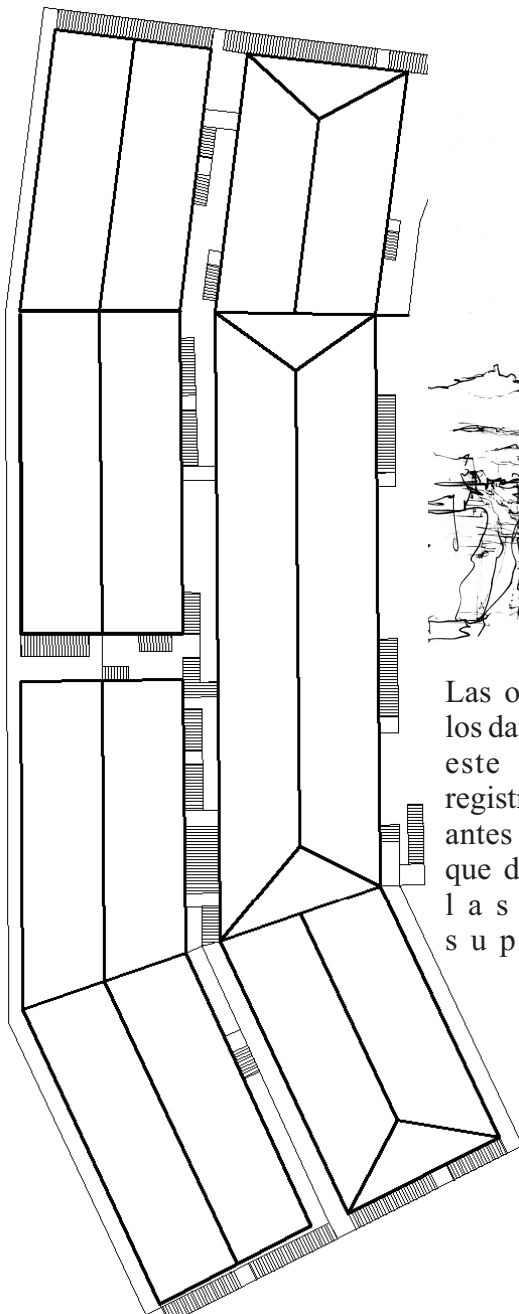
Se construye el volumen desde lo duro, hasta la fachada blanda, deslizándose por la pendiente abrupta.

La vida caracteriza esta fachada blanda



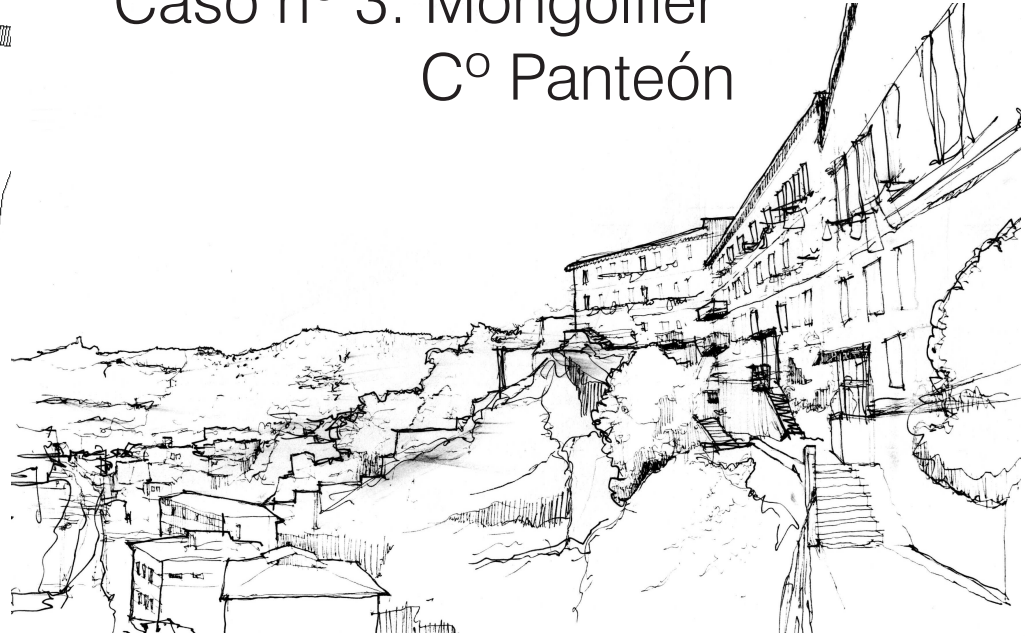
Podemos hablar de un habitar vertical, aéreo, en respuesta a la necesidad de tener lugar de una construcción que ocupa todo el lote. Los intersticios son mínimos, pero llenos de vida





Vista aérea escala 1: 250

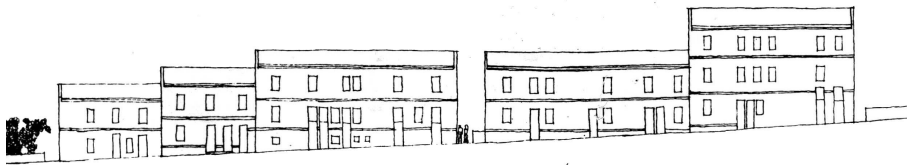
Caso nº 3: Mongolfier Cº Panteón



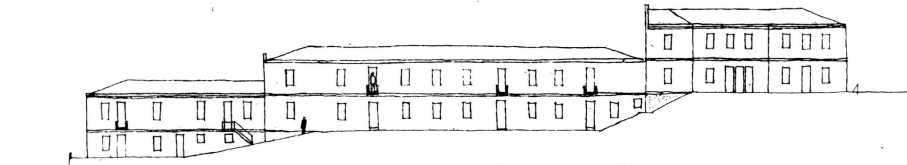
Las observaciones y los datos tomados de este caso, fueron registrados en 1999, antes del incendio que destruyó una de las crujías superiores.



Pano de Ubicación escala 1:5000



Elevación hacia la calle Dinamarca 1:400



Corte longitudinal hacia la quebrada 1:400



Elevación hacia la quebrada 1:400



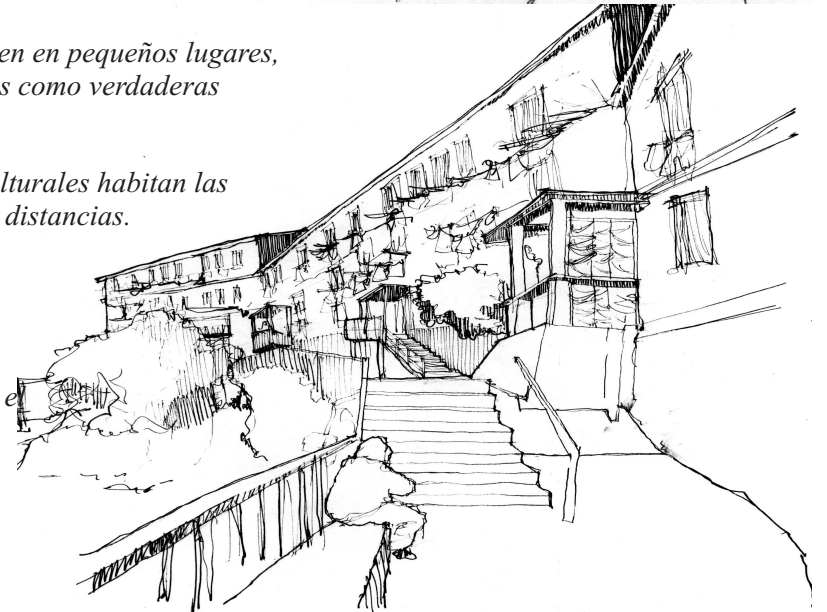
Los acontecimientos surgen en pequeños lugares, en los accesos, construidos como verdaderas atalayas.

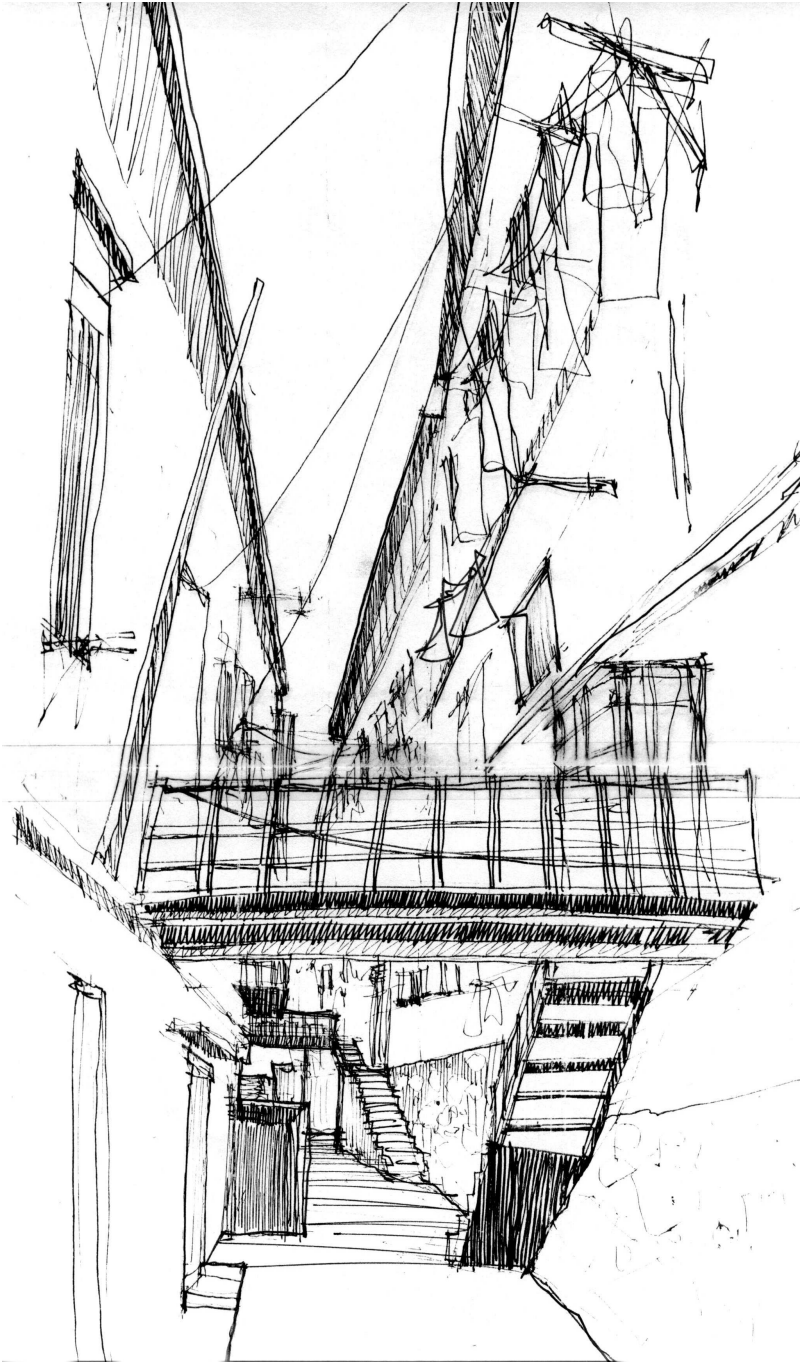
Distintos grupos socio-culturales habitan las crujiás, construyendo sus distancias.

Los quiebres responden primeramente a la posición en el lote, construido casi por completo y parcializan los tamaños de las crujiás

Se reconoce la vida a simple vista, se logra atrapar un sonido propio

Los acontecimientos surgen de la interacción entre los lugares





Se configura en espacio intermedio denso, surcado de lugares.

Los lugares surgen de estructuras de madera que se descuelgan de las crujiás, la vida se vuelve a este corredor que se hace episódico y fragmentario.

Se superponen los acontecimientos en la vertical, la vecindad es aérea.

Los lugares se construyen con pequeños elementos, los cuales también demarcan la propiedad, los límites de la envolvente interior.



Capítulo 4

Contrastación y derivaciones

1. Breve estudio de la dimensión fractal en tejidos de vivienda de algunas ciudades

Esta es una primera aproximación en el estudio de la dimensión fractal, previa al estudio de casos. Un primer objetivo es explorar una metodología usando la dimensión fractal.

También se desea verificar si es que el enfoque fractal brinda alguna posibilidad de cualificación de la ciudad.

Para su realización se utilizaron fotografías aéreas de alta resolución de algunas ciudades, las cuales fueron trabajadas con los programas Autocad2000 y CorelPhotopain8t, de modo que se llevaron todas a una misma escala de 1 : 1250 y a un mismo tamaño de 1150 x 585 pixels.

Luego, se utilizó el programa Benoit de Trusoft para los cálculos, a través de la metodología del box counting dimension.

No se usó in criterio específico para la elección de las ciudades, sino que se utilizaron las fotografías de las que se disponía.

Las fotografías estudiadas corresponden a las ciudades de:

C° Cordillera (caso de estudio).
C° Toro (caso de estudio).
C° Panteón (caso de estudio).
Manila, Filipinas.
Fez, Marruecos.
Chiraz. Irán
Labbezzenga, Níger.
Santiago, Chile.

En un primer intento, se utilizaron fotografías en blanco y negro con escala de grises de 8 bit. Los resultados no fueron muy satisfactorios pues se comprobó que el software utilizado trabaja sólo con dos variables (blanco y negro) por lo que las diferencias de tonalidades producían fluctuaciones de dimensión fractal. Luego se dibujó sobre las fotos una morfología del tejido con Autocad2000, se llevó a blanco y negro 1 bit, y se volvió a realizar la prueba.

C° Cordillera

Valparaíso



C° Toro

Valparaíso



La Florida



Santiago

C° Panteon



Valparaíso

Chiraz

Irán



Labbezzenga

Níger



Manila

Filipinas



Fez

Marruecos



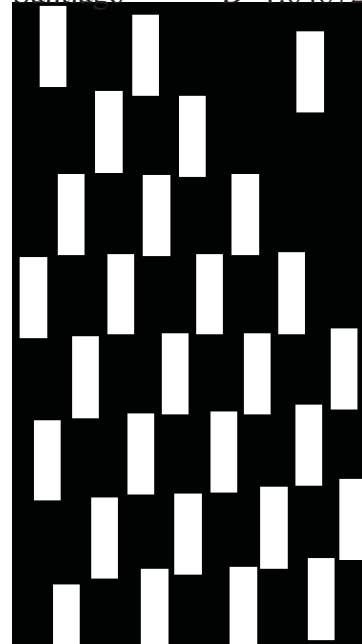
C° Cordillera D=1.90255



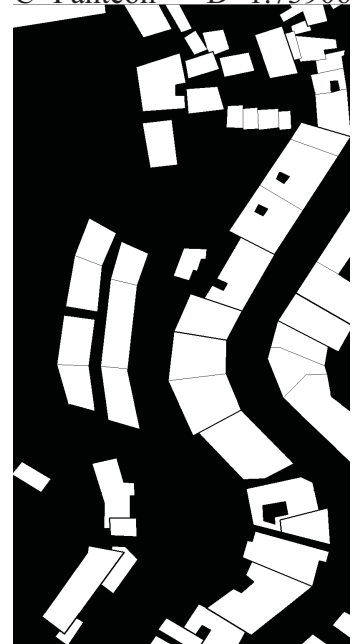
C° Toror D=1.90463



Santiago D=1.64872



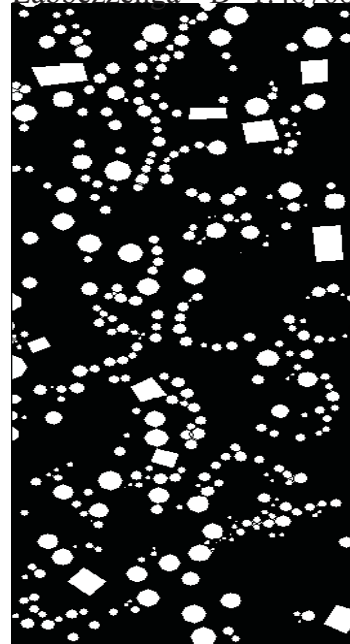
C° Panteon D=1.73906



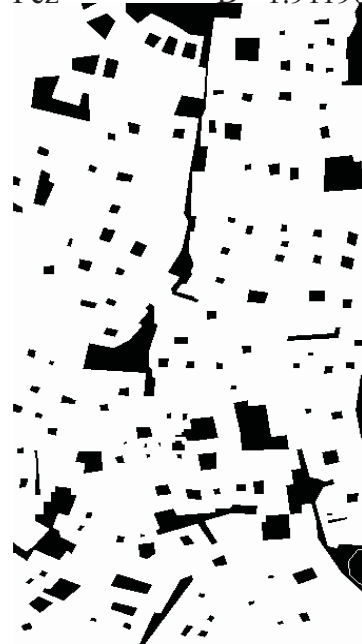
Chiraz D=1.82782



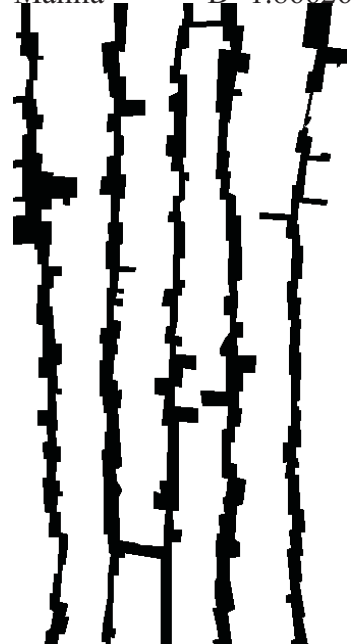
Labbezzenga D=1.48768



Fez D= 1.91190



Manila D=1.86626



2. Pruebas de contrastación de las hipótesis

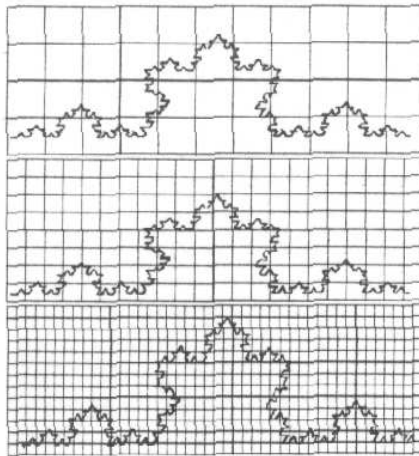
Con los casos seleccionados se realizó el proceso de prueba, de acuerdo a la metodología establecida en análisis fractal de imágenes anterior.

El proceso consistió en tres partes

Analisis de secuencias de cortes

1. Se realizaron secuencias de cortes de los casos escogidos y se tomó un registro de los lugares que se observaron en esta secuencia, tomando en cuenta los acontecimientos. Estos cortes se armaron en una secuencia tridimensional para mostrar el grado de exactitud obtenido. La secuencia se armó con todos los cortes a la misma escala y con todas las imágenes del mismo tamaño (en pixels). Se anotó en una tabla de valores la ocurrencia de lugares por cada corte.
2. De los cortes solamente se dejaron los contornos de las construcciones, pues lo que queda en el interior hace variar las mediciones. Se llevaron a blanco y negro en formato BMP desde autocad2000 y los hechos a mano se escanearon con una resolución de 300 dpi. con el programa CorelPhotopaint8, resaltando las líneas en blanco, pues el software a utilizar calcula la dimensión fractal de los objetos en blanco sobre el fondo negro. Permite sólo el juego entre dos variables.
3. Se realizó un cálculo de la dimensión fractal con el programa de cálculo Benoit de Trusoft, a través del método de *box counting dimension*, que fue elegido debido a que es el método más preciso para obtener la dimensión fractal de líneas. Este método puede caracterizarse por medio del número de cuadros que intercepta el objeto sobre un retículo. Se cuenta el número N de cuadrados que recubren el objeto. La relación entre N y el valor del lado ε (epsilon) de los cuadrados del retículo aparece claramente en un gráfico doblemente logarítmico: los puntos correspondientes se sitúan en una

Box counting dimension



Aplicación del retículo a la curva de Koch.

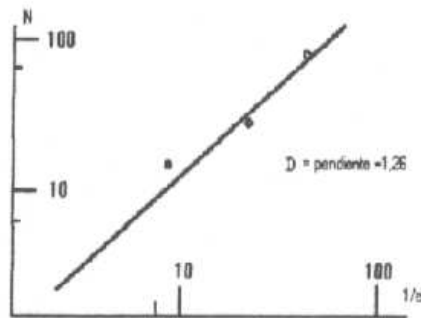


Gráfico de ejes logarítmicos

recta, cuya pendiente - expresada por la razón $N / \log (1/\varepsilon)$ - nos proporciona el valor de la dimensión fractal D.

4. Se realizó la comparación entre la ocurrencia de lugares y la dimensión fractal.

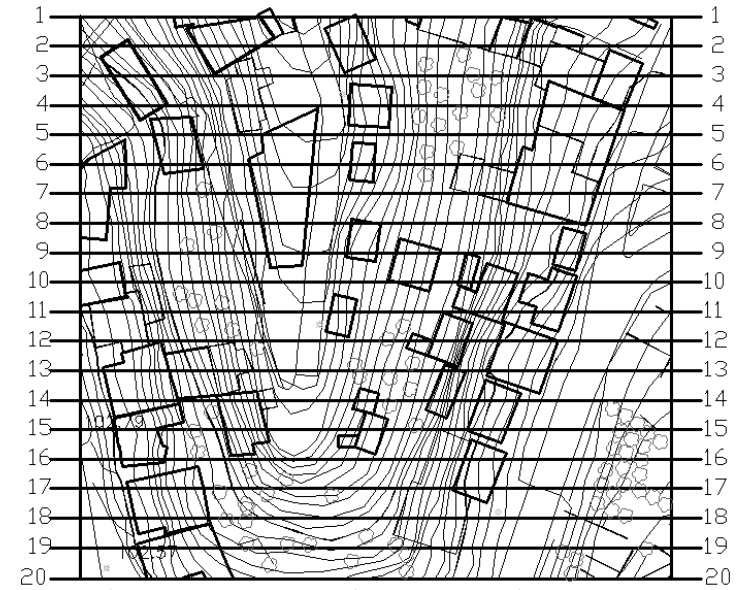
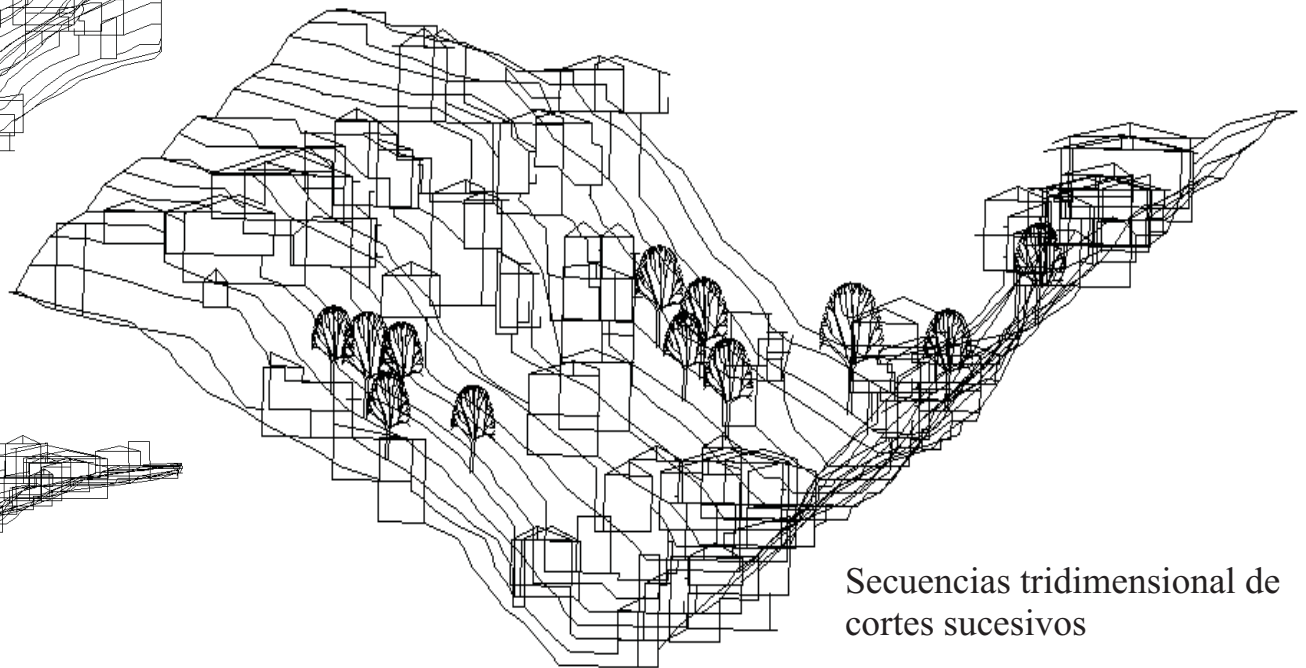
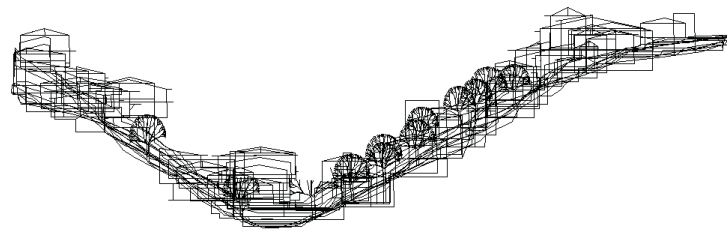
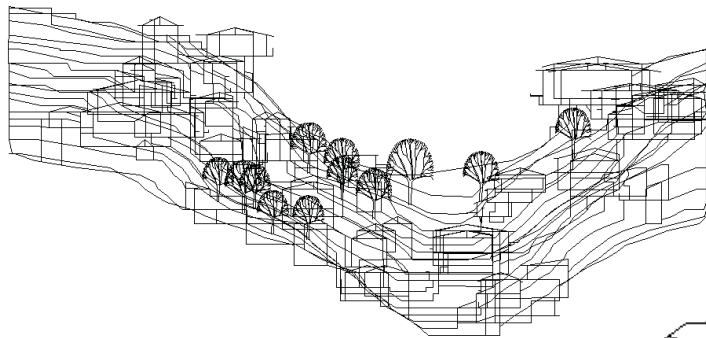
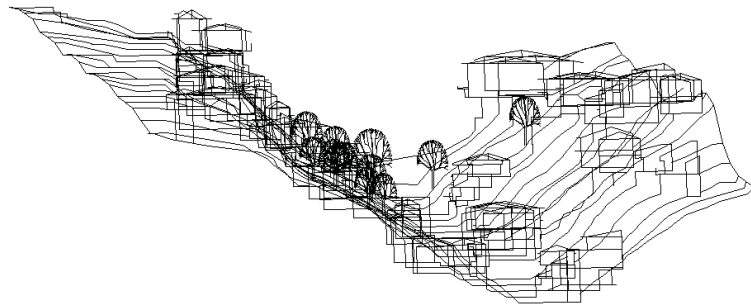
Análisis planimétrico

1. Se realizó un levantamiento de los sectores, a partir de mediciones en terreno, planos escala 1: 2000 digitalizados y fotografías aéreas del S.A.F. escala 1: 5000 del vuelo de 1995 con el programa Autocad2000.
2. Se llevaron las plantas a formato BMP con el programa CorelPhotopaint8, dejándolas sólo en blanco y negro. (blanco las construcciones y lo demás negro)
3. De cada imagen planimétrica se recortaron pedazos con la misma proporción del trozo mayor, dejando en blanco sólo los trozos a analizar, es decir, de cada imagen se borraron las manchas que no correspondían al sector.
4. Se disminuyó el plano mayor a la misma cantidad de píxeles que los trozos menores, con el programa Photoshop 5.0 para poder uniformar la medición.
5. Se realizó el cálculo de la dimensión fractal con el programa Benoit, utilizando nuevamente el método del *box counting dimensión*.

Análisis de imágenes

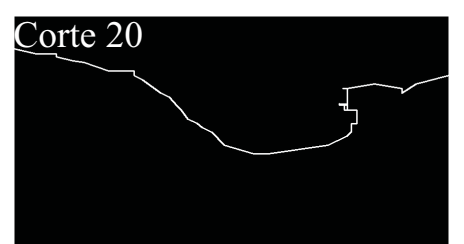
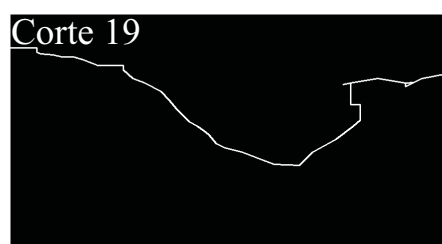
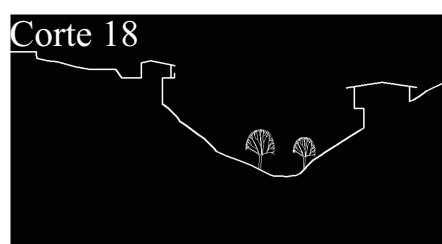
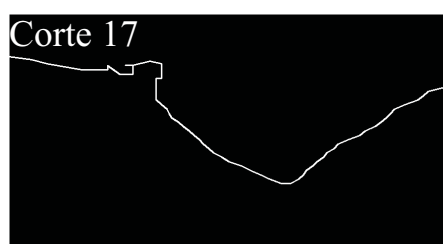
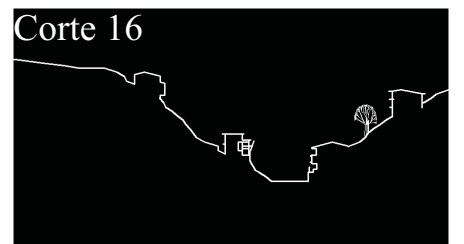
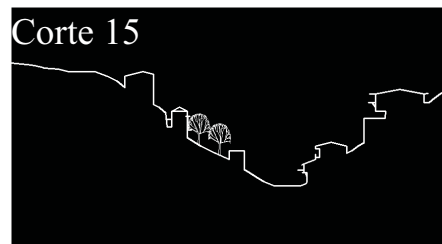
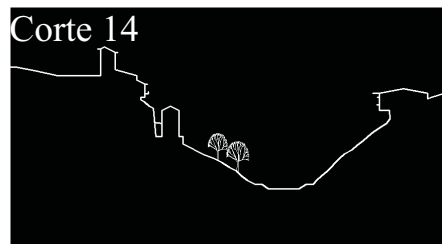
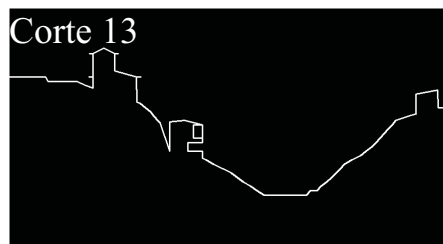
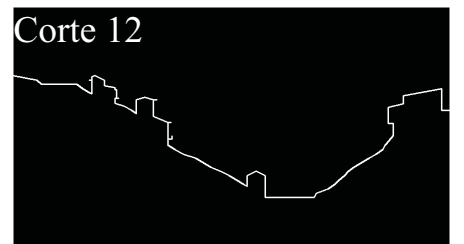
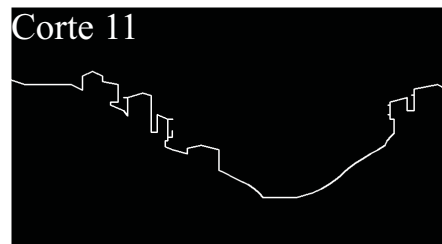
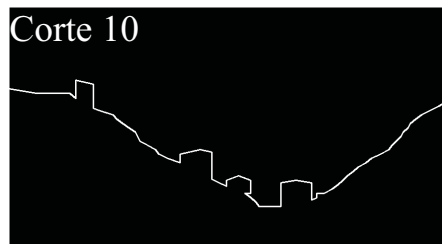
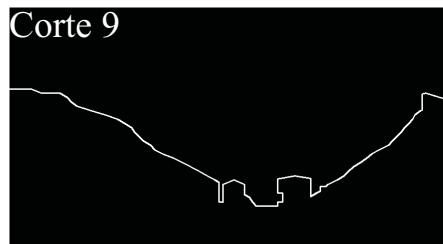
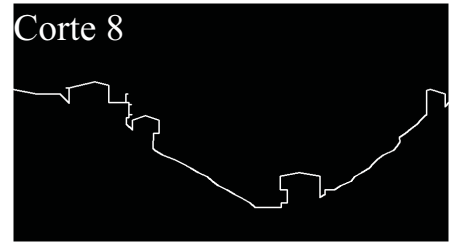
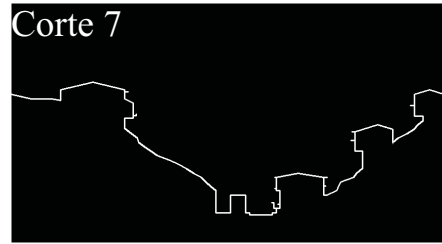
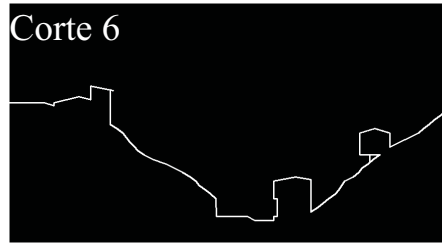
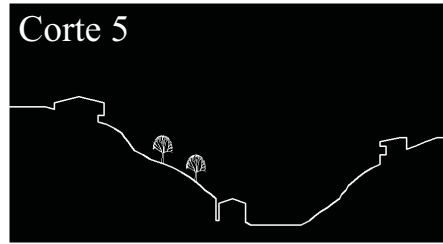
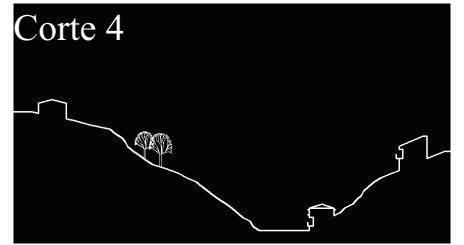
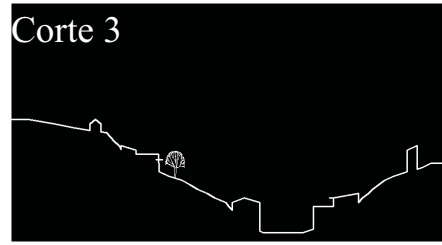
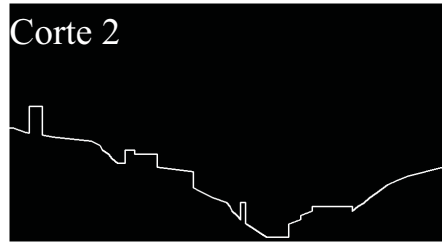
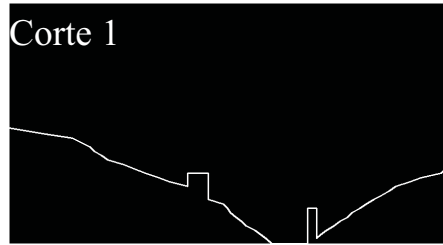
Corresponde a observaciones tomadas en terreno, a partir de la búsqueda de órdenes fractales en los casos de estudio, en otras palabras, de lecturas geométricas fractales, de los procesos generadores propuestos y de la manera de su construcción.

Caso n° 1: Vivienda en C° Cordillera

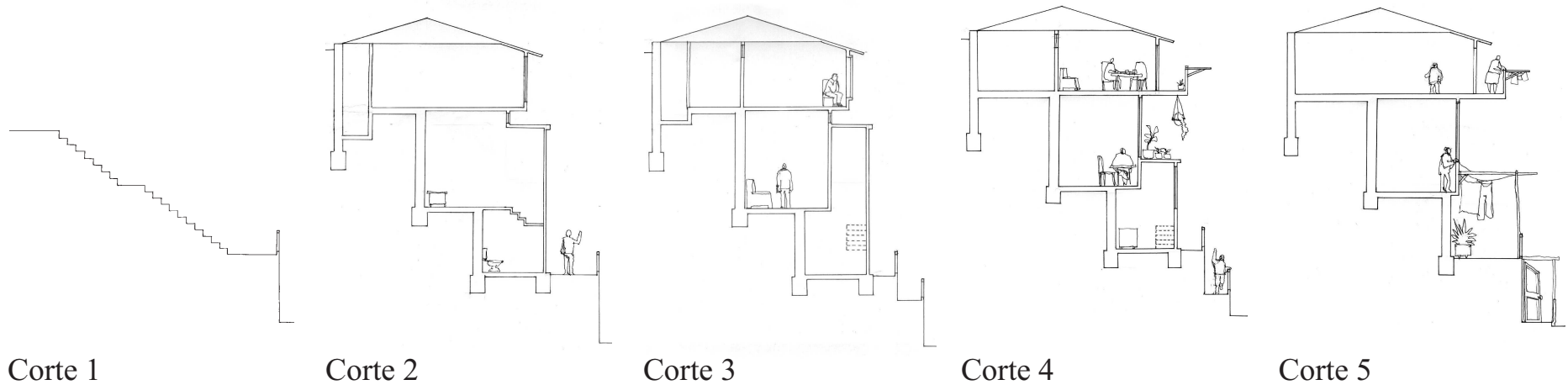


Planta con cortes cada 5 m. Escala 1 : 4000

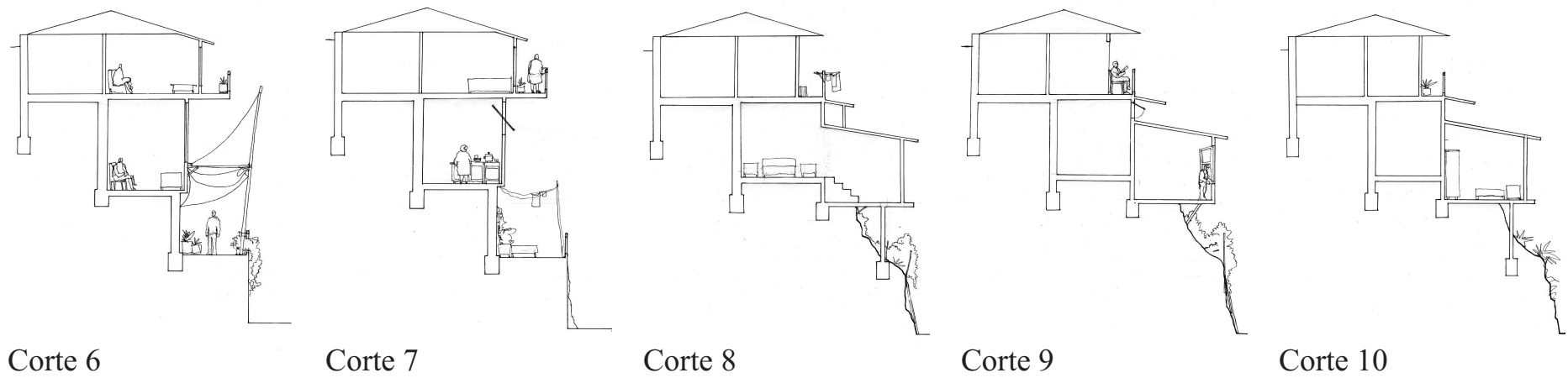
Secuencias tridimensional de cortes sucesivos

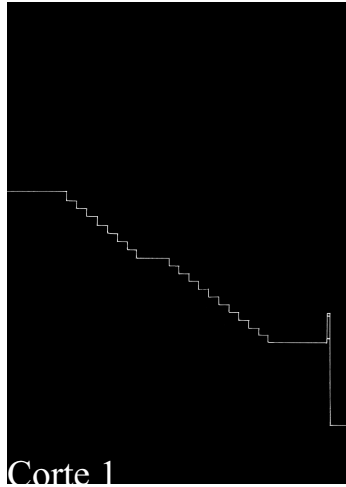


Sucesión de perfiles a partir de los cortes. Escala 1: 2000

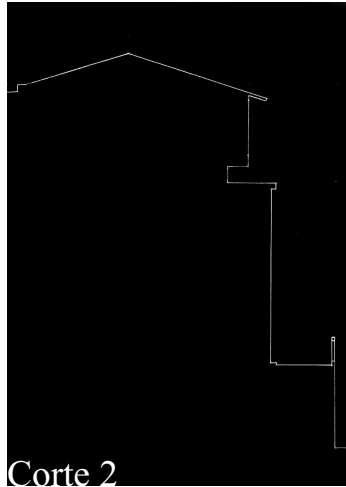


Sucesión de cortes transversales de la vivienda cada 1 m. Escala 1 : 250

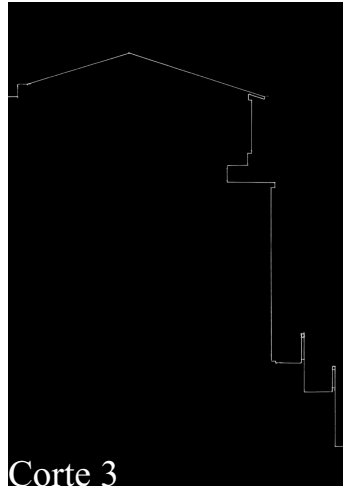




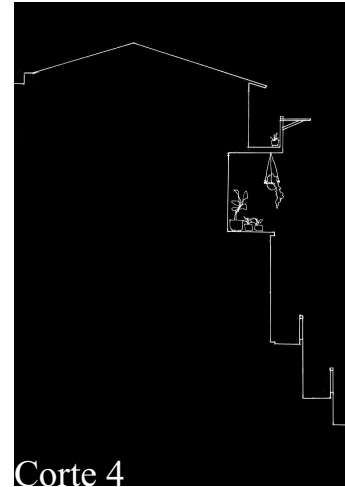
Corte 1



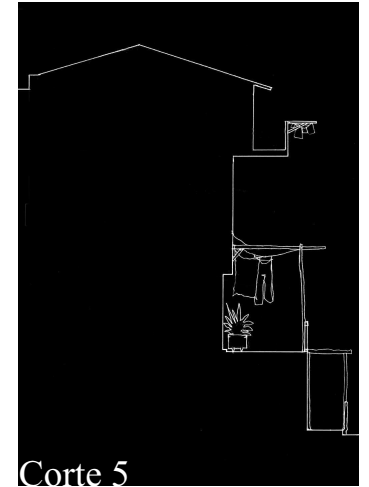
Corte 2



Corte 3

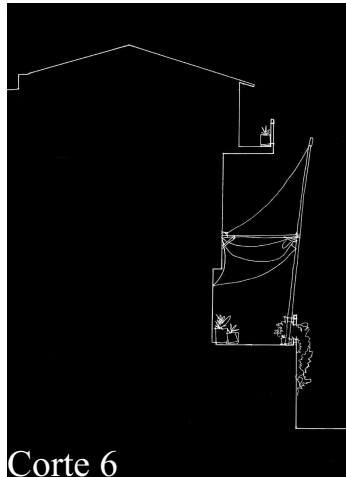


Corte 4

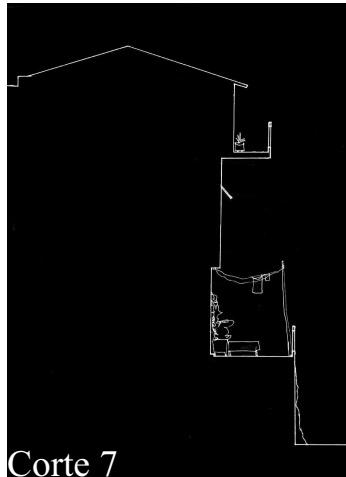


Corte 5

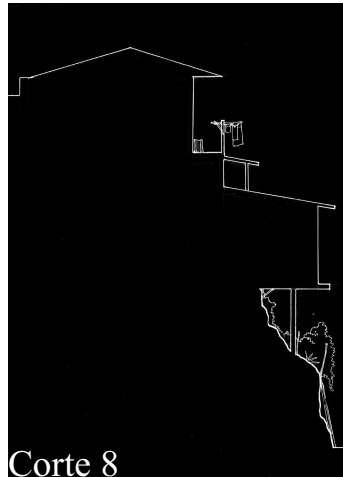
Sucesión de perfiles cada 1 m. Escala 1 : 250



Corte 6



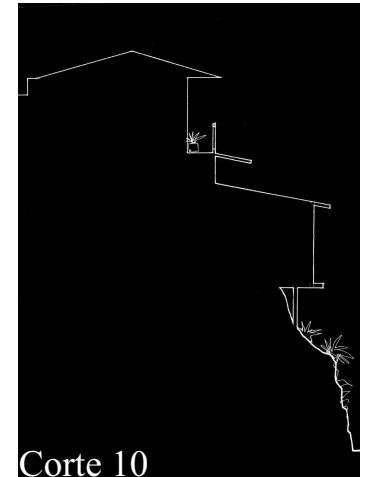
Corte 7



Corte 8



Corte 9



Corte 10

Resultados de la prueba

Estudio de dimensión fractal en análisis de cortes

a) Cortes de la quebrada

1 : existencia de acontecimientos
2: sin acontecimientos.

Corte	D_f	Lugar
1	1.08511	0
2	1.09809	0
3	1.10741	1
4	1.13344	1
5	1.12346	1
6	1.10397	1
7	1.11364	1
8	1.09648	1
9	1.08654	0
10	1.08425	0
11	1.09578	0
12	1.09168	0
13	1.09387	0
14	1.12857	1
15	1.1473	1
16	1.12854	1
17	1.07429	0
18	1.13316	1
19	1.07907	0
20	1.07668	1

La existencia de lugares, entendida a través del simple registro de acontecimientos está ligada en un 92% con un valor de dimensión fractal determinado. En este caso, el valor se aproxima a 1.1. cuando la dimensión fractal es mayor o igual a este valor, podemos encontrar acontecimientos e inferir los lugares.

Los valores mas altos de dimensión fractal coinciden con las situaciones de acontecimientos más marcadas. Los mayores índices se encuentran en el fondo de la quebrada, en los cortes atraviesan el caso elegido.

Se pueden encontrar valores similares de dimensión fractal en distintos cortes dentro de la secuencia. Se pueden establecer grupos de cortes no sucesivos con dichos valores, en los que se encuentran lugares con mucha vitalidad. (también pueden relacionarse los cortes con baja D_f).

Cortes 3 y 7, 14 y 16, 4 y 15, 3 y 16. (Valores más altos de D_f)

Estos cortes son distintos en cuanto a la forma y largo de su perímetro, pero tendrían rasgos fractales comunes. Además presentan una similitud de construcción:

- distanciamientos entre casas enfrentadas no mayor a 15 m.
- Existencia de balcones, terrazas, galerías y accesos con miradores (atalaya).
- Construcción similar en cuanto a materialidad: balcones, terrazas y galerías en madera y uso de palillaje como elemento divisorio.
- Situación en pendiente de más de 35°.
- dominio desde una altura de 2 m aprox. de los lugares hacia la calle.
- calles estrechas
- vistas importantes
- Luz en el interior

b) Cortes por la vivienda

Corte	D_f
1	1.11366
2	1.1021
3	1.13272
4	1.25499
5	1.3124
6	1.29883
7	1.25235
8	1.24532
9	1.24285
10	1.25348

Los valores de dimensión fractal son mayores, pues en estos cortes se ha aumentado el número de detalles, ya que el caso de estudio fue medido rigurosamente.

Los mayores focos de acontecimientos se concentran en los cortes con mayor dimensión fractal.

Cortes 5 y 6 : ocupación del patio y de los balcones. Tendedero de ropa, jardines y plantas, lugar para estar.

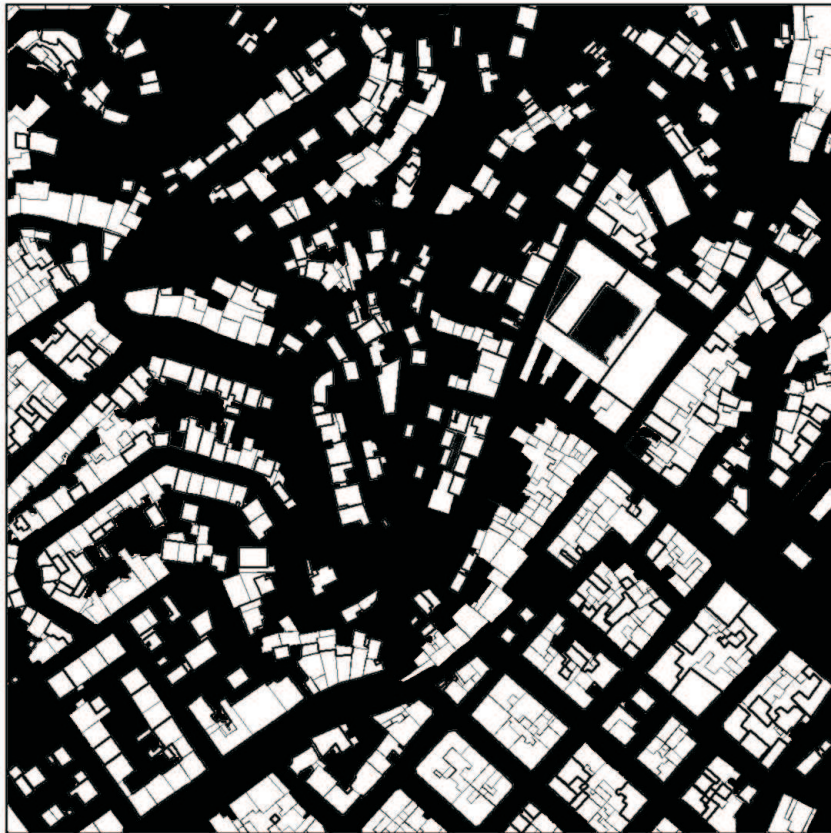
Se pueden realizar relaciones entre cortes no sucesivos, como el 4, 7 y 10, los cuales tienen distintos largos de perímetros. Están contruídos por los mismos elementos:

- balcones, galerías y terrazas.
- jardinería "vertical".
- palillaje (tendederos, pilares, etc..).
- luz
- vistas importantes
- apoyos al cuerpo

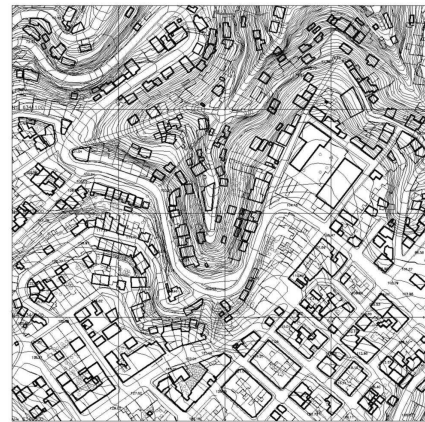
Análisis planimétrico y de imágenes

Se evidencia la emergencia de órdenes locales que responden primeramente a la topografía del terreno.

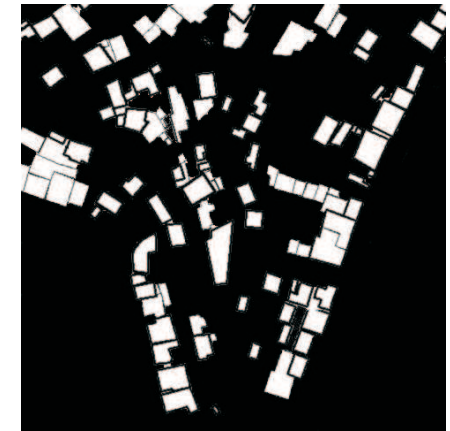
La vivienda en estudio concuerda con su orden local, verificado matemáticamente.



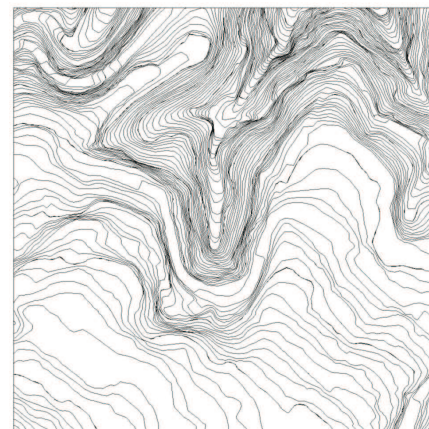
D = 1.70468



Plano de emplazamiento 1 : 7500



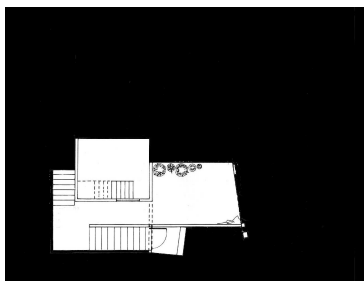
D = 1.74390



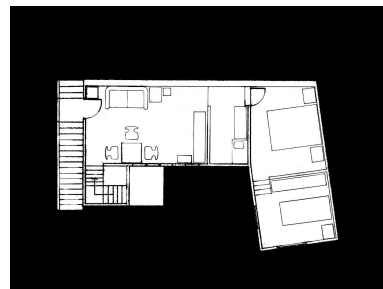
Plano de cotas de nivel 1 : 7500



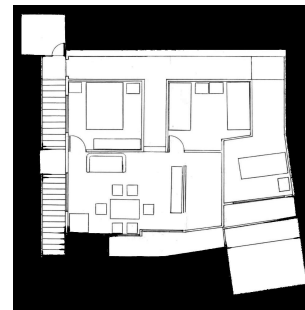
D = 1.60557



D = 1.75755



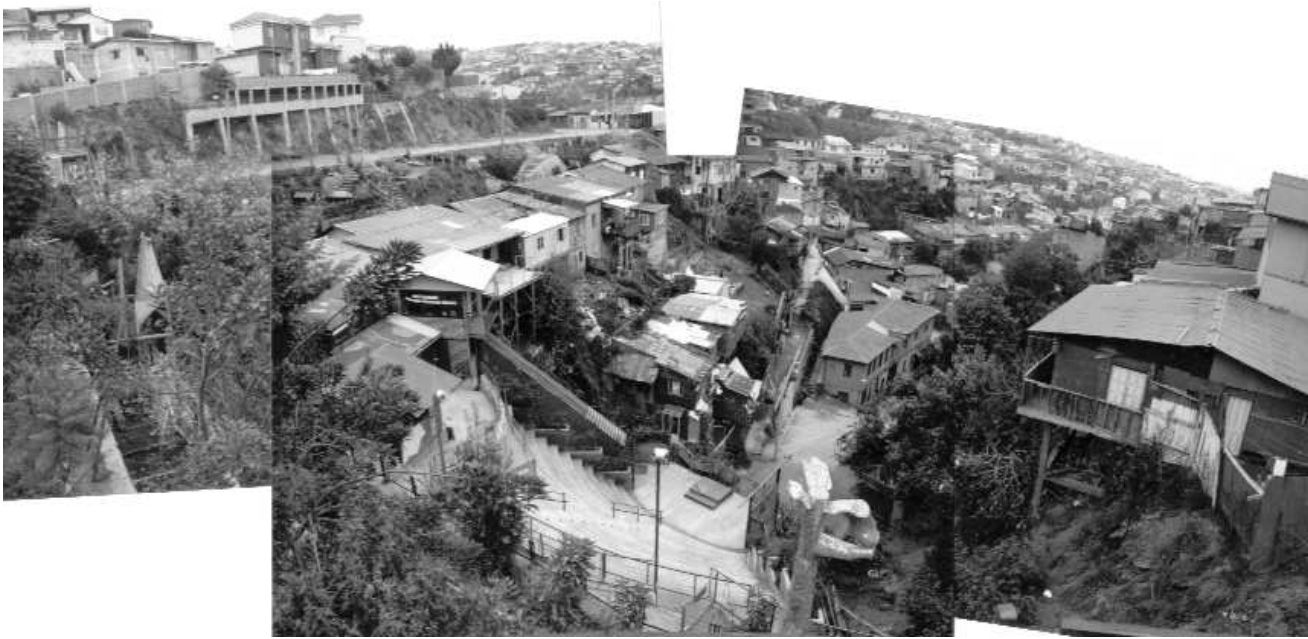
D = 1.81544



D = 1.84248



D = 1.65568



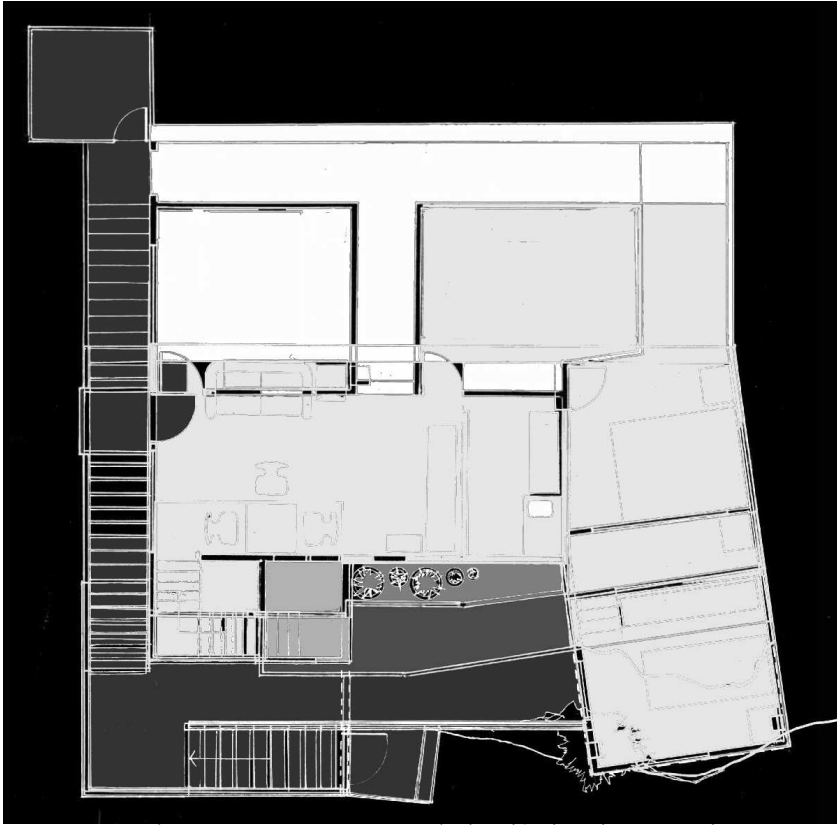
Reconocimiento de un orden local en la posibilidad de una lectura geométrica fractal. Se repiten generadores de crecimiento:

- Erupción
- Desfibración
- Quiebre y fracturación de los perfiles



a su vez, cada casa se genera de un orden geométrico particular, que no pierde las semejanzas con el todo.

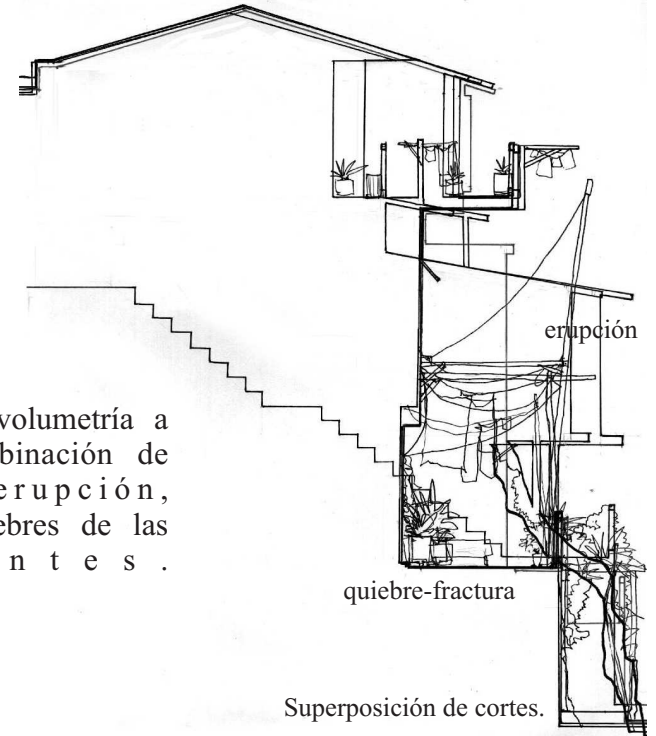




Plantas superpuestas con valorización interior y exterior



desfibración

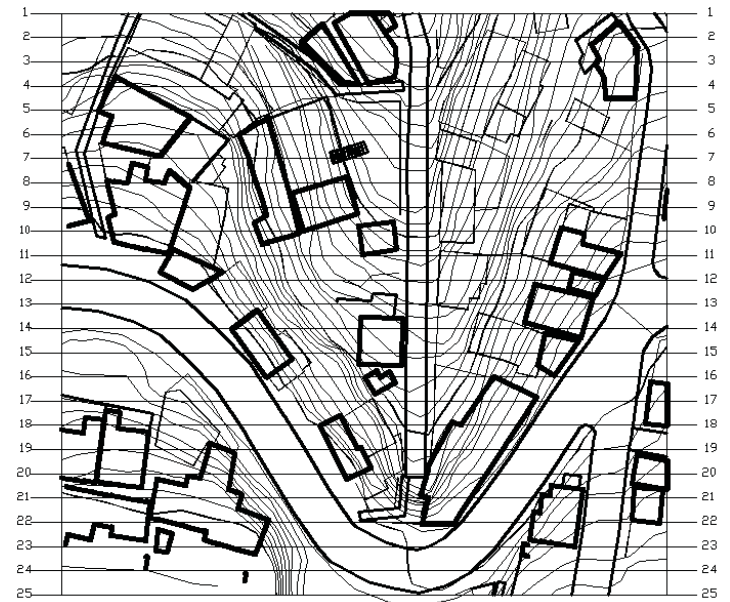


Generación de la volumetría a través de la combinación de procesos de erupción, desfibración y quiebres de las envolventes.

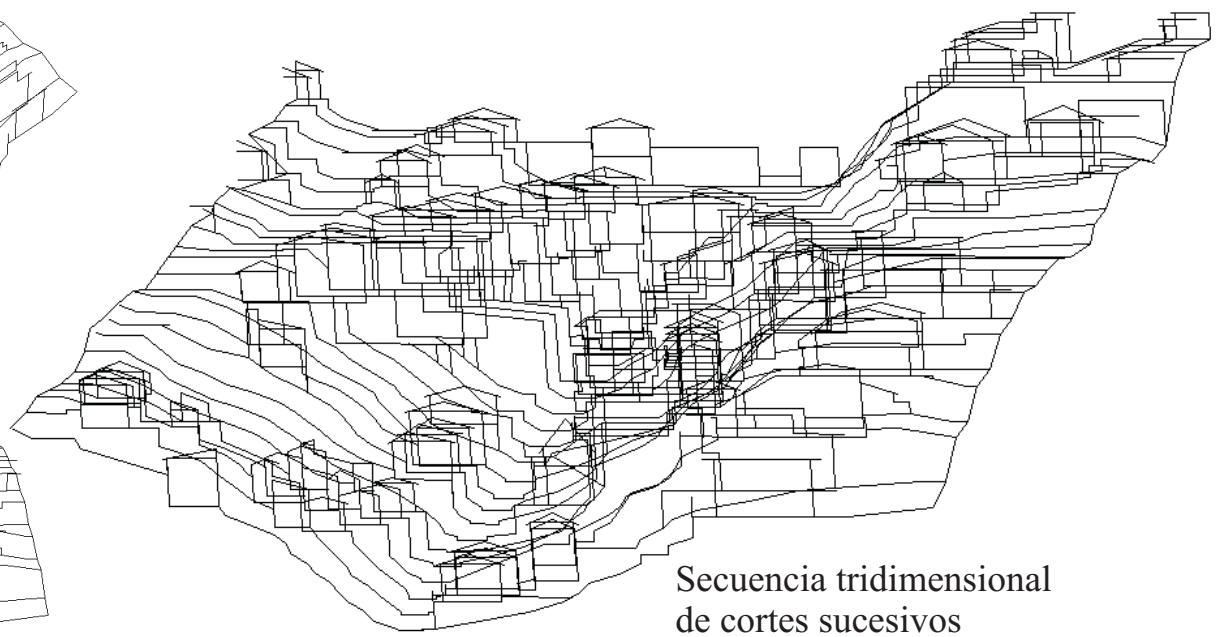
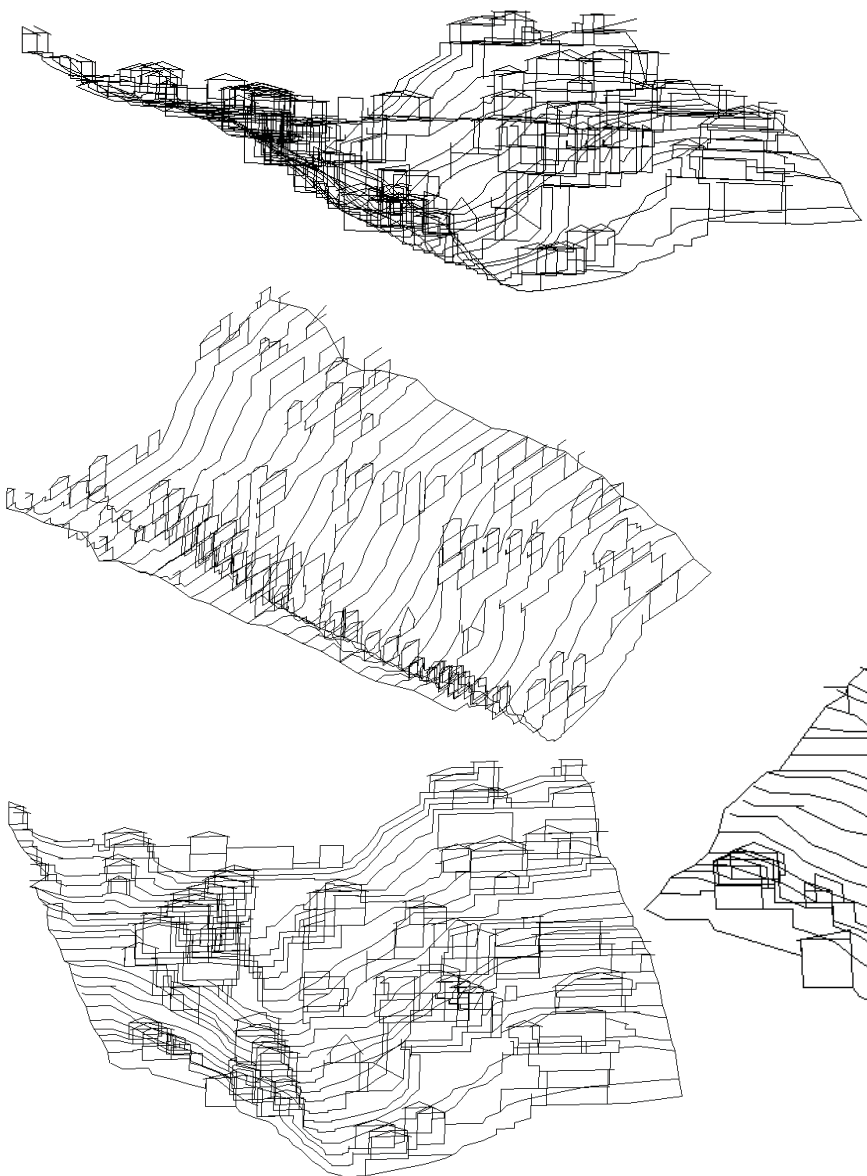


Acontecimiento y domesticación del lugar.

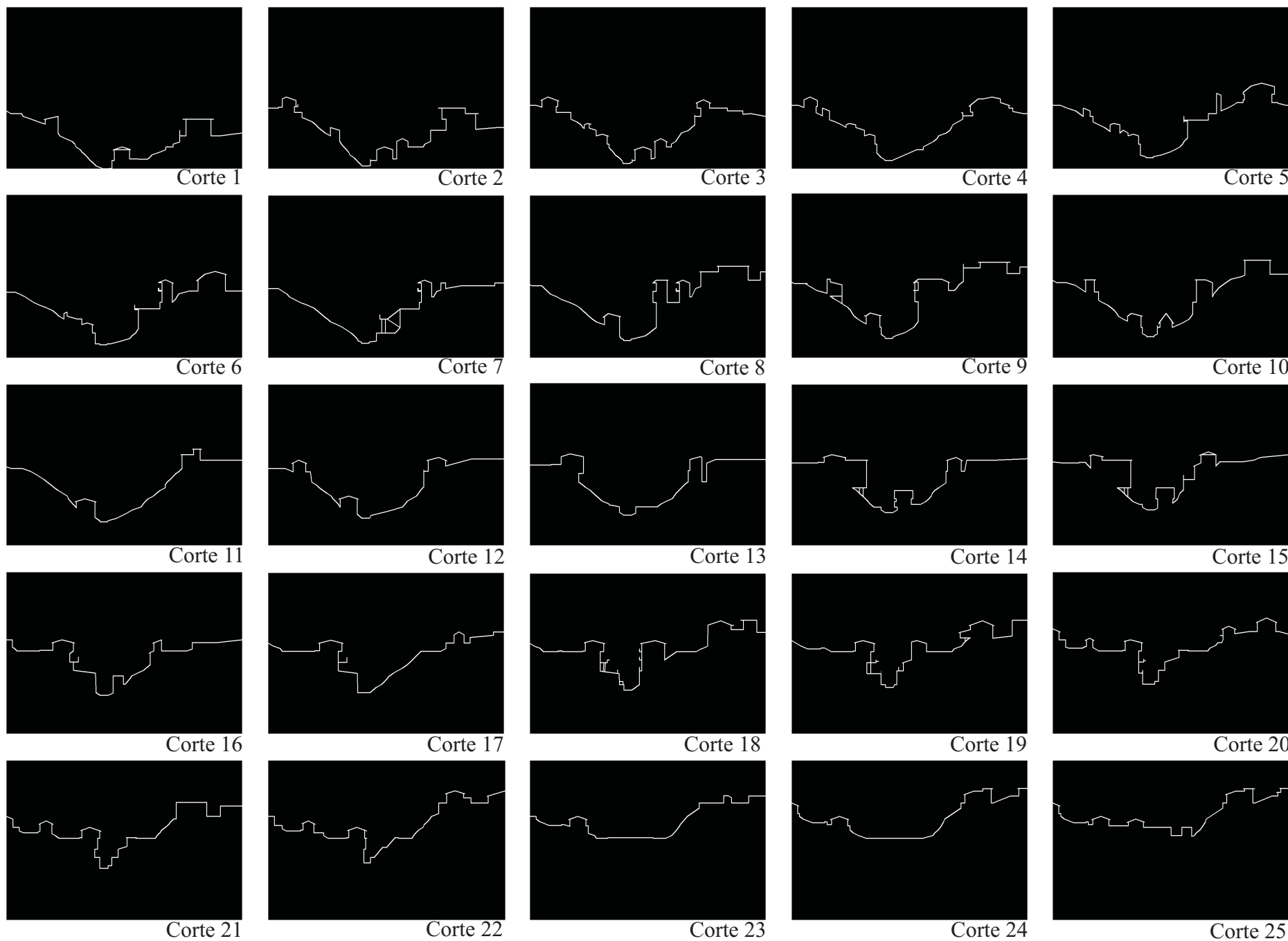
Caso nº 2: Vivienda en C° Toro



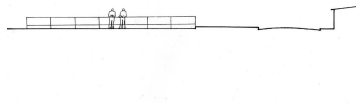
Planta y cortes del lugar cada 5 m. Escala 1:2000



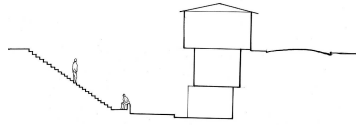
Secuencia tridimensional de cortes sucesivos



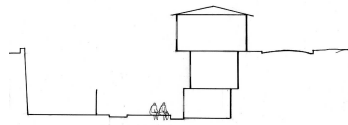
Sucesión de perfiles de la quebrada partir de los cortes. Escala 1: 2000



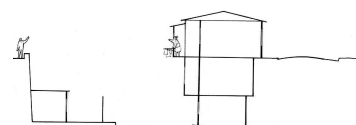
Corte 1



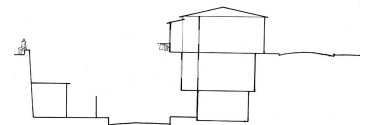
Corte 2



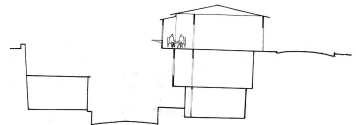
Corte 3



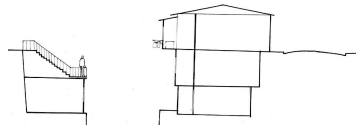
Corte 4



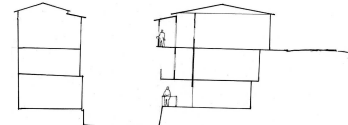
Corte 5



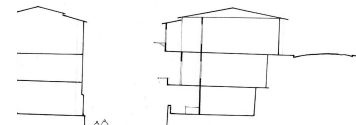
Corte 6



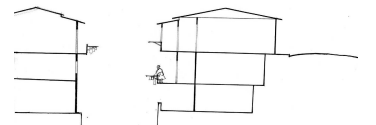
Corte 7



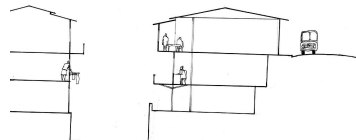
Corte 8



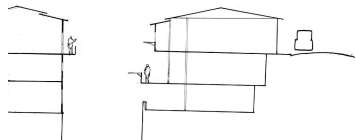
Corte 9



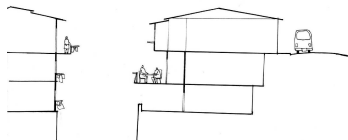
Corte 10



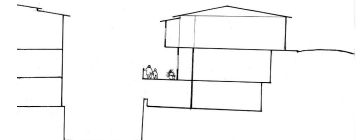
Corte 11



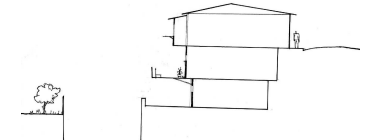
Corte 12



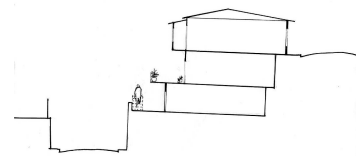
Corte 13



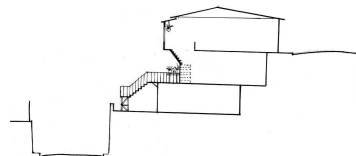
Corte 14



Corte 15

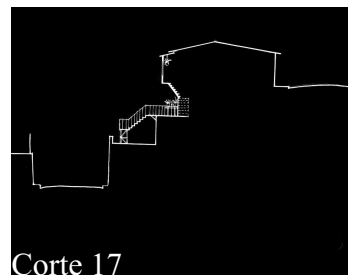
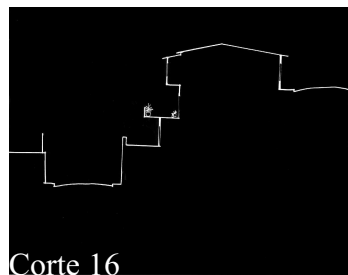
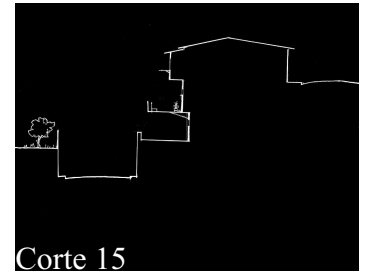
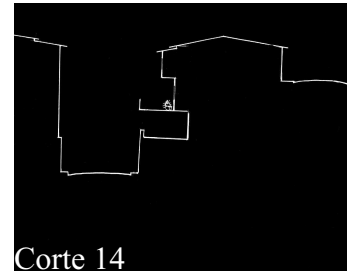
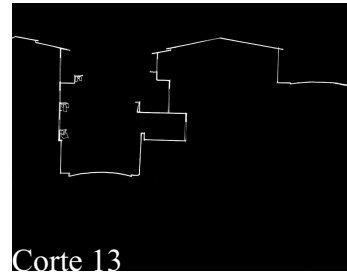
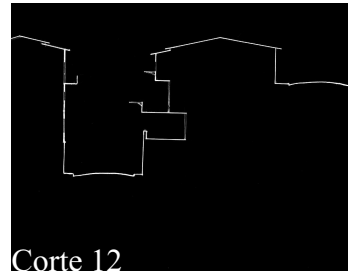
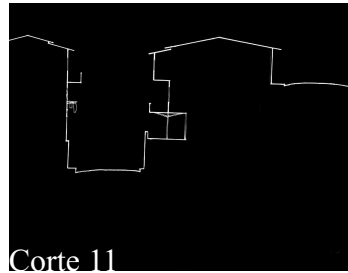
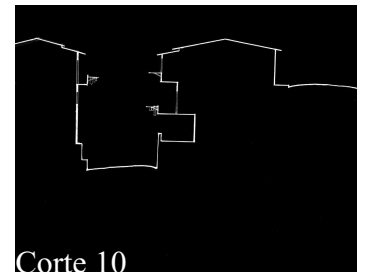
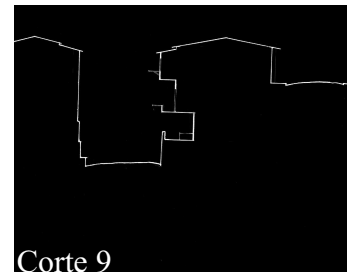
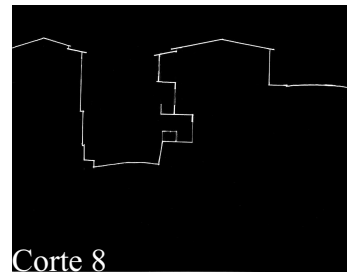
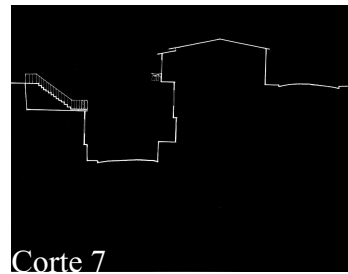
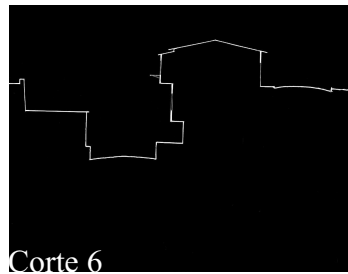
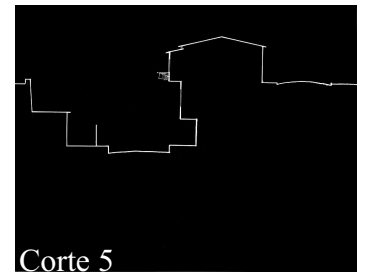
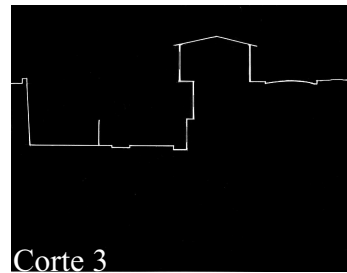
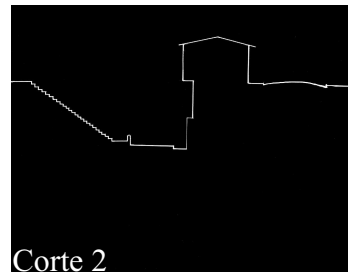
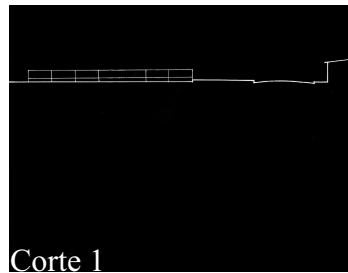


Corte 16



Corte 17

Secuencia de cortes de la vivienda cada 1 m. Escala 1 : 100



Secuencia de perfiles de la vivienda cada 1 m. Escala 1 : 100

Resultados de la prueba

Estudio de dimensión fractal en análisis de cortes

1 : existencia de acontecimientos

a) Cortes de la quebrada

2: sin acontecimientos.

Corte	D_f	Lugar
1	1.09500	1
2	1.10406	1
3	1.10157	1
4	1.08242	0
5	1.09435	1
6	1.08850	0
7	1.10562	1
8	1.10414	1
9	1.10917	1
10	1.09723	1
11	1.07468	0
12	1.07060	0
13	1.07591	0
14	1.09388	1
15	1.09615	1
16	1.08804	0
17	1.08649	0
18	1.10158	1
19	1.10521	1
20	1.09785	1
21	1.09326	1
22	1.08993	0
23	1.07686	0
24	1.07686	0
25	1.08588	0

La existencia de lugares, entendida a través del simple registro de acontecimientos está ligada en un 96% con un valor de dimensión fractal determinado. En este caso, el valor también es 1.1. cuando la dimensión fractal es similar a este valor, podemos encontrar acontecimientos e inferir los lugares.

Los valores mas altos de dimensión fractal coinciden con las situaciones de acontecimientos más marcadas.

Se pueden encontrar valores similares de dimensión fractal en distintos cortes dentro de la secuencia. Se pueden establecer grupos de cortes no sucesivos con dichos valores, en los que se encuentran lugares con mucha vitalidad.

Cortes 1 y 15, 2 y 18, 3 y 18, 7 y 18, 1 y 20, 14 y 21, 3 y 19. (Valores más altos de D_f)

Estos cortes son distintos en cuanto a la forma y largo de su perímetro, pero tendrían rasgos fractales comunes. Además presentan una similitud de construcción:

- distanciamientos entre casas no mayor a 15 m.
- Existencia de balcones, terrazas, galerías y accesos con miradores (atalaya).
- Construcción similar en cuanto a materialidad: balcones, terrazas y galerías en madera y uso de palillaje como elemento divisorio.
- Situación en pendiente de más de 42°.
- dominio desde una altura de 2 m aprox. de los lugares hacia la calle y una separación de 6m horizontales.
- lugares de estar hacia la quebrada
- vistas importantes
- situación espacial de contención
- apoyos al cuerpo

b) Cortes por la vivienda

Corte	D_f	Lugar
1	1.21122	1
2	1.17778	0
3	1.13536	0
4	1.15633	0
5	1.1633	1
6	1.16586	1
7	1.21492	1
8	1.15088	1
9	1.16662	1
10	1.23157	1
11	1.21176	1
12	1.19166	1
13	1.22441	1
14	1.21024	1
15	1.23187	1
16	1.20128	1
17	1.31832	1

Los valores de dimensión fractal son mayores, pues en estos cortes se ha aumentado el número de detalles, ya que el caso de estudio fue medido rigurosamente.

Los mayores focos de acontecimientos se concentran en los cortes con mayor dimensión fractal.

Cortes 1, 7, 10 y 13 al 17: ocupación del patio y de los balcones. Tendedero de ropa, jardines y plantas, lugares para estar.

Se pueden realizar relaciones entre cortes no sucesivos, como el 1, 7 y 10, o el 10 y el 15, los cuales tienen distintos largos de perímetros. Están contruídos por los mismos elementos:

- balcones, galerías y terrazas.
- jardinería "vertical".
- palillaje (tendederos, pilares, etc..).
- vistas importantes
- luz
- apoyos

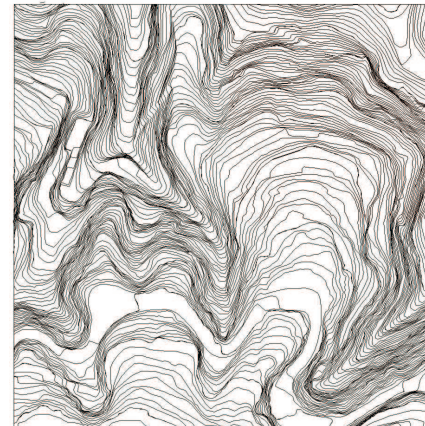
Análisis planimétrico y de imágenes

Se reconoce la emergencia de órdenes locales que derivan primeramente de la topografía del terreno.

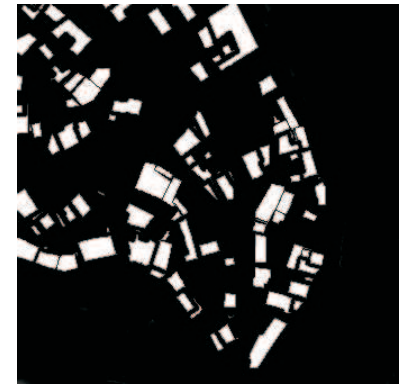
Cada sector se caracteriza por órdenes propios que son matemáticamente definidos.



D = 1.65047



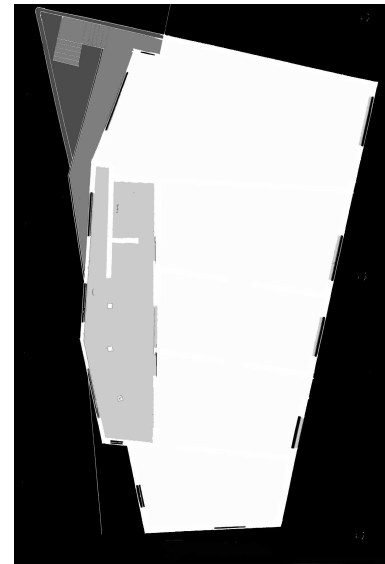
Planimetría del terreno escala 1: 2500



D = 1.68147
Caso de estudio en la parte inferior.



D = 1.62130



D = 1.93723



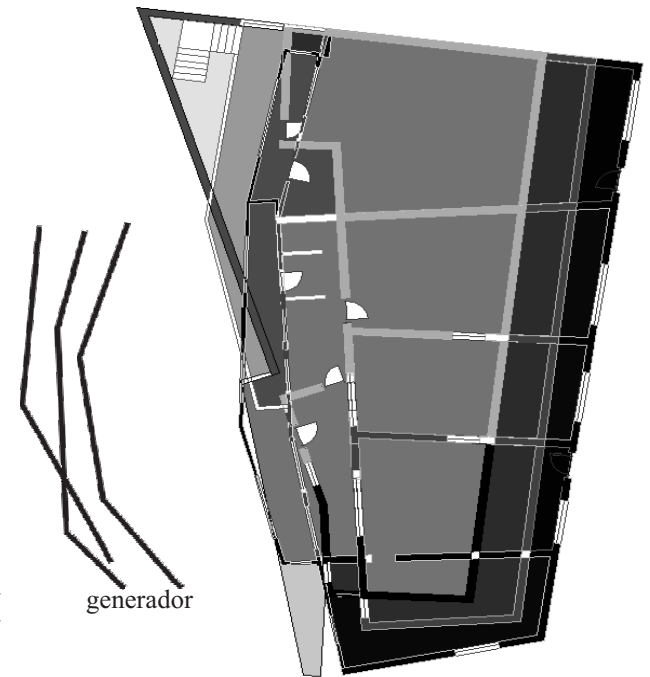
D = 1.49201

Se evidencian órdenes particulares de la vivienda que responden también a dos órdenes mayores: la quebrada y la horizontal de la calle.



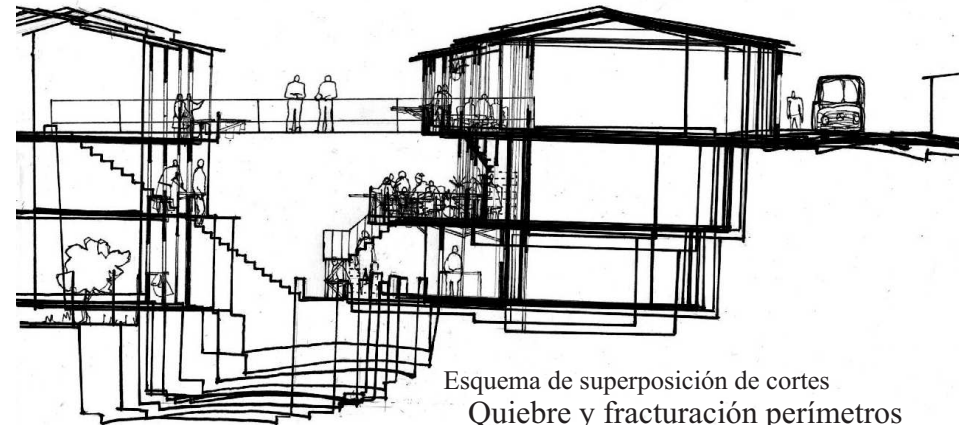
A través de la lectura de órdenes fractales se puede proponer una manera de crecimiento, en base a los procesos generadores:

Desfibración ; a partir del cuerpo principal se produce un crecimiento de bordes, cuya geometría responde a las vistas al mar, a la calle y al mirador. Hay una correspondencia entre lugar y contexto, y se puede proponer un generador de la desfibración.



Esquema planimétrico de crecimiento fractal
relación interior-exterior
Desfibración

Quebres y fracturación ; de las líneas que conforman perímetros entre envolventes, alcanzando un elevado nivel de complejidad geométrica.



Esquema de superposición de cortes
Quebre y fracturación perímetros



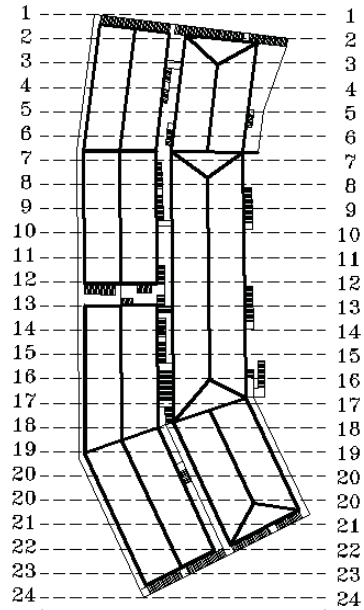
Los lugares se generan de una autoconstrucción que responde al paisaje y a necesidades más sutiles que las estrictamente funcionales.

Los pequeños elementos dan cuenta de la domesticación del espacio y generan complejidad geométrica.

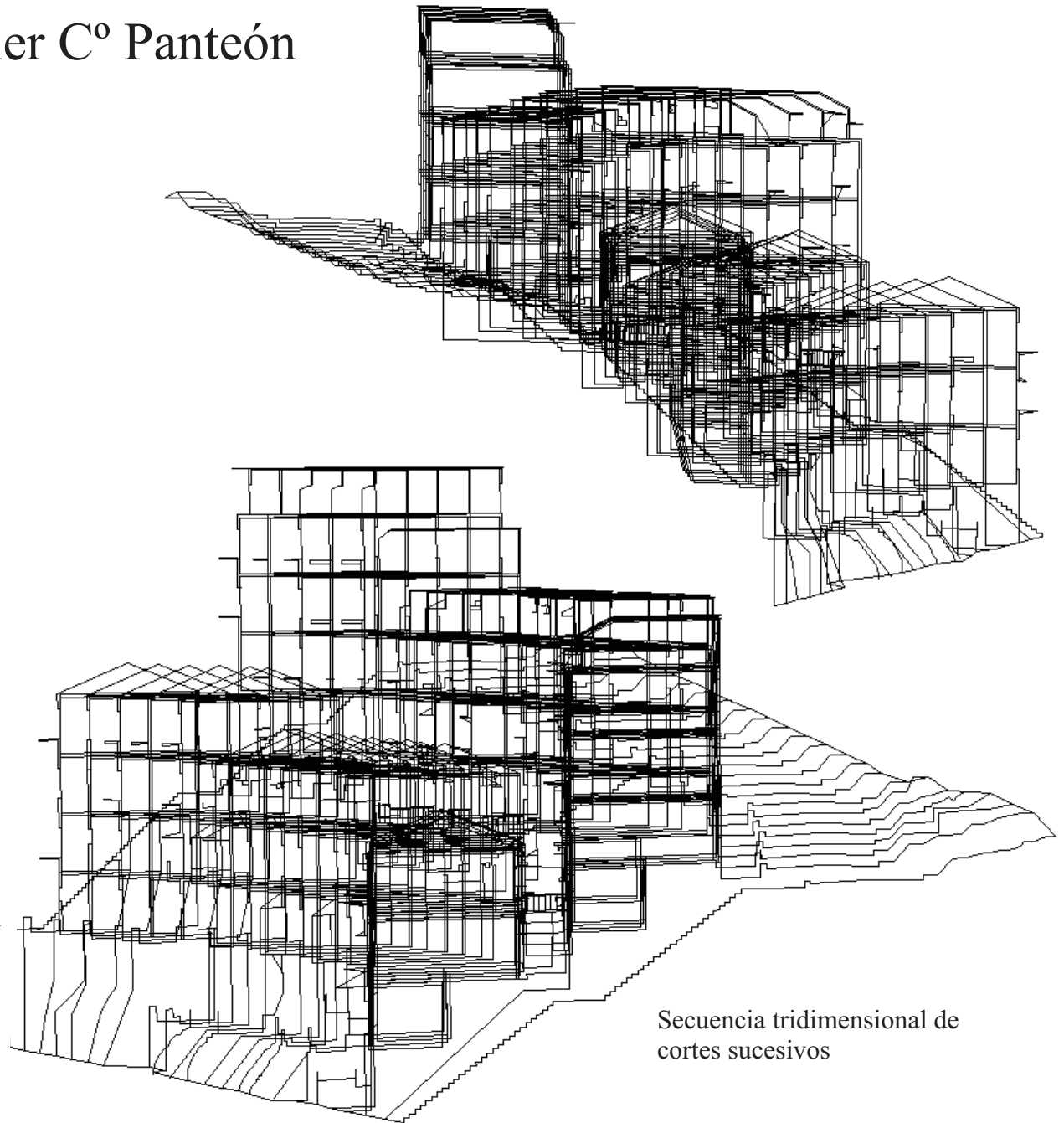
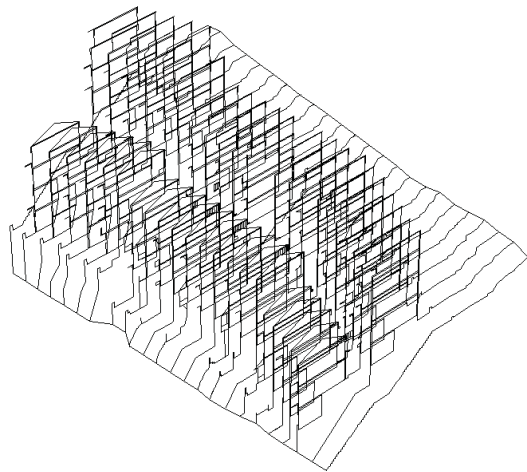
Los procesos constructivos que se utilizan son los tradicionales, en un principio de crecimiento a partir de una estructura soportante, que se complejiza con la aparición de estructuras más livianas.



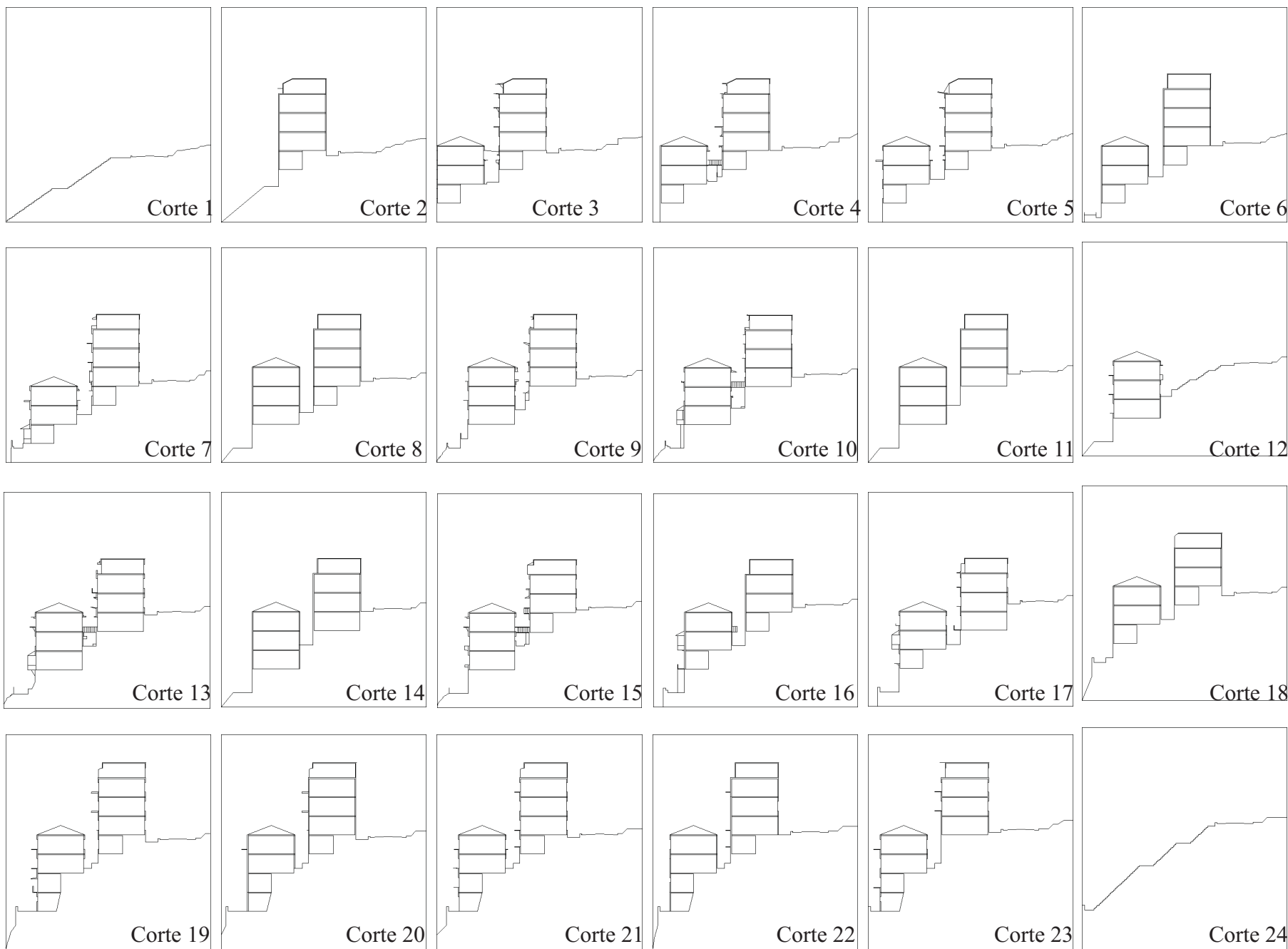
Caso nº 3 : Mongolfier C° Panteón



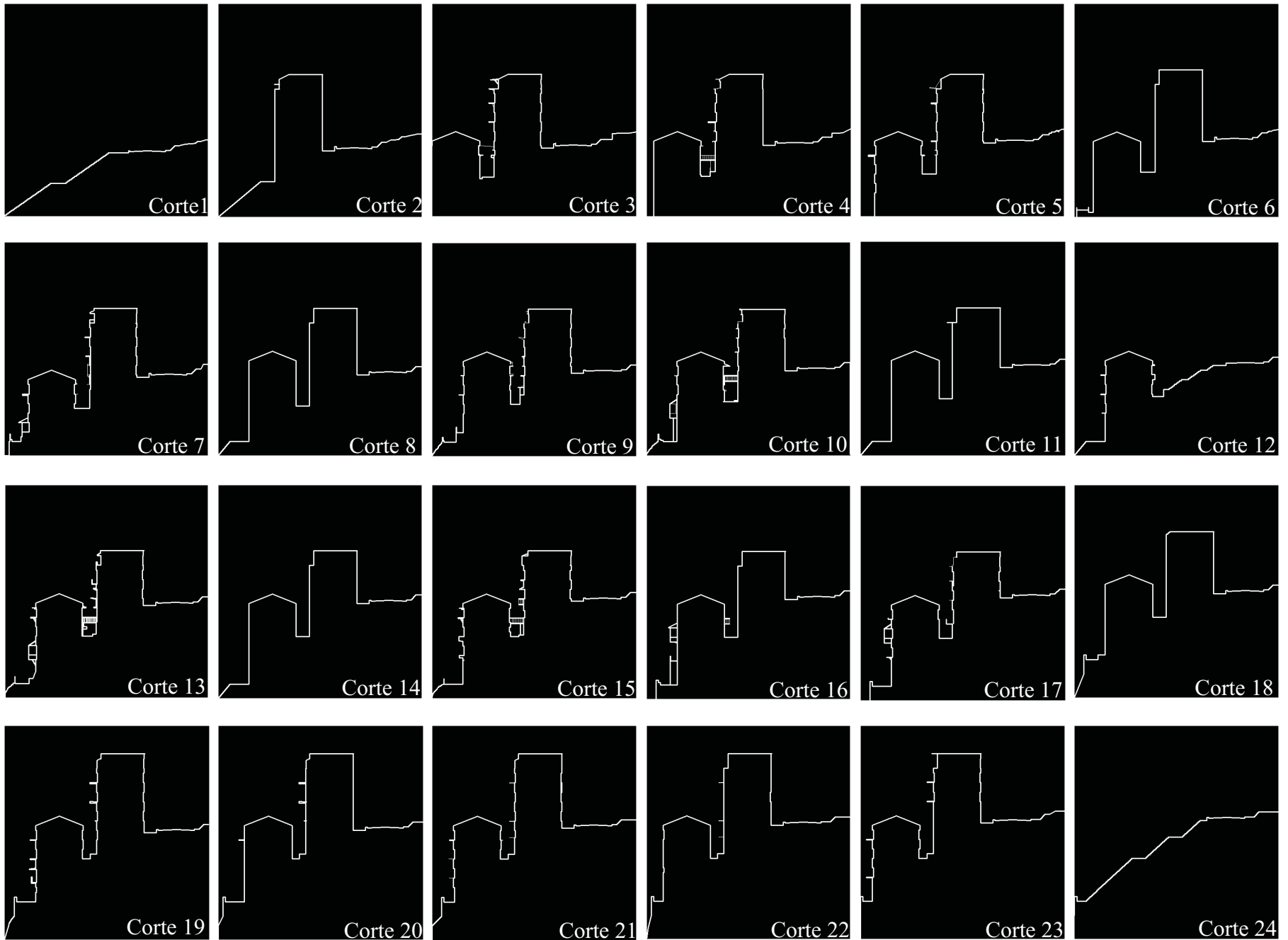
Planta y cortes transversales
escala 1 : 1250



Secuencia tridimensional de
cortes sucesivos



Secuencia de cortes cada 2.5 m. Escala 1: 1250



Secuencia de perfiles cada 2.5 m. Escala 1: 1250

Resultados de la prueba

Estudio de dimensión fractal en análisis de cortes

1 : existencia de acontecimientos

2: sin acontecimientos.

Corte	D _F	Lugar
1	1.06732	0
2	1.08992	0
3	1.10726	1
4	1.12477	1
5	1.11182	1
6	1.10055	0
7	1.13107	1
8	1.10666	0
9	1.12343	1
10	1.15394	1
11	1.10597	0
12	1.09163	0
13	1.10067	1
14	1.13496	0
15	1.13496	1
16	1.12803	1
17	1.12078	1
18	1.09797	0
19	1.12741	1
20	1.12396	1
21	1.14125	1
22	1.12468	1
23	1.12488	1
24	1.06387	0

La existencia de lugares, entendida a través del simple registro de acontecimientos está ligada en un 91.7% con un valor de dimensión fractal

determinado. En este caso, el valor también es 1.1. cuando la dimensión fractal es similar a este valor, podemos encontrar acontecimientos e inferir los lugares.

Los valores mas altos de dimensión fractal coinciden con las situaciones de acontecimientos más marcadas.

Se pueden encontrar valores similares de dimensión fractal en distintos cortes dentro de la secuencia. Se pueden establecer grupos de cortes no sucesivos con dichos valores, en los que se encuentran lugares con vitalidad.

Cortes 3 y 13

Cortes 4, 9, 16, 17, 20.

Cortes 7, 14 y 15.

Estos cortes son distintos en cuanto a la forma y largo de su perímetro, pero tendrían rasgos fractales comunes. Además presentan una similitud de construcción:

- Existencia de balcones, terrazas, galerías y accesos con miradores (atalaya).

- Construcción similar en cuanto a materialidad: balcones, terrazas y galerías en madera y uso de palillaje como elemento divisorio a partir de una estructura sólida soportante.

- Situación en pendiente de más de 42°.

- dominio desde una altura de 1.2 m aprox. de los lugares hacia los recorridos.

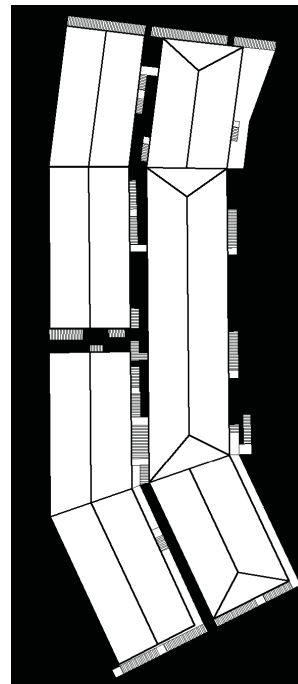
- construcción de distancias entre lugares no superior a 20 m (largo mayor del tramo central del callejón entre las dos crujiás). Los lugares relacionados comparten una distancia inferior a los 5 m, sin embargo, el desface vertical entre los lugares produce clara diferenciación entre lugares situados arriba y abajo.

Caso nº 3: Mongolfier Cº Panteón

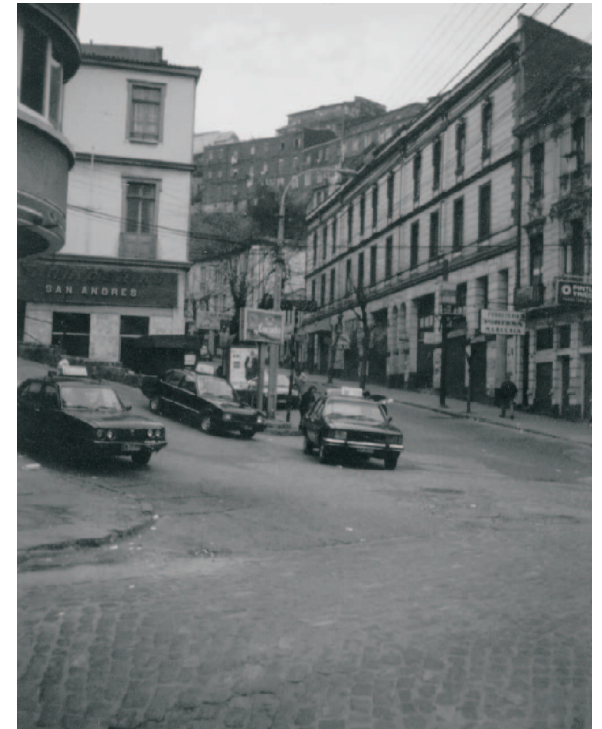
Correspondencia dimensional entre la obra y su ambiente inmediato. Se verifican órdenes menores que forman parte del total.

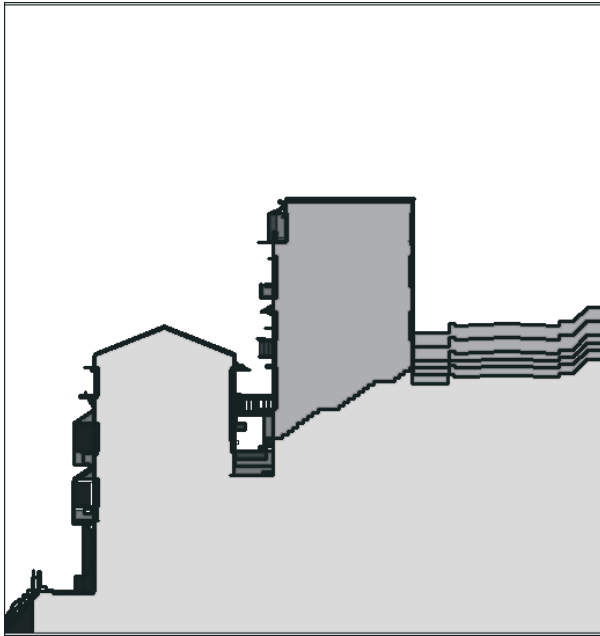


D = 1.10239



D = 1.09762



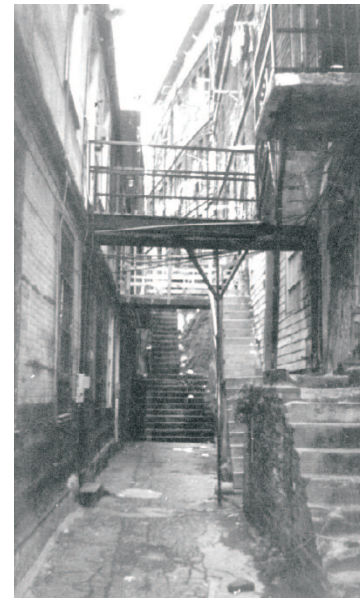


$D = 1.78160$

La mayor complejidad geométrica se alcanza en el pasillo interior, el cual se conforma como un espacio denso, lleno de lugares que pueden describirse fractalmente a través de los procesos de erupción de la envolvente interior al exterior y de quiebre y fracturación de los perímetros.

Se reconoce un orden general a partir de la adaptación a la topografía. Pero se generan una serie de situaciones locales que responden a requerimientos particulares que constituyen órdenes locales en sí.

La interacción entre estos órdenes constituye la secuencia de lugares.





La interacción de estos órdenes y la adecuación del edificio a la pendiente conlleva a una variedad de distintos recintos interiores que se particularizan geoméricamente.

Se evidencia fuerte domesticación del lugar, a través de una serie de elementos pequeños que dan carácter a los lugares, que aparecen como focos de acontecimientos llenos de vida.



3. Conclusiones

Primeramente debemos aclarar que las conclusiones que se pueden extraer de las pruebas realizadas no deben ser consideradas como resultados definitivos. Ellas corresponden más bien a comprobaciones provisorias de hipótesis que también son provisorias. La metodología utilizada es en esencia relativa, pues dependió de la disponibilidad y el uso de herramientas y de los parámetros de control. Sin embargo, ella permite un grado de objetividad aceptable cuando se logra constituir un método de análisis que se aplica uniformemente en todas las mediciones, es decir, cuando se logra estandarizar una metodología de comparación.

Con respecto a las hipótesis de trabajo planteadas podemos decir que:

1. Un alto grado de complejidad fractal permite una posibilidad mayor de construir lugares.

1.1. A través de la dimensión fractal, una de las muchas medidas de la complejidad, es posible establecer un valor numérico de la fragmentación, que da cuenta de las invarianzas a distinta escala, y que está en relación directa con la emergencia de acontecimientos, y por consiguiente, de lugares.

1.2. Además podemos reconocer la emergencia de ordenes locales, ligados al total y *local scaling properties*, indicadas matemáticamente por los distintos valores de dimensión fractal. Estos órdenes locales están constituidos por elementos similares, y pueden ser descritos fractalmente en los mismos términos.

1.3. El mayor grado de complejidad geométrica se alcanza por la domesticación de los lugares; por la construcción de elementos físicos de distintos tamaños que marcan su propiedad y su uso. Los lugares adquieren dimensiones pequeñas dado el alto grado de complejidad de su geometría, en donde su habitabilidad se vuelca hacia el exterior, y se marcan rasgos distintivos como vistas determinadas, dominio de recorridos y lugares públicos, etc.

2. Podemos referirnos a estos procesos de construcción de lugares en términos morfogenéticos, en donde se produce una retroalimentación entre forma y contexto.

2.1. Este estudio corresponde una visión diacrónica de los procesos de generación de la forma, por tanto, sólo se pueden presentar aproximaciones a partir de las observaciones e inferencias que se desprenden de las pruebas. En este entendido, parece pertinente plantear una morfogénesis producto de la interacción forma - contexto, sobre todo, al constatar que al aislar (arbitrariamente) un sector determinado, se presentan órdenes fractales locales ligados matemáticamente al caso en cuestión y al sector. La forma y su contexto físico están relacionados geoméricamente a través de una correspondencia fractal, a partir de la cual podemos plantear la idea de retroalimentación entre ambas. Entonces, se hace patente que el todo es más que una sumatoria de partes, es producto de principios geoméricos inmanentes que pueden manifestarse a distinta escala, aunque no necesariamente en todas las escalas - sibilisimilaridad -, sino que pueden tener una emergencia variable.

2.2. Los métodos constructivos son parecidos en los casos; una estructura soportante en base a muros (de madera y adobe o adobillo) a partir de la cual se producen crecimientos hacia el exterior y transformaciones interiores con estructuras más livianas de madera, a partir de las cuales se puede seguir realizando este crecimiento. En la simple observación de los cortes se observa este hecho, pero se evidencia que al interactuar con las condiciones del lugar la forma se hace única, sin que exista una condición de diseño previamente establecida.

2.3. La geometría y la expresividad de cada construcción es única y responde a un número de condiciones que le son propias, sin embargo comparte propiedades geométricas medibles comunes a su contexto, sin perder sus particularidades. Podemos hablar entonces, del orden como fenómeno emergente del caos.

3. El emplazamiento de la obra responde a rasgos generales y a situaciones de lugaridad particulares, y podemos referirnos a él, a través de los procesos generadores planteados con respecto a las envolventes.

3.1. En primer término la obra responde a principios generales, como el posicionamiento en el terreno con respecto a la cota y a la geometría del lote, pero además presenta una variedad de órdenes particulares, como la orientación de un lugar específico hacia una determinada vista, o el levantamiento de un volumen en pos de una determinada luz. Esto no implica que ella se desarrolle desde los rasgos generales hasta los detalles, como una maqueta de proyecto, sino que hay un proceso complejo de retroalimentación que dista bastante de un modelo lineal.

3.2. Dada la complejidad del proceso de morfogénesis, no se puede hacer una descripción determinista de él, pues aunque podemos determinar correspondencias geométricas entre la forma y el paisaje, la luz, etc. intervienen una serie de variables que desconocemos, por lo que podríamos plantear incluso la presencia de un cierto grado de aleatoriedad. Por lo tanto, tampoco se podría establecer una correspondencia directa con algún dialecto fractal específico.

3.3. Los procesos fractales propuestos se encuentran en un plano de observación homológica, y no pueden ser considerados como algoritmos fractales en un sentido estricto, aunque a través de ellos se puede lograr un grado de descripción aceptable. De ellos podemos decir que:

3.3.1. Los procesos de quiebre y fracturación de los perfiles de los volúmenes están presentes en varias escalas, y a través de el análisis principalmente de ellos se pudieron establecer las dimensiones fractales y las comparaciones matemáticas. La complejidad de ellos es el índice que se ha enfrentado a la habitabilidad.

3.3.2. Los procesos de erupción y desfibración de las envolventes, se presentan como generadores de órdenes más localizados, con el valor de romper la relación de paridad interior-exterior que plantea la metodología empleada. A través de ellos se puede entender más cabalmente un crecimiento fractal, por parte de un habitar que se vuelca al exterior, generando toda una gama de lugares con distintos matices de interioridad.

4. Discusión

Un pequeño aporte a una cultura espacial propia

La noción de una cultura espacial se ha asociado primeramente con la experiencia de vivir Valparaíso, con su realidad. Y lo que se ha perseguido en este estudio es alcanzar sólo un pequeño trozo, un aspecto de esa sobrecogedora realidad, que se ha materializado en una investigación geométrica, la cual ha brindado una posibilidad de reconocer y medir una cualidad de algunas porciones de ciudad. Pese a que la investigación se guió siempre por las comprobaciones de las hipótesis de trabajo y por un criterio operacional, se encontraron sin querer, relaciones geométricas y matemáticas de los casos de estudio con el sector en que se situaban, y de este sector con un sector mayor, de manera tal, que se ha abierto una nueva posibilidad, la de interrogarse por una cualidad más holística de la geometría de Valparaíso. Cada edificio, cada casa, responde formalmente a solicitudes propias, las que pueden ser caracterizadas geoméricamente, pero éstas comparten rasgos comunes a su contexto sin perder su identidad, y estos rasgos también pueden ser descritos y medidos matemáticamente. Es probable que existan una serie de principios inmanentes que esperan a ser descubiertos. Por ahora, podemos proponer que a través de la geometría fractal al menos es posible caracterizar parte de esta realidad, de distinguir un pequeño aspecto de la cultura espacial de Valparaíso.

Sobre la geometría fractal

Hay una dificultad de describir a través de la geometría clásica la compleja morfología de las construcciones de los cerros y de relacionarla con su contexto, con el habitar y de constituir un trazado que la explique cabalmente. Esto podría entenderse de acuerdo a dos factores: primero, la geometría tradicional trabaja con condiciones absolutas y es determinista desde un punto de vista formal, y segundo, los procesos de generación de la forma son más cercanos a la complejidad que a los modelos lineales. Frente a esto, la ventaja del enfoque fractal es que permite una cualificación y cuantificación de la forma sin la necesidad de plantearse determinísticamente (en un sentido positivista). Sin embargo, tal aproximación requiere una pequeña reflexión; cual es el sentido en que se considerará el enfoque fractal. Pareciera que plantear los fractales desde una perspectiva epistemológica, como una explicación última, no es adecuado. En contraste, el planteamiento metodológico libre de prejuicios metafísicos puede ser una alternativa mucho más viable y fructífera. Esto no indica que se deba abandonar la posibilidad de una visión holística de la geometría fractal, la cual puede ser cierta, sobre todo cuando podemos vincularla a los procesos creativos y al ámbito artístico.

Sobre esta investigación

Esta investigación se ha generado a partir de un pensar que no es científico, así que las hipótesis y conclusiones no son generalizables. Las herramientas usadas para la contrastación son arbitrarias y el número de casos no es representativo. Y esto no es negativo pues así fue planteada desde un principio, es sólo un intento de *situar mi desconcierto*¹, como nos señala Barthes.

Y esto parece haberse logrado en cierto modo, pues ya una vez situado este desconcierto, se han abierto toda una gama de posibilidades que no se vislumbraban al empezar la investigación. Podríamos proponer un cálculo geométrico proyectual que recoja la naturaleza geométrica de su contexto, sin que esto implique acogerse a tipologías que determinen el diseño en un nivel compositivo, sino que se puedan reconocer principios estructurantes del lugar, y a través de ellos generar nuevos órdenes. También se podría seguir profundizando en las mismas hipótesis realizadas, que en verdad no han sido científicamente comprobadas. O considerar todas las posibilidades de análisis fractal que se pueden incorporar al estudio urbano, como estudios del crecimiento de la ciudad, de la estructura urbana, del grano, etc.

La dimensión fractal es solo uno de los muchos índices que existen para medir la complejidad, hay una serie de herramientas de esta geometría que no han sido usadas, y una serie de otras geometrías también. Este trabajo es sólo un grano de arena dentro de un mar de posibilidades de exploración.

¹ Roland Barthes; El Susurro del Lrnguaje; p.47.

Capítulo 5
anexos
bibliografía
agradecimientos

Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas

Marcelo Arnold Ph.D. y Francisco Osorio, M.A. Departamento de Antropología. Universidad de Chile.

Introducción

En un sentido amplio, la Teoría General de Sistemas (TGS) se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias.

En tanto paradigma científico, la TGS se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. En tanto práctica, la TGS ofrece un ambiente adecuado para la interrelación y comunicación fecunda entre especialistas y especialidades.

Bajo las consideraciones anteriores, la TGS es un ejemplo de perspectiva científica (Arnold & Rodríguez, 1990a). En sus distinciones conceptuales no hay explicaciones o relaciones con contenidos preestablecidos, pero sí con arreglo a ellas podemos dirigir nuestra observación, haciéndola operar en contextos reconocibles.

Los objetivos originales de la Teoría General de Sistemas son los siguientes:

- a. Impulsar el desarrollo de una terminología general que permita describir las características, funciones y comportamientos sistémicos.
- b. Desarrollar un conjunto de leyes aplicables a todos estos comportamientos y, por último,
- c. Promover una formalización (matemática) de estas leyes.

La primera formulación en tal sentido es atribuible al biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), quien acuñó la denominación "Teoría General de Sistemas". Para él, la TGS debería constituirse en un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y ser al mismo tiempo un instrumento básico para la formación y preparación de científicos.

Sobre estas bases se constituyó en 1954 la *Society for General Systems Research*, cuyos objetivos fueron los siguientes:

- a. Investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en varios campos y facilitar las transferencias entre aquellos.
- b. Promoción y desarrollo de modelos teóricos en campos que carecen de ellos.
- c. Reducir la duplicación de los esfuerzos teóricos
- d. Promover la unidad de la ciencia a través de principios conceptuales y metodológicos unificadores.

Como ha sido señalado en otros trabajos, la perspectiva de la TGS surge en respuesta al agotamiento e inaplicabilidad de los enfoques analítico-reduccionistas y sus principios mecánico-causales (Arnold & Rodríguez, 1990b). Se desprende que el principio clave en que se basa la TGS es la noción de totalidad orgánica, mientras que el paradigma anterior estaba fundado en una imagen inorgánica del mundo.

A poco andar, la TGS concitó un gran interés y pronto se desarrollaron bajo su alero diversas tendencias, entre las que destacan la cibernética (N. Wiener), la teoría de la información (C.Shannon y W.Weaver) y la dinámica de sistemas (J.Forrester).

Si bien el campo de aplicaciones de la TGS no reconoce limitaciones, al usarla en fenómenos humanos, sociales y culturales se advierte que sus raíces están en el área de los sistemas naturales (organismos) y en el de los sistemas artificiales (máquinas). Mientras más equivalencias reconozcamos entre organismos, máquinas, hombres y formas de organización social, mayores serán las posibilidades para aplicar correctamente el enfoque de la TGS, pero mientras más experimentemos los atributos que caracterizan lo humano, lo social y lo cultural y sus correspondientes sistemas, quedarán en evidencia sus inadecuaciones y deficiencias (sistemas triviales).

No obstante sus limitaciones, y si bien reconocemos que la TGS aporta en la actualidad sólo aspectos parciales para una moderna Teoría General de Sistemas Sociales (TGSS), resulta interesante examinarla con detalle. Entendemos que es en ella donde se fijan las distinciones conceptuales fundantes que han facilitado el camino para la introducción de su perspectiva, especialmente en los estudios ecológico culturales (e.g. M.Sahlins, R.Rappaport), politológicos (e.g. K.Deutsch, D.Easton), organizaciones y empresas (e.g. D.Katz y R.Kahn) y otras especialidades antropológicas y sociológicas.

Finalmente, el autor quiere agradecer a Juan Enrique Opazo, Andrea García, Alejandra Sánchez, Carolina Oliva y Francisco Osorio, quienes dieron origen a este documento en una versión de 1991, bajo el proyecto de investigación SPITZE.

Definiciones Nominales para Sistemas Generales

Siempre que se habla de sistemas se tiene en vista una totalidad cuyas propiedades no son atribuibles a la simple adición de las propiedades de sus partes o componentes.

En las definiciones más corrientes se identifican los sistemas como conjuntos de elementos que guardan estrechas relaciones entre sí, que mantienen al sistema directo o indirectamente unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo (teleología). Esas definiciones que nos concentran fuertemente en procesos sistémicos internos deben, necesariamente, ser complementadas con una concepción de sistemas abiertos, en donde queda establecida como

condición para la continuidad sistémica el establecimiento de un flujo de relaciones con el ambiente.

A partir de ambas consideraciones la TGS puede ser desagregada, dando lugar a dos grandes grupos de estrategias para la investigación en sistemas generales:

- a. Las perspectivas de sistemas en donde las distinciones conceptuales se concentran en una relación entre el todo (sistema) y sus partes (elementos).
- b. Las perspectivas de sistemas en donde las distinciones conceptuales se concentran en los procesos de frontera (sistema/ambiente).

En el primer caso, la cualidad esencial de un sistema está dada por la interdependencia de las partes que lo integran y el orden que subyace a tal interdependencia. En el segundo, lo central son las corrientes de entradas y de salidas mediante las cuales se establece una relación entre el sistema y su ambiente. Ambos enfoques son ciertamente complementarios.

Clasificaciones Básicas de Sistemas Generales

Es conveniente advertir que no obstante su papel renovador para la ciencia clásica, la TGS no se despegó –en lo fundamental– del modo cartesiano (separación sujeto/objeto). Así forman parte de sus problemas tanto la definición del status de realidad de sus objetos, como el desarrollo de un instrumental analítico adecuado para el tratamiento lineal de los comportamientos sistémicos (esquema de causalidad). Bajo ese marco de referencia los sistemas pueden clasificarse de las siguientes maneras:

- a. Según su entitividad los sistemas pueden ser agrupados en reales, ideales y modelos. Mientras los primeros presumen una existencia independiente del observador (quien los puede descubrir), los segundos son construcciones simbólicas, como el caso de la lógica y las matemáticas, mientras que el tercer tipo corresponde a abstracciones de la realidad, en donde se combina lo conceptual con las características de los objetos.
- b. Con relación a su origen los sistemas pueden ser naturales o artificiales, distinción que apunta a destacar la dependencia o no en su estructuración por parte de otros sistemas.
- c. Con relación al ambiente o grado de aislamiento los sistemas pueden ser cerrados o abiertos, según el tipo de intercambio que establecen con sus ambientes. Como se sabe, en este punto se han producido importantes innovaciones en la TGS (observación de segundo orden), tales como las nociones que se refieren a procesos que aluden a estructuras disipativas, autorreferencialidad, autoobservación, auto descripción, autoorganización, reflexión y autopoiesis (Arnold, M. & D. Rodríguez. 1991).

Bases Epistemológicas de la Teoría General de Sistemas

Según Bertalanffy (1976) se puede hablar de una filosofía de sistemas, ya que toda teoría científica de gran alcance tiene aspectos metafísicos. El autor señala que "teoría" no debe entenderse en su sentido restringido, esto es, matemático, sino que la palabra teoría está más cercana, en su definición, a la idea de paradigma de Kuhn. El distingue en la filosofía de sistemas una ontología de sistemas, una epistemología de sistemas y una filosofía de valores de sistemas.

La ontología se aboca a la definición de un sistema y al entendimiento de cómo están plasmados los sistemas en los distintos niveles del mundo de la observación, es decir, la ontología se preocupa de problemas tales como el distinguir un *sistema real* de un *sistema conceptual*. Los sistemas reales son, por ejemplo, galaxias, perros, células y átomos. Los sistemas conceptuales son la lógica, las matemáticas, la música y, en general, toda construcción simbólica. Bertalanffy entiende la ciencia como un subsistema del sistema conceptual, definiéndola como un *sistema abstraído*, es decir, un sistema conceptual correspondiente a la realidad. El señala que la distinción entre sistema real y conceptual está sujeta a debate, por lo que no debe considerarse en forma rígida.

La epistemología de sistemas se refiere a la distancia de la TGS con respecto al positivismo o empirismo lógico. Bertalanffy, refiriéndose a sí mismo, dice: "En filosofía, la formación del autor siguió la tradición del neopositivismo del grupo de Moritz Schlick, posteriormente llamado Círculo de Viena. Pero, como tenía que ser, su interés en el misticismo alemán, el relativismo histórico de Spengler y la historia del arte, aunado a otras actitudes no ortodoxas, le impidió llegar a ser un buen positivista. Eran más fuertes sus lazos con el grupo berlinés de la Sociedad de Filosofía Empírica en los años veintitantos; allí descollaban el filósofo-físico Hans Reichenbach, el psicólogo A. Herzberg y el ingeniero Parseval (inventor del dirigible)". Bertalanffy señala que la epistemología del positivismo lógico es fisicalista y atomista. Fisicalista en el sentido que considera el lenguaje de la ciencia de la física como el único lenguaje de la ciencia y, por lo tanto, la física como el único modelo de ciencia. Atomista en el sentido que busca fundamentos últimos sobre los cuales asentar el conocimiento, que tendrían el carácter de indubitable. Por otro lado, la TGS no comparte la causalidad lineal o unidireccional, la tesis que la percepción es una reflexión de cosas reales o el conocimiento una aproximación a la verdad o la realidad. Bertalanffy señala "[La realidad] es una interacción entre conocedor y conocido, dependiente de múltiples factores de naturaleza biológica, psicológica, cultural, lingüística, etc. La propia física nos enseña que no hay entidades últimas tales como corpúsculos u ondas, que existan independientemente del observador. Esto conduce a una filosofía

‘perspectivista’ para la cual la física, sin dejar de reconocerle logros en su campo y en otros, no representa el monopolio del conocimiento. Frente al reduccionismo y las teorías que declaran que la realidad no es ‘nada sino’ (un montón de partículas físicas, genes, reflejos, pulsiones o lo que sea), vemos la ciencia como una de las ‘perspectivas’ que el hombre, con su dotación y servidumbre biológica, cultural y lingüística, ha creado para vérselas con el universo al cual está ‘arrojado’ o, más bien, al que está adaptado merced a la evolución y la historia”.

La filosofía de valores de sistemas se preocupa de la relación entre los seres humanos y el mundo, pues Bertalanffy señala que la imagen de ser humano diferirá si se entiende el mundo como partículas físicas gobernadas por el azar o como un orden jerárquico simbólico. La TGS no acepta ninguna de esas visiones de mundo, sino que opta por una visión heurística.

Finalmente, Bertalanffy reconoce que la teoría de sistemas comprende un conjunto de enfoques que difieren en estilo y propósito, entre las cuales se encuentra la teoría de conjuntos (Mesarovic), teoría de las redes (Rapoport), cibernética (Wiener), teoría de la información (Shannon y Weaver), teoría de los autómatas (Turing), teoría de los juegos (von Neumann), entre otras. Por eso, la práctica del análisis aplicado de sistemas tiene que aplicar diversos modelos, de acuerdo con la naturaleza del caso y con criterios operacionales, aun cuando algunos conceptos, modelos y principios de la TGS –como el orden jerárquico, la diferenciación progresiva, la retroalimentación, etc.– son aplicables a grandes rasgos a sistemas materiales, psicológicos y socioculturales.

Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas

AMBIENTE

Se refiere al área de sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento de un sistema. En lo que a complejidad se refiere, nunca un sistema puede igualarse con el ambiente y seguir conservando su identidad como sistema. La única posibilidad de relación entre un sistema y su ambiente implica que el primero debe absorber selectivamente aspectos de éste. Sin embargo, esta estrategia tiene la desventaja de especializar la selectividad del sistema respecto a su ambiente, lo que disminuye su capacidad de reacción frente a los cambios externos. Esto último incide directamente en la aparición o desaparición de sistemas abiertos.

ATRIBUTO

Se entiende por atributo las características y propiedades estructurales o funcionales que caracterizan las partes o componentes de un sistema.

CIBERNETICA

Se trata de un campo interdisciplinario que intenta abarcar el ámbito de los procesos de control y de comunicación (retroalimentación) tanto en máquinas como en seres vivos. El concepto es tomado del griego *kibernetes* que nos refiere a la acción de timonear una goleta (N.Wiener.1979).

CIRCULARIDAD

Concepto cibernético que nos refiere a los procesos de autocausación. Cuando A causa B y B causa C, pero C causa A, luego A en lo esencial es autocausado (retroalimentación, morfostásis, morfogénesis).

COMPLEJIDAD

Por un lado, indica la cantidad de elementos de un sistema (complejidad cuantitativa) y, por el otro, sus potenciales interacciones (conectividad) y el número de estados posibles que se producen a través de éstos (variedad, variabilidad). La complejidad sistémica está en directa proporción con su variedad y variabilidad, por lo tanto, es siempre una medida comparativa. Una versión más sofisticada de la TGS se funda en las nociones de diferencia de complejidad y variedad. Estos fenómenos han sido trabajados por la cibernética y están asociados a los postulados de R.Ashby (1984), en donde se sugiere que el número de estados posibles que puede alcanzar el ambiente es prácticamente infinito. Según esto, no habría sistema capaz de igualar tal variedad, puesto que si así fuera la identidad de ese sistema se diluiría en el ambiente.

CONGLOMERADO

Cuando la suma de las partes, componentes y atributos en un conjunto es igual al todo, estamos en presencia de una totalidad desprovista de sinergia, es decir, de un conglomerado (Johannsen. 1975:31-33).

ELEMENTO

Se entiende por elemento de un sistema las partes o componentes que lo constituyen. Estas pueden referirse a objetos o procesos. Una vez identificados los elementos pueden ser organizados en un modelo.

ENERGIA

La energía que se incorpora a los sistemas se comporta según la ley de la conservación de la energía, lo que quiere decir que la cantidad de energía que permanece en un sistema es igual a la suma de la energía importada menos la suma de la energía exportada (entropía, negentropía).

ENTROPIA

El segundo principio de la termodinámica establece el crecimiento de la entropía, es decir, la máxima probabilidad de los sistemas es su progresiva desorganización y, finalmente, su homogeneización con el ambiente. Los sistemas cerrados están irremediamente condenados a la desorganización. No obstante hay sistemas que, al menos temporalmente, revierten esta

tendencia al aumentar sus estados de organización (negentropía, información).

EQUIFINALIDAD

Se refiere al hecho que un sistema vivo a partir de distintas condiciones iniciales y por distintos caminos llega a un mismo estado final. El fin se refiere a la mantención de un estado de equilibrio fluyente. "Puede alcanzarse el mismo estado final, la misma meta, partiendo de diferentes condiciones iniciales y siguiendo distintos itinerarios en los procesos orgánicos" (von Bertalanffy. 1976:137). El proceso inverso se denomina **multifinalidad**, es decir, "condiciones iniciales similares pueden llevar a estados finales diferentes" (Buckley. 1970:98).

EQUILIBRIO

Los estados de equilibrios sistémicos pueden ser alcanzados en los sistemas abiertos por diversos caminos, esto se denomina equifinalidad y multifinalidad. La mantención del equilibrio en sistemas abiertos implica necesariamente la importación de recursos provenientes del ambiente. Estos recursos pueden consistir en flujos energéticos, materiales o informativos.

EMERGENCIA

Este concepto se refiere a que la descomposición de sistemas en unidades menores avanza hasta el límite en el que surge un nuevo nivel de emergencia correspondiente a otro sistema cualitativamente diferente. E. Morin (Arnold. 1989) señaló que la emergencia de un sistema indica la posesión de cualidades y atributos que no se sustentan en las partes aisladas y que, por otro lado, los elementos o partes de un sistema actualizan propiedades y cualidades que sólo son posibles en el contexto de un sistema dado. Esto significa que las propiedades immanentes de los componentes sistémicos no pueden aclarar su emergencia.

ESTRUCTURA

Las interrelaciones más o menos estables entre las partes o componentes de un sistema, que pueden ser verificadas (identificadas) en un momento dado, constituyen la estructura del sistema. Según Buckley (1970) las clases particulares de interrelaciones más o menos estables de los componentes que se verifican en un momento dado constituyen la estructura particular del sistema en ese momento, alcanzando de tal modo una suerte de "totalidad" dotada de cierto grado de continuidad y de limitación. En algunos casos es preferible distinguir entre una estructura primaria (referida a las relaciones internas) y una hiperestructura (referida a las relaciones externas).

FRONTERA

Los sistemas consisten en totalidades y, por lo tanto, son indivisibles como sistemas (sinergia). Poseen partes y componentes (subsistema), pero estos

son otras totalidades (emergencia). En algunos sistemas sus fronteras o límites coinciden con discontinuidades estructurales entre estos y sus ambientes, pero corrientemente la demarcación de los límites sistémicos queda en manos de un observador (modelo). En términos operacionales puede decirse que la frontera del sistema es aquella línea que separa al sistema de su entorno y que define lo que le pertenece y lo que queda fuera de él (Johannsen. 1975:66).

FUNCION

Se denomina función al output de un sistema que está dirigido a la mantención del sistema mayor en el que se encuentra inscrito.

HOMEOSTASIS

Este concepto está especialmente referido a los organismos vivos en tanto sistemas adaptables. Los procesos homeostáticos operan ante variaciones de las condiciones del ambiente, corresponden a las compensaciones internas al sistema que sustituyen, bloquean o complementan estos cambios con el objeto de mantener invariante la estructura sistémica, es decir, hacia la conservación de su forma. La mantención de formas dinámicas o trayectorias se denomina **homeorrosis** (sistemas cibernéticos).

INFORMACION

La información tiene un comportamiento distinto al de la energía, pues su comunicación no elimina la información del emisor o fuente. En términos formales "la cantidad de información que permanece en el sistema (...) es igual a la información que existe más la que entra, es decir, hay una agregación neta en la entrada y la salida no elimina la información del sistema" (Johannsen. 1975:78). La información es la más importante corriente negentrópica de que disponen los sistemas complejos.

INPUT / OUTPUT (modelo de)

Los conceptos de input y output nos aproximan instrumentalmente al problema de las fronteras y límites en sistemas abiertos. Se dice que los sistemas que operan bajo esta modalidad son procesadores de entradas y elaboradores de salidas.

Input

Todo sistema abierto requiere de recursos de su ambiente. Se denomina input a la importación de los recursos (energía, materia, información) que se requieren para dar inicio al ciclo de actividades del sistema.

Output

Se denomina así a las corrientes de salidas de un sistema. Los outputs pueden diferenciarse según su destino en servicios, funciones y retroinputs.

ORGANIZACIÓN

N. Wiener planteó que la organización debía concebirse como "una interdependencia de las distintas partes organizadas, pero una interdependencia que tiene grados. Ciertas interdependencias internas deben

ser más importantes que otras, lo cual equivale a decir que la interdependencia interna no es completa" (Buckley. 1970:127). Por lo cual la organización sistémica se refiere al patrón de relaciones que definen los estados posibles (variabilidad) para un sistema determinado.

MODELO

Los modelos son constructos diseñados por un observador que persigue identificar y mensurar relaciones sistémicas complejas. Todo sistema real tiene la posibilidad de ser representado en más de un modelo. La decisión, en este punto, depende tanto de los objetivos del modelador como de su capacidad para distinguir las relaciones relevantes con relación a tales objetivos. La esencia de la modelística sistémica es la simplificación. El metamodelo sistémico más conocido es el esquema input-output.

MORFOGENESIS

Los sistemas complejos (humanos, sociales y culturales) se caracterizan por sus capacidades para elaborar o modificar sus formas con el objeto de conservarse viables (retroalimentación positiva). Se trata de procesos que apuntan al desarrollo, crecimiento o cambio en la forma, estructura y estado del sistema. Ejemplo de ello son los procesos de diferenciación, la especialización, el aprendizaje y otros. En términos cibernéticos, los procesos causales mutuos (circularidad) que aumentan la desviación son denominados morfogenéticos. Estos procesos activan y potencian la posibilidad de adaptación de los sistemas a ambientes en cambio.

MORFOSTASIS

Son los procesos de intercambio con el ambiente que tienden a preservar o mantener una forma, una organización o un estado dado de un sistema (equilibrio, homeostasis, retroalimentación negativa). Procesos de este tipo son característicos de los sistemas vivos. En una perspectiva cibernética, la morfostasis nos remite a los procesos causales mutuos que reducen o controlan las desviaciones.

NEGENTROPIA

Los sistemas vivos son capaces de conservar estados de organización improbables (entropía). Este fenómeno aparentemente contradictorio se explica porque los sistemas abiertos pueden importar energía extra para mantener sus estados estables de organización e incluso desarrollar niveles más altos de improbabilidad. La negentropía, entonces, se refiere a la energía que el sistema importa del ambiente para mantener su organización y sobrevivir (Johannsen. 1975).

OBSERVACION (de segundo orden)

Se refiere a la nueva cibernética que incorpora como fundamento el problema de la observación de sistemas de observadores: se pasa de la observación de sistemas a la observación de sistemas de observadores.

RECURSIVIDAD

Proceso que hace referencia a la introducción de los resultados de las operaciones de un sistema en él mismo (retroalimentación).

RELACION

Las relaciones internas y externas de los sistemas han tomado diversas denominaciones. Entre otras: efectos recíprocos, interrelaciones, organización, comunicaciones, flujos, prestaciones, asociaciones, intercambios, interdependencias, coherencias, etcétera. Las relaciones entre los elementos de un sistema y su ambiente son de vital importancia para la comprensión del comportamiento de sistemas vivos. Las relaciones pueden ser recíprocas (circularidad) o unidireccionales. Presentadas en un momento del sistema, las relaciones pueden ser observadas como una red estructurada bajo el esquema input/output.

RETROALIMENTACION

Son los procesos mediante los cuales un sistema abierto recoge información sobre los efectos de sus decisiones internas en el medio, información que actúa sobre las decisiones (acciones) sucesivas. La retroalimentación puede ser negativa (cuando prima el control) o positiva (cuando prima la amplificación de las desviaciones). Mediante los mecanismos de retroalimentación, los sistemas regulan sus comportamientos de acuerdo a sus efectos reales y no a programas de outputs fijos. En los sistemas complejos están combinados ambos tipos de corrientes (circularidad, homeostasis).

Retroalimentación negativa

Este concepto está asociado a los procesos de autorregulación u homeostáticos. Los sistemas con retroalimentación negativa se caracterizan por la mantención de determinados objetivos. En los sistemas mecánicos los objetivos quedan instalados por un sistema externo (el hombre u otra máquina).

Retroalimentación positiva

Indica una cadena cerrada de relaciones causales en donde la variación de uno de sus componentes se propaga en otros componentes del sistema, reforzando la variación inicial y propiciando un comportamiento sistémico caracterizado por un autorreforzamiento de las variaciones (circularidad, morfogénesis). La retroalimentación positiva está asociada a los fenómenos de crecimiento y diferenciación. Cuando se mantiene un sistema y se modifican sus metas/fines nos encontramos ante un caso de retroalimentación positiva. En estos casos se aplica la relación desviación-amplificación (Mayurama. 1963).

RETROINPUT

Se refiere a las salidas del sistema que van dirigidas al mismo sistema (retroalimentación). En los sistemas humanos y sociales éstos corresponden a los procesos de autorreflexión.

SERVICIO

Son los outputs de un sistema que van a servir de inputs a otros sistemas o subsistemas equivalentes.

SINERGIA

Todo sistema es sinérgico en tanto el examen de sus partes en forma aislada no puede explicar o predecir su comportamiento. La sinergia es, en consecuencia, un fenómeno que surge de las interacciones entre las partes o componentes de un sistema (conglomerado). Este concepto responde al postulado aristotélico que dice que "el todo no es igual a la suma de sus partes". La totalidad es la conservación del todo en la acción recíproca de las partes componentes (teleología). En términos menos esencialistas, podría señalarse que la sinergia es la propiedad común a todas aquellas cosas que observamos como sistemas.

SISTEMAS (dinámica de)

Comprende una metodología para la construcción de modelos de sistemas sociales, que establece procedimientos y técnicas para el uso de lenguajes formalizados, considerando en esta clase a sistemas socioeconómicos, sociológicos y psicológicos, pudiendo aplicarse también sus técnicas a sistemas ecológicos. Esta tiene los siguientes pasos:

a) observación del comportamiento de un sistema real, b) identificación de los componentes y procesos fundamentales del mismo, c) identificación de las estructuras de retroalimentación que permiten explicar su comportamiento, d) construcción de un modelo formalizado sobre la base de la cuantificación de los atributos y sus relaciones, e) introducción del modelo en un computador y f) trabajo del modelo como modelo de simulación (Forrester).

SISTEMAS ABIERTOS

Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus ambientes y esta es una característica propia de todos los sistemas vivos. Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su ambiente, intercambios que determinan su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir, su viabilidad (entropía negativa, teleología, morfogénesis, equifinalidad).

SISTEMAS CERRADOS

Un sistema es cerrado cuando ningún elemento de afuera entra y ninguno sale fuera del sistema. Estos alcanzan su estado máximo de equilibrio al igualarse con el medio (entropía, equilibrio). En ocasiones el término sistema cerrado es también aplicado a sistemas que se comportan de una

manera fija, rítmica o sin variaciones, como sería el caso de los circuitos cerrados.

SISTEMAS CIBERNETICOS

Son aquellos que disponen de dispositivos internos de autocomando (autorregulación) que reaccionan ante informaciones de cambios en el ambiente, elaborando respuestas variables que contribuyen al cumplimiento de los fines instalados en el sistema (retroalimentación, homeorrosis).

SISTEMAS TRIVIALES

Son sistemas con comportamientos altamente predecibles. Responden con un mismo output cuando reciben el input correspondiente, es decir, no modifican su comportamiento con la experiencia.

SUBSISTEMA

Se entiende por subsistemas a conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. En términos generales, los subsistemas tienen las mismas propiedades que los sistemas (sinergia) y su delimitación es relativa a la posición del observador de sistemas y al modelo que tenga de éstos. Desde este ángulo se puede hablar de subsistemas, sistemas o supersistemas, en tanto éstos posean las características sistémicas (sinergia).

TELEOLOGIA

Este concepto expresa un modo de explicación basado en causas finales. Aristóteles y los Escolásticos son considerados como teleológicos en oposición a las causalistas o mecanicistas.

VARIABILIDAD

Indica el máximo de relaciones (hipotéticamente) posibles (n!).

VARIEDAD

Comprende el número de elementos discretos en un sistema (v = cantidad de elementos).

VIABILIDAD

Indica una medida de la capacidad de sobrevivencia y adaptación (morfostásis, morfogénesis) de un sistema a un medio en cambio.

Cinta de Moebio No.3. Abril de 1998. Facultad de Ciencias Sociales.
Universidad de Chile.
<http://rehue.csociales.uchile.cl/publicaciones/moebio/03/frames45.htm>

Arquitectura Fractal: Una Arquitectura para la Vida

Victor Padrón¹

El creciente interés de la ciencia en los fractales no solo ha estado motivado por la belleza de estos misteriosos objetos matemáticos, sino también, y en gran medida, porque constituyen una herramienta poderosa en el estudio de los sistemas complejos.

Problemas tan disímiles como los fenómenos de turbulencia, el comportamiento del sistema cardiovascular y el estudio de los patrones de lenguaje, están siendo tratados con gran éxito con el uso de la geometría fractal.

La Arquitectura Clásica y Vernácula (popular) no escapa a la posibilidad de ser interpretada y reinventada con la ayuda de los fractales. Solo la Arquitectura Moderna y Postmoderna se resiste, por imposición propia y con un costo social sumamente elevado, a mantener alguna relación con las estructuras fractales.

El excelente Diccionario Clave de Uso del Español Actual define a un fractal como "*Referido a una forma geométrica, que muestra una estructura compleja independientemente de la ampliación con que sea observada*". Es decir, a diferencia de las formas geométricas tradicionales, rectángulos, triángulos, círculos etc., que al ser ampliadas se reducen a un trazo

lineal, los fractales no pierden su nivel de complejidad al ser observados en distintas escalas. Además, la complejidad presente en los fractales es organizada, no aleatoria, y llena de información.

Algunos fractales poseen propiedades autosimilares, es decir, su estructura se repite en diferentes escalas. Otros, podrían hacerse aún más complejos al observarlos de cerca.

Basta con mirar a nuestro alrededor y observar por ejemplo la hoja de un árbol, o quizás la palma de nuestra mano, para darnos cuenta que tanto nuestro mundo interior como el universo que nos rodea están impregnados de propiedades fractales.

El interés en estos objetos estuvo motivado originalmente por el estudio, a principios de este siglo, de sistemas dinámicos complejos, en los trabajos de los matemáticos franceses Henri Poincaré, Pierre Fatou y Gaston Julia. Sin embargo, no fue sino hasta los años 70's y principios de los 80's, con el rápido desarrollo de las técnicas de computación gráfica, que Benoît Mandelbrot y otros matemáticos comenzaron a observar y estudiar estas estructuras fascinantes, llenas de pliegues y superficies, en las que se distinguen distintas escalas autosimilares.

Estos descubrimientos desencadenaron una verdadera revolución científica. El hecho de haberse encontrado estructuras fractales generadas por objetos matemáticos relativamente simples, creó la creciente expectativa de usar estos modelos para describir y estudiar los procesos complejos, tanto en la naturaleza como en las ciencias sociales y del comportamiento.

Esta tendencia, que desborda el marco de las ciencias

¹ Profesor de Matemáticas, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Se encontraba como Profesor Visitante en la Universidad de Texas en San Antonio, USA, durante 1998-1999.

convencionales para entrar en el arte, ha encontrado recientemente en Arquitectura y Urbanismo, conformando lo que se ha dado a conocer como *La Nueva Arquitectura*. Este movimiento, basado en gran medida en los trabajos del arquitecto anglo-norteamericano Christopher Alexander y el matemático greco-norteamericano Nikos Salingaros, representa una tendencia neoclásica en arquitectura, sustentada en bases científicas y matemáticas.

El Profesor Alexander, exaltando la relación entre el arte y la vida en general, ha desarrollado una metodología para juzgar la belleza en las formas arquitectónicas. Con su teoría de "*Centros*", Alexander establece una conexión sólida entre patrones geométricos en el diseño y la belleza de formas vivientes. Esta relación, aunque sugerida muchas veces en el pasado por otros autores, se expresa por primera vez en forma metodológica en el trabajo de Alexander.

La Teoría de los Centros de Alexander, está fundamentada en la premisa de que un objeto inanimado cobra más vida en la medida que su estructura geométrica sea fractal. Los objetos construidos siguiendo relaciones geométricas armónicas, semejantes a las observadas en la naturaleza, están llenos de vida y son percibidos por el individuo de manera placentera, emocionalmente confortable. El trabajo del Profesor Salingaros, enfocado en esta dirección, presenta los fundamentos matemáticos de esta nueva teoría, al mismo tiempo que proporciona elementos metodológicos y cuantitativos, para la aplicación de los principios arquitectónicos desarrollados por Alexander.

Como toda nueva teoría científica, su grado de

veracidad está sujeto a la verificación experimental de sus postulados. En el caso de la teoría del Profesor Alexander, parecieran existir ya muchos ejemplos que la sustentan. En su gran mayoría, las edificaciones tradicionales, tanto en la arquitectura clásica como la vernácula, están construidas con diseños fractales. El uso de materiales provenientes de la naturaleza y la preocupación por los detalles en el diseño y los ornamentos, son solo algunos de los elementos que le proporcionan a estas edificaciones, unos niveles bastante sofisticados de complejidad organizada en las distintas escalas del diseño.

No importa que tan grandioso sea el monumento natural que tengamos al frente, siempre encontramos en él detalles a nuestra escala con los cuales nos sentimos identificados. Una gruta en la montaña nos invita a visitarla y explorarla. Los salientes y grietas en la roca nos permiten escalarla. Análogamente, los grandes monumentos arquitectónicos tradicionales, no solo nos impresionan por su magnificencia, sino que también los sentimos construidos a nuestra medida al percibir la armonía del diseño en todas sus escalas. El Profesor Salingaros sugiere que un edificio de 20m de altitud, debería tener estructuras bien definidas en tamaño con dimensiones de aproximadamente 7m, 3m, 1m, 30cm, 10cm; un factor de 2.7 entre las distintas escalas percibidas.

Lamentablemente, la arquitectura moderna y postmoderna, con el afán de diferenciarse de los diseños clásicos, en la búsqueda de estructuras "novedosas", ha roto definitivamente con la tendencia tradicional de armonizar las formas arquitectónicas con las leyes naturales. El resultado ha sido catastrófico. Nos encontramos rodeados de edificaciones y metrópolis

enteras, completamente divorciadas del mundo circundante y de los desdichados seres humanos que las habitamos.

Las escalas intermedias en el diseño se han reducido a las estrictamente necesarias y utilitarias, en favor de grandes extensiones de superficies lisas y sin detalles. El uso excesivo de formas geométricas puras como cubos, rectángulos, pirámides y otros sólidos Platónicos, que existen en un solo nivel de escala, imposibilita la incorporación de fractales en el diseño. Aún cuando estas formas sean armonizadas con el uso de proporciones estéticas como la Proporción de Oro, éstas no son percibidas por los individuos dentro de las edificaciones; se hace necesario observarlas a gran distancia.

Si bien la estructura fractal del diseño de las edificaciones juega un rol importante en la creación de ambientes bellos y saludables, más relevante aún es la incorporación de estos criterios geométricos en la construcción integral de las ciudades. De poca utilidad sería construir edificios hermosos y llenos de vida en ciudades moribundas, sustancialmente reducidas en interconexiones vitales, que han permitido el desplazamiento brutal de los seres humanos por los vehículos automotores.

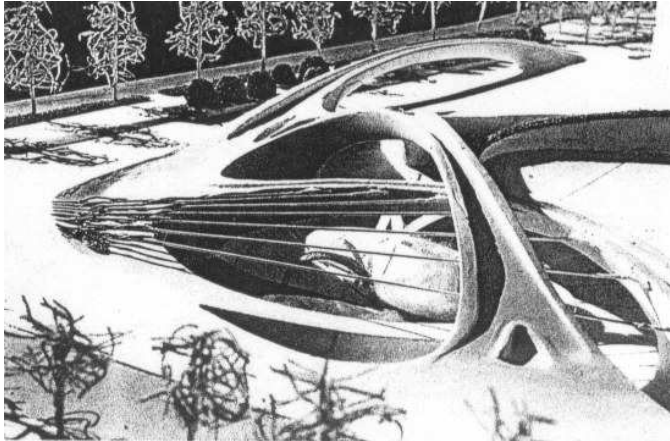
El modelo urbanístico de la "Ville Radieuse" propuesto por el arquitecto suizo Le Corbusier y ampliamente adoptado alrededor del mundo, destruye completamente la vida en las ciudades. Grandes bloques de apartamentos, rodeados de vastas extensiones de espacios vacíos, han sido construidos en todo el planeta, desde Brasilia y Buenos Aires hasta Filadelfia y Pekín. Este modelo es explícitamente anti-fractal, al

estar concentrado, tanto en la forma como en el espacio, en las dimensiones más grandes posibles. En todos los casos, el resultado para los habitantes ha sido bastante negativo. La gente siente que algo anda mal, pero hasta ahora, sin saber cuál es la razón.

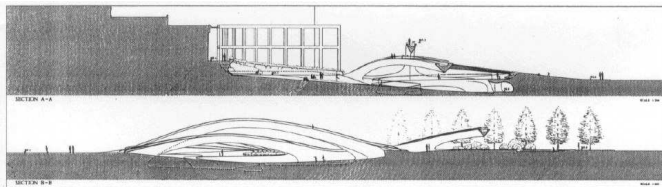
Lejos de pretender imponer restricciones malsanas al diseño, la Nueva Arquitectura promueve un movimiento ecológico en Arquitectura y Urbanismo. Basada en el reconocimiento de las leyes naturales y universales que armonizan la compleja interacción del ser humano con la naturaleza, propone una teoría científica de gran amplitud y flexibilidad en sus aplicaciones. Tan amplia que incluye toda la arquitectura clásica y vernácula. Es flexible, porque su conexión metodológica con las estructuras fractales, le proporciona al diseñador una herramienta fácilmente adaptable a las exigencias estéticas y creativas.

La Nueva Arquitectura constituye un movimiento de avanzada hacia el nuevo milenio y un fascinante reto para las matemáticas, las cuales, en su relación inexorable con nuestro mundo circundante, adquieren en este contexto una nueva dimensión estética y epistemológica.

Trazos fractales: geometría y arquitectura en Ushida Findlay

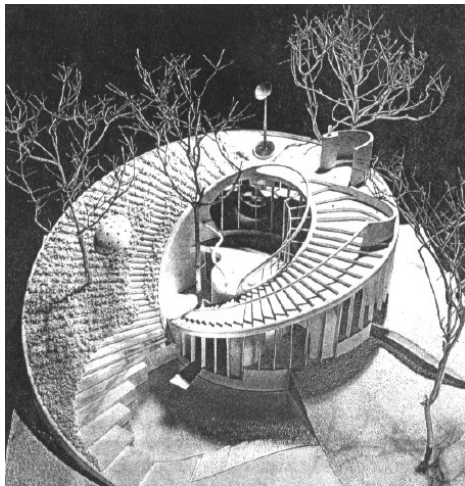
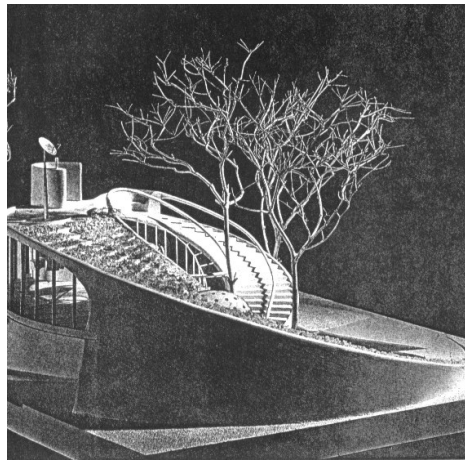
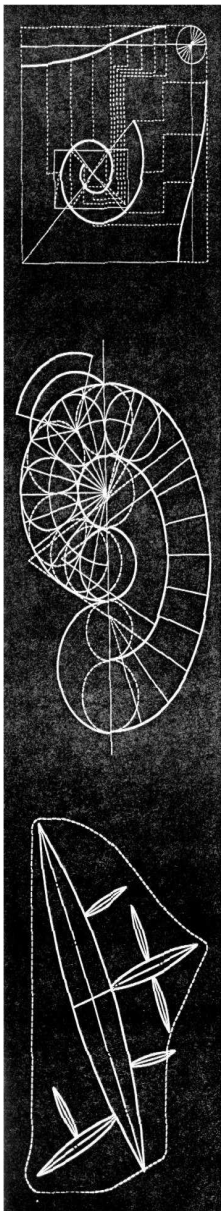


Concurso para Keihanna Square (Kansai). 1990.
Proyecto de una plaza pública en el interior del Kansai New Science City.



En su obra *Origin of Geometry*, Edmund Husserl sugiere que la crisis que marcó la ciencia del siglo XVIII (y que propició el cisma entre ciencia y arquitectura) fue el resultado de la introducción de un nuevo sistema geométrico: la geometría no euclidiana. A finales del siglo XX, otro sistema geométrico, la geometría fractal, está cuestionando la actual relación tendenciosa entre arquitectura y ciencia. Desde la publicación del estudio seminal de Benoit Mandelbrot, *Les Objets fractals; Forme, Hasard et Dimension* (edición española: *Los objetos fractales*, Tusquets Editores, Barcelona, 1988, traducción de Josep Llosa) editado hace más de veinte años, se han concebido centenares de proyectos arquitectónicos en respuesta a la geometría fractal y relacionados con las teorías científicas sobre la complejidad. A pesar del entusiasmo con que ciertos arquitectos acogieron inicialmente la geometría fractal, son pocos los que han utilizado la nueva geometría en más de una ocasión y todavía son menos los que parecen entender los efectos que produce sobre el mundo (es decir, que existe una clase especial de orden en los sistemas aparentemente caóticos). Lamentablemente, disponemos de pocos ejemplos de un uso sostenible e inteligente de la geometría fractal en arquitectura, pero vale la pena analizar las escasas muestras que tenemos al alcance.

El despacho de Eisaku Ushida y Kathryn Findlay constituye un raro ejemplo de práctica arquitectónica que utiliza la geometría fractal y la matemática no lineal de un modo crítico y metódico. Durante más de una década, han trabajado con las paradójicas cualidades de la geometría fractal y han intentado, mediante múltiples estrategias, introducir en su arquitectura algunas de sus características más esenciales. Tanto desde un punto de vista literal como metafórico, la geometría fractal es el brillante hilo conductor que torsiona y gira los proyectos de Ushida Findlay. Algunas veces, el hilo fractal es delicado y simbólico; otras, es material y prominente, y, sin ser estático, es siempre iterativo. Además, la trayectoria que describe este hilo fractal gira sin sosiego alrededor de una matriz de temas que actúan como atractores matemáticos de la arquitectura de Ushida Findlay. Estos temas, que incluyen Masa, Campo, Percepción, Psicogeometría y Geometría del caos, ejercen un impulso teórico y dinámico en la concepción de todos y cada uno de sus proyectos. En este sentido, el hilo fractal que entrelaza toda su obra arquitectónica, como respuesta a la atracción que suscitan estos temas, sigue una dirección que recuerda a las primeras fases de formación del gráfico de los atractores extraños: un icono de la ciencia de la complejidad. El gráfico de los atractores extraños parte de un simple trazo en espiral que pronto da paso a un conjunto

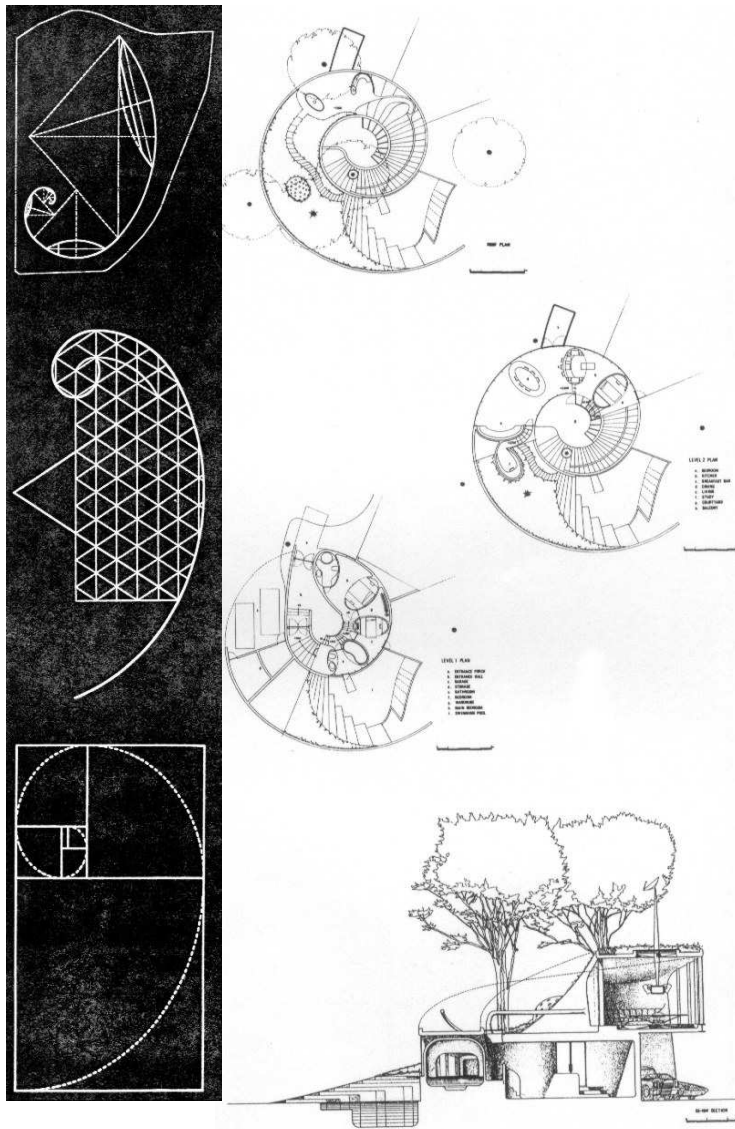


Casa para el tercer milenio.
 Proyecto de vivienda prototipo para
 una localidad rural en Gran Bretaña.

geométrico más complejo que gira sin cesar alrededor de ciertos puntos sin repetir nunca la misma trayectoria. En el ámbito científico, los gráficos de estos sistemas se parecen a formas toroidales o a *donuts* alargados y distorsionados. Es, pues, significativo que al representar el modo en que la matriz temática influye en su obra, Ushida Findlay conciben un "tubo tridimensional irregular distorsionado", altamente evocativo de un atractor extraño. El hilo fractal que entrelaza este complejo gráfico de temas, influencias y deseos es sólo uno de los múltiples caminos posibles para analizar la obra de Ushida Findlay. Este camino, no necesariamente influido por la escala de los proyectos o su cronología, sigue la evolución de los principios geométricos, desde las curvas geométricas más simples hasta las formas orgánicas más complejas. En términos de la geometría clásica, podemos analizar la progresión histórica de las propiedades curvilíneas, desde los desarrollos preliminares en busca de las formas del ideal platónico hasta los métodos más complejos utilizados para modelar la naturaleza a finales del siglo XX. La obra de Ushida Findlay posee una progresión similar.

Los matemáticos de la Antigua Grecia utilizaban múltiples métodos para definir las propiedades de las curvas. Los círculos y los óvalos se dibujaban con una púa y un trozo de cuerda atado a un punto fijo (o a un conjunto de puntos fijos). Las curvas hiperbólicas, más complejas, se definían mediante la intersección de planos y figuras volumétricas - por ejemplo, la sección de un cono a través de un plano -. En aquella época, gran parte de la geometría pretendía llegar a descubrir las formas universales ideales. El mismo motivo se intuye en los escritos de Vitruvio cuando afirma que la arquitectura debe concebirse mediante la conjunción de círculos y cuadrados como reflejo de la geometría del cuerpo humano. A finales del siglo XVI, los matemáticos utilizaban la geometría analítica para definir la curva como un conjunto de puntos conectados dentro de un plano bidimensional común. Menos de un siglo más tarde, gracias al poder del álgebra, la curva se definió como un conjunto de puntos producido al realizar el gráfico de una ecuación de dos variables ("x" e "y", referidas a los ejes dimensionales). Sin embargo, no todas las ecuaciones de dos variables producían curvas simples y limpias capaces de ser dibujadas trazando una única tangente sobre la curva; algunas parecían producir conjuntos complejos de puntos desconectados. A finales del siglo XIX, mientras Ruskin buscaba el modo de describir la forma de las plantas, las cordilleras y los remates góticos, el matemático Guiseppe Peano propuso una ecuación que producía una curva extremadamente compleja, lo cual desafiaba cualquier definición convencional.

La construcción *patológica* de Peano se conoce hoy en día como "curva fractal": una intrincada espiral de puntos, tan densa que casi logra llenar la superficie cartesiana dentro de un límite acotado, por lo que tiene su existencia a medio camino entre la línea unidimensional y la superficie bidimensional. Y, aún así, sigue pareciéndose a las líneas espirales trazadas por los geómetras de la Antigua Grecia. La primera huella más

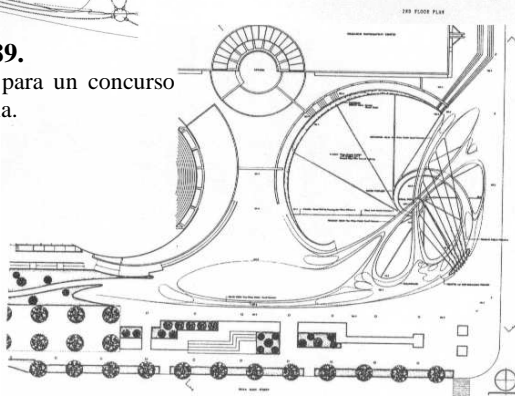
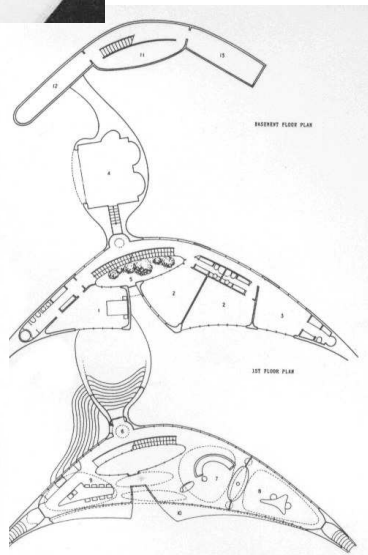
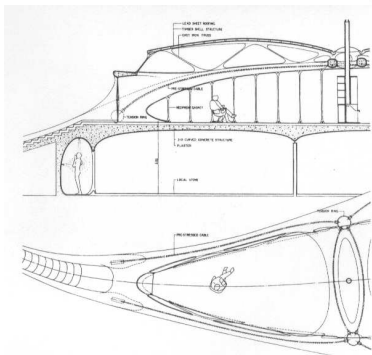
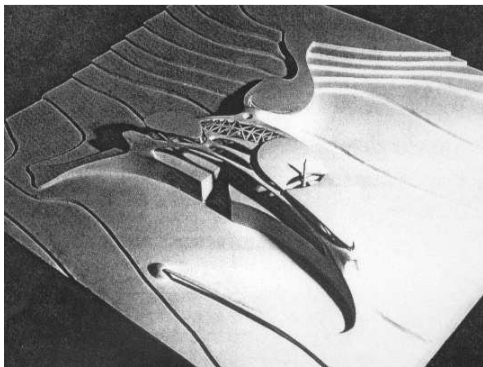


Casa para el tercer milenio.

Proyecto de vivienda prototipo para una localidad rural en Gran Bretaña.

notoria y tangible del hilo geométrico en las obras de Ushida Findlay se refleja en su uso de la sección áurea (una extrapolación gráfica de las series de Fibonacci). Los proyectos Park Museum City, Casa para el Tercer Milenio, Kirishima y la biblioteca de la prefectura de Kansai se basan en interpretaciones próximas a la sección áurea. Park Museum City, un proyecto de edificios de gran altura asociado al paisaje urbano, se concibe, en planta, siguiendo la forma espiral de la sección áurea. En alzado, los marcos rectangulares que generan la espiral se dividen en dos a lo largo de la diagonal y posteriormente se repiten en una estructura helicoidal ascendente. Esta extrapolación tridimensional de la sección áurea permite una expresión más elocuente de las propiedades de la espiral, lo que, a su vez, favorece la creación de espacios más representativos de las cualidades armónicas de la geometría subyacente. Asimismo, la Casa para el Tercer Milenio se estructura en planta alrededor de una espiral logarítmica que, en sección, se articula a través de otra curva - de tipo sinusoidal -.

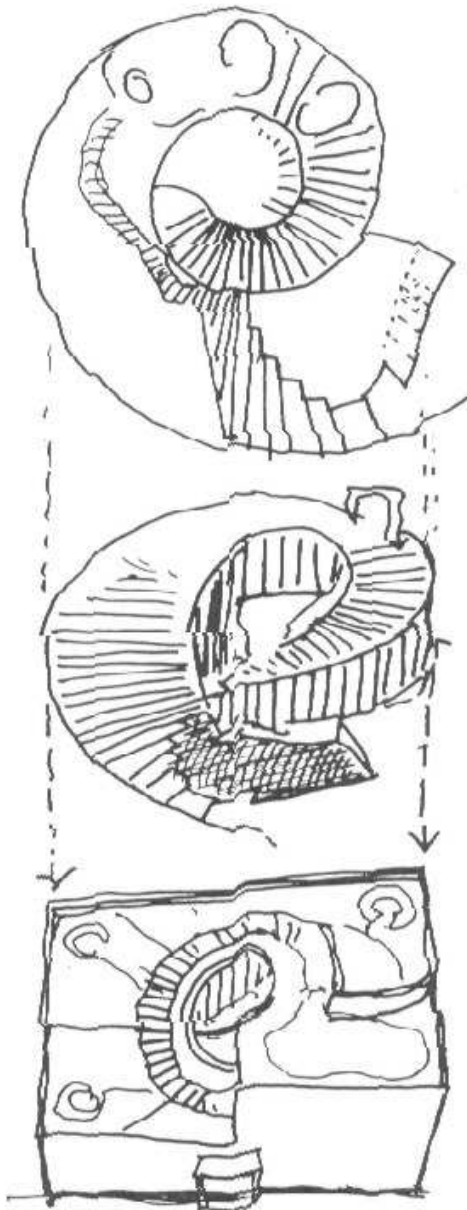
En este proyecto, Ushida Findlay experimentan por primera vez las propiedades paradójicas de la espiral; el modo como las superficies de un simple muro pueden cambiar cíclicamente, pasando de una superficie interna a otra externa con cada repetición de la curva. La Casa para el Tercer Milenio subraya esta propiedad introduciendo la naturaleza en la espiral y creando un vórtice ilusorio entre lo natural y lo sintético. En contraste, Kirishima se genera mediante una transformación más abstracta de la sección áurea. Si se observa desde arriba, el proyecto se curva ligeramente, alejándose del paisaje, y gira entorno a sí mismo antes de culminar en una ceñida espiral. Una serie de terrazas escalonadas e irregulares se elevan entre los dos muros creados por la espiral. Este proyecto retoma algunos temas de las dos obras anteriores, por el modo como expresa la espiral en planta y en sección, y al cuestionar las nociones de interior y exterior. El cuarto proyecto, la biblioteca de la prefectura de Kansai, presenta la sección áurea con una mayor autoridad arquitectónica. Utiliza la armonía clásica de la sección áurea para articular en planta una serie de salas de lectura y espacios auxiliares. La extensión de la gran sala de lectura, de forma curva, queda definida por el arco más amplio de la espiral. Sobre la sala de lectura, el rectángulo que genera al arco se expresa como un entramado de vigas que cubre una zona ajardinada externa - una zona marcada asimismo por su propio trazo en espiral a una escala completamente diferente -. La misma estructura rectangular define la extensión del sistema mecanizado subterráneo de almacén y devolución de libros. La escala y la potencia pabellones cubiertos. Esta articulación es intrigante porque parte del poder puramente simbólico de la sección áurea para incluir elementos de representación (las hojas) que evolucionan hacia formas fractales más literales. El proyecto Hoshida también utiliza las mismas formas de hoja, dispuestas en planta a múltiples escalas, en una composición que recuerda a los modelos de crecimiento dendrítico. En este proyecto, la sección áurea es invisible, si bien la compleja curva trazada por los extremos de las hojas se ha convertido literalmente en fractal, del mismo modo en que



Aktion Poliphile.1989.

Propuesta de vivienda para un concurso en Wiesbaden, Alemania.

es fractal la curva patológica del matemático Peano. Otro proyecto, Polifonía, ilustra el concepto de "integración de los principios geométricos con su aplicación", ya que, al igual que Kaizankyo, aplica simultáneamente las transformaciones geométricas de la espiral y la autorreferencialidad. La forma arquitectónica de Polifonía es un único elemento largo y tubular que se conforma en espiral alrededor de un espacio abierto a modo de patio. La geometría del proyecto se genera mediante "la repetición de círculos de 3,4 m de diámetro que forman un "tubo dúctil". A lo largo de este elemento se realiza un corte que, parecido a una transformación de la topología matemática, invierte gradualmente el tubo, que pasa de "sólido a vacío" Curiosamente, el proceso de trazar círculos superpuestos para definir una forma alargada, parecida a un gusano, es similar al usado en matemáticas para producir una *Minkowski sausage* ("salchicha de Minkowski"); un instrumento para *domesticar* la geometría fractal. La salchicha de Minkowski no es fractal en sí misma, sino que más bien es una capa superpuesta a una curva fractal, lo que da una idea de la longitud del fractal. La salchicha de Minkowski es un mecanismo matemático simple para limitar las cualidades paradójicas de la geometría fractal y convertirla en un instrumento útil. Sí bien la biblioteca de la prefectura de Kansaikan constituye una potente aplicación de la sección áurea, el Proyecto 3, un plan director urbanístico, presenta la geometría fractal de un modo absolutamente convincente. El Proyecto 2 se concibe como uno de los principales intercambiadores de transporte de Tokio, situado en la intersección de una serie de arterias viarias y una línea de ferrocarril. El plan urbanístico explora la noción de "ciudad como vivienda"; una idea que ha ido ganando adeptos gracias a la convicción de que los sistemas naturales plantean modelos similares a múltiples escalas. Es precisamente esta noción - de que la geometría fractal opera a diferentes escalas- lo que echamos en falta en muchas obras de arquitectura que reivindican una herencia fractal. Dado que los rasgos del paisaje a gran escala son unas de las formas fractales más reconocibles, el plan director es un objetivo obvio para la utilización de la geometría fractal. En el Proyecto 2, Ushida Findlay proponen una trama fractal que incorpora sistemas de "flujo y acumulación" que operan simultáneamente a diferentes escalas. Sin tener en cuenta si el diseño satisface las necesidades del tráfico o de los peatones, proporciona un sistema que "se ajusta a los innumerables encuentros de personas que se desplazan libremente por la ciudad". Ushida Findlay describen el Proyecto 2 como una nave concebida para alojar el "movimiento browniano" (movimiento aleatorio) de gente, coches, trenes e información. El resultado es un "nuevo terreno, una nueva clase de topografía" que posee similitudes dinámicas a múltiples escalas. El Proyecto 2, como la obra de Ushida Findlay titulada Pata AmorPHous, maneja un artefacto sintético (la arquitectura) utilizando principios geométricos derivados de la naturaleza. En la última serie de proyectos de Ushida Findlay, la curva se expresa de un modo más fluido y orgánico. En la casa Truss Wall y en la casa Blanda y Peluda subyace la misma construcción geométrica que en Polifonía. Estos últimos proyectos, junto con Aktion Poliphile, unen la geometría espiral y las formas curvilíneas autosimilares en un único objeto orgánico Aunque la casa Truss Wall



Boceto de prototipo de vivienda 1.

y la casa Blanda y Peluda todavía exhiben ciertos rasgos del modelo geométrico en espiral, en el que se basan muchas de las obras de Ushida Findlay, éste se convierte ahora en una masa más atenuada y biomórfica. Estos proyectos casi han dejado atrás la simbólica herencia fractal (la sección áurea) y empiezan a perder su rama fractal más literal para abordar una nueva estética fractalesca. En cierto sentido, estos proyectos empiezan a convertirse en orgánicos (especialmente Aktion Pollphile). Otros proyectos, como Horizonte Vertical, son el producto de una serie de temas, o matriz de temas, que influyen colectivamente en el diseño y en su geometría de un modo impredecible. En estos proyectos, la metodología proyectual de Ushida Findlay -una aproximación que reconoce la interconectividad y la interdependencia- empieza a parecerse a aquellos sistemas que, según la ciencia de la complejidad, se forman necesariamente en la naturaleza. Este último hilo fractal es el más primitivo; el proceso proyectual que describen Ushida Findlay -el equilibrio de temas en una matriz teórica- es el hilo final que completa su atractor extraño. Esta última lectura resulta apropiada según la filosofía de la ciencia de la complejidad. Si la geometría fractal es la geometría de la naturaleza, entonces el objetivo de toda arquitectura no debe ser necesariamente convertirla en geometría de la construcción. Es mucho más importante trabajar con la convicción de que la naturaleza posee ciertas características y cualidades geométricas propias. Pensar que las obras de Ushida Findlay son "desafortunadamente esotéricas" porque recurren a la geometría fractal y a las matemáticas no lineales, es perderse una dimensión crítica. Son importantes precisamente porque se sitúan en la polémica zona fronteriza entre arquitectura y ciencia. Aunque muchos arquitectos reivindican este territorio, pocos han intentado entender genuinamente las implicaciones de las nuevas ciencias. Si, tal como sugiere Husserl, el nacimiento de un nuevo sistema geométrico presagia un cambio en la relación entre arquitectura y ciencia, entonces la obra de Ushida Findlay está en la vanguardia de este cambio. La geometría fractal posee tanto una dimensión simbólica como una presencia material. Pocos arquitectos parecen darse cuenta de que esta doble capacidad es esencial para su aplicación a cualquier ámbito. Es precisamente la resolución de esta desconcertante dualidad en arquitectura lo más importante de la obra de Ushida Findlay. Lo que intenta descifrar este ensayo es el camino en espiral trazado entre estos dos puntos.

Michael J. Otswald "trazos fractales: geometría y arquitectura en Ushida Findlay"
 Revista Nexus 2G nº 6. traducción Enrique Gastañaga.

Bibliografía.

Libros.

Alexander, Christopher. "El Modo Intemporal de Construir".
Título original: *The timeless way of building*.
Traducción: Iris Menéndez. Colección Arquitectura y Perspectivas.
Editorial Gustavo Gili, 1981.

Alexander, Christopher. "Ensayo de Síntesis de la Forma".
Título original: *Notes of the synthesis of form*.
Traducción: Enrique Revol.
Ediciones Infinito, Buenos Aires, 1973.

Bharthes, Roland. "El Susurro del Lenguaje, más allá de la Palabra y la Escritura".
Título original: *Le bruissement de la langue*.
Traducción de C. Fernández Medrano.
Editorial Paidós Ibérica S.A., 2ª Edición, 1994.

Bohm, David; Peat, David. "Ciencia, Orden y Creatividad, las Raíces Creativas de la Ciencia y de la Vida."
Título original: *Science, Order and Creativity*.
Traducción: Josep M. Apfelbäume.
Editorial Kairós S.A., 1º Edición, 1988.

Bunge, Mario. "La Investigación Científica, su Estrategia y su Filosofía."
Traducción al Español: Manuel Sacristán.
Editorial Ariel, 3º Edición, Barcelona, 1973.

Bunge, Mario. "La Ciencia, su Método y su Filosofía."
Ediciones Siglo 20, Buenos Aires, 1979.

Daix, Pierre y otros. "Las Claves del Estructuralismo."
Colección *El hombre y su mundo*, Editorial Calden, Buenos Aires, 1969.

Deleuze, Gilles y Guattari, Félix. "¿Qué es la Filosofía?."
Editorial Anagrama, 4º Edición, Barcelona, 1997.

de Solá Morales, Ignasi. "Diferencias. Topografía de la arquitectura contemporánea"
Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1995.

Ecco, Humberto. "La Estructura Ausente."
Título original: *la struttura assente*.
Traducción: Francisco Serra C.
Editorial Lumen, Barcelona, 1972.

Einstein, Albert. "La Teoría de la Relatividad."
Colección *Grandes obras del Conocimiento*, Editorial Ercilla, Santiago de Chile.

Ernst, Bruno. "El Espejo Mágico de M.C.ESCHER."
Traducción: Dr. Ignacio León.
Editorial Taschen, Berlín, 1990.

Estrella, Jorge. "La Filosofía y sus Formas Anómalas."
Colección *Hachette/Epísteme*, Editorial Universitaria. 1º Edición, Julio de 1991.

Feder, Jens. "Fractals."
Editorial Plenum Press, New York, 1988.

Fernández, Antonio. "La metrópoli vacía: Aurora y crepúsculo de la arquitectura en la ciudad moderna".
Editorial Anthropos. Barcelona 1990.

Hawking, Stephen. "Historia del Tiempo, del Big Bang a los Agujeros Negros."
Título original: *A brief story of time, from the big bang to black holes*.
Traducción: Miguel Ortuño. Serie General "El Medio".
Editorial Crítica, Barcelona, Edición 1991.

Lawlor, Robert. "Geometría Sagrada."
Título original: *Sacred Geometry*.
Traducción: María José García Ripoll.
Editorial Debate S.A. 1º Edición, Mayo de 1996.

Mandelbrot, Benôit. "La Geometría Fractal de la Naturaleza."
Título original: *The Fractal Geometry of Nature*.
Traducción: Josep Josa.
Colección *Metatemas*, Editorial Tusquets, Barcelona, 1997.

Maturana, Humberto. "El Sentido de lo Humano."
Editorial Dolmen, 8º Edición, 1996.

Montaner, Josep María. "La Modernidad Superada, Arquitectura, Arte y Pensamiento del siglo XX."
Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1997.

Muntañola, Josep. "La Arquitectura como Lugar, aspectos preliminares de una Epistemología de la Arquitectura."
Editorial Gustavo Gili, Barcelona. 1974.

Philip, Jodidio. "Contemporary American Architects."
Volumen II. Editorial Taschen. 1992.

Prigogine, Ilya. "Las Leyes del Caos."
Título original: *Les lois du chaos*.
Traducción y Publicación: Editorial Crítica, Barcelona, 1997.

Turcotte, Donald L. "Fractals and Chaos in Geology and Geophysics."
Publicado por Press Syndicate of the University of Cambridge, 2º Edición, 1993.

Seminarios.

Alvarado, Juan Esteban. "Investigaciones sobre Geometrías, en Construcciones espontáneas de Valparaíso."
Seminario de Arquitectura.
Escuela de Arquitectura, Universidad de Valparaíso, 1998.

Ávila, Marcos. "Scratch Discoteca; la Fantasía de la Arquitectura, la Identidad Latinoamericana, Ensayo de Teoría."
Seminario de Arquitectura, Universidad de Valparaíso.

Hidalgo, Cherie. "Idea de Confín y Cuantía Arquitectónica. Estudio de las posibilidades de la Forma."
Seminario de Arquitectura, Universidad de Valparaíso.

Revistas y enciclopedias.

Contardo, O. "Deconstruyendo Tonteras Lineales."
Suplemento Artes y Letras, El Mercurio de Santiago, Domingo 31 de Octubre, 1999.

Derridá, Jacques. "La Arquitectura o el Deseo puede Habitar."
Entrevista por Eva Meyer en Domus.
Traducción: Claudio Muñoz R. Abril de 1986.

Hidalgo, Aldo. "Tentativas de Dislocación de la Mirada y la Casa Immendorf de Peter Eisenman."
Revista CA, Ciudad y Arquitectura, N°85, 1996, páginas 78-83.

Jürgens, Hartmut; Peitgen, Heinz-Otto; Saupe, Dietmar. "El Lenguaje de los Fractales."
Revista *Investigación y Ciencia*, Edición Española de Scientific American, Octubre de 1990, páginas 46-57.

Otswald, Michael J. "Trazos Fractales: Geometría y Arquitectura en Ushida Findlay."
Traducción: Enrique Gastañata.
Revista 2G Nexus N° 6: Ushida Findlay.
Editorial Gustavo Gili. Barcelona. 1997

Pérez Santangelo, Hugo. "¿Qué longitud tiene la Costa de Gran Bretaña?."
Revista Geoinformación: Revista sobre tecnologías y sistemas de información espacial integrada.
Noviembre/Diciembre 1999, N°8.

Zerega, Dina. "La Legibilidad de la Ciudad."
Revista Facultad de Arquitectura N°1, Año 1, Páginas 10-17.
Editada por Facultad de Arquitectura, Universidad de Valparaíso, 1997.

Enciclopedia Encarta 98 de Microsoft.

Publicaciones en Internet.

Arnold, Marcelo; Osorio, Francisco. Departamento de Antropología. Universidad de Chile; "Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas."

Boletín de estudio 1998. Cinta de Moebio No.3. Abril de 1998.

Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile.

<http://rehue.csociales.uchile.cl/publicaciones/moebio/03/frames45.htm>

Asimov, Isaac. "Entrevista Semanario La Gaceta de Internet."

<http://www.eez.csic.es/~gaceta>

Colle, Raymond. "Caos y Complejidad."

Boletín de estudio 2 Internet P.U.C.

<http://www.puc.cl/infsecic/boltec2/caos.html>

C.G. Jung Houston Homepage.

<http://www.cgjung.com/eventx.html>

Enciclopedia Encarta 98 de Microsoft.

Padrón, Víctor. "Arquitectura Fractal: Una Arquitectura para la Vida."

<http://www.math.utsa.edu/~padron/AFractal.html>

Padrón, Victor and Salingeros, Nikos. "Ecology and the Fractal Mind in the New Architecture: a Conversation."

<http://rudi.herts.ac.uk/rudiments/ecology/index.html>

Salingeros, Nikos. "A Scientific Basis for Creating Architectural Forms."

Journal of Architectural and Planning Research, volume 15, 1998, pág 283-293. Posted by permission. © Locke Science Publishing Company, 1998.

<http://www.math.utsa.edu/sphere/salinger/SciBasis.html>

Wangenstein, Owen S. "Fractales, Orden en el Caos."

Semanario La gaceta de Internet.

<http://www.eez.csic.es/~gaceta/gaceta/fractal.htm>

Web Architecture Magazine n°9.

<http://www.arch-mag.com>

Agradecimientos

Este seminario surgió gracias a la ayuda y el apoyo desinteresado de varias personas que tuvieron fe en esta empresa, sin las cuales no hubiera podido llegar al final. La primera persona a quien debo agradecer ya no está con nosotros, y fue quien me introdujo en la temática de los fractales y la arquitectura; la profesora Dina Zerega.

También debo agradecer a mi profesor guía Juan Luis Moraga por la confianza y el interés que siempre demostró y al siguiente grupo de docentes de la Escuela de Arquitectura.:

Omar Cañete (Curso fractales U.V. 2000)
Fabián Labra (Curso fractales U.V. 1999)
Ariel Quezada (Curso fractales U.V. 1999)
Luis Varas (profesor arquitectura U.V.)

Y por último, a los siguientes compañeros y amigos:

Mario Ferrada.
Carlos Molgas.
Carlos Ríos.
Emilio Fuenzalida.