

PALABRAS CLAVE | ARQUITECTURA GENERATIVA · AUTÓMATA CELULAR · RECURV(E)SIVE · AGREGACIONES · MEMORIA · RECURSIVIDAD · INFORMACIÓN · SISTEMA

KEYWORDS | ARCHITECTURE GENERATIVE · CELLULAR AUTOMATA · RECURV(E)SIVE AGGREGATIONS · MEMORY · RECURSION · INFORMATION · SYSTEM

Recurv(e)sive. Architecture as memory device

| RESUMEN |

Recurv(e)sive es un proyecto de investigación a través del diseño. La ciudad, como estructura artificial, tiene integrada en su desarrollo ciertas similitudes con seres vivos pero a gran escala. Estas similitudes están principalmente vinculadas a reglas de crecimiento y comportamientos que mediante la acción del tiempo generan estructuras y formas que solo podemos entender con el paso de los años. El proyecto de diseño utiliza este marco de trabajo como herramienta a ser probada en un caso de estudio, comenzando por la prueba en probetas digitales conducentes a un caso real, ejemplificado en la ciudad de Valparaíso, donde espacios entre cerros pueden ser colonizados por estas microestructuras, proponiendo una nueva tipología constructiva compatible con la complejidad existente. Lo anterior incorpora un nuevo significado a las áreas intervenidas a modo de posible folies generativas del paisaje urbano, construidas a partir de la información oculta del tejido urbano.

| ABSTRACT |

Recurv(e)sive is a research through design. The city, as a construct has integrated into its development certain similarities to living things but on a large scale. These similarities are mainly related to growth rules and behaviors through action of the generated structures and forms that can only be understood over the years. The design project using this framework as a tool to be tested in a case study, starting with the leading digital test specimens to a real case, exemplified in the city of Valparaíso, where spaces between hills can be colonized by these micro structures, proposing a new type of construction compatible with existing complexity. This includes a new meaning to the areas disturbed as a possible generative folies cityscape, built from the hidden information of the urban fabric.

ALBERTO FERNÁNDEZ G.*

Recurv(e)sive. La arquitectura como dispositivo de memoria

...Whether applied to self-organized forms of matter-energy or to the unplanned result of human agency. These new concepts demand a new methodology, and it is this methodological change that may prove to be of philosophical significance^[1].

Manuel De Landa, 2007

INTRODUCCIÓN. ARQUITECTURA Y MEMORIA

Arquitectura ha sido testimonio y soporte del desarrollo humano desde tiempos ancestrales, siendo asociada primeramente como factor de crecimiento y evolución en civilizaciones tempranas. En ese contexto arquitectura se asociaba a la construcción con significado más que simplemente propósitos funcionales^[2]. Lo anterior significa que arquitectura ha sido considerada como factor clave en el progreso cultural.

Actualmente es posible leer trazos de formas ancestrales desde el pasado a tiempos presentes mediante herramientas y técnicas provenientes de la arqueología y geología, incluyendo en este campo: espacio, materialidades, organizaciones sociales y conductas (FIGURA 1), debido a que cada intervención arquitectónica modifica

el contexto (natural o artificial) de manera imborrable. Esta información puede construir datos hechos a partir de puntos, líneas, formas, colores y texturas ocultas a nuestros ojos, como material latente a ser descubierto y traducido a nuestro entorno contemporáneo.

¿Qué sucede si usamos esta información oculta como nueva materia prima para arquitectura?
¿Por qué no capturar y releer los datos ocultos y acumulados en la ciudad?

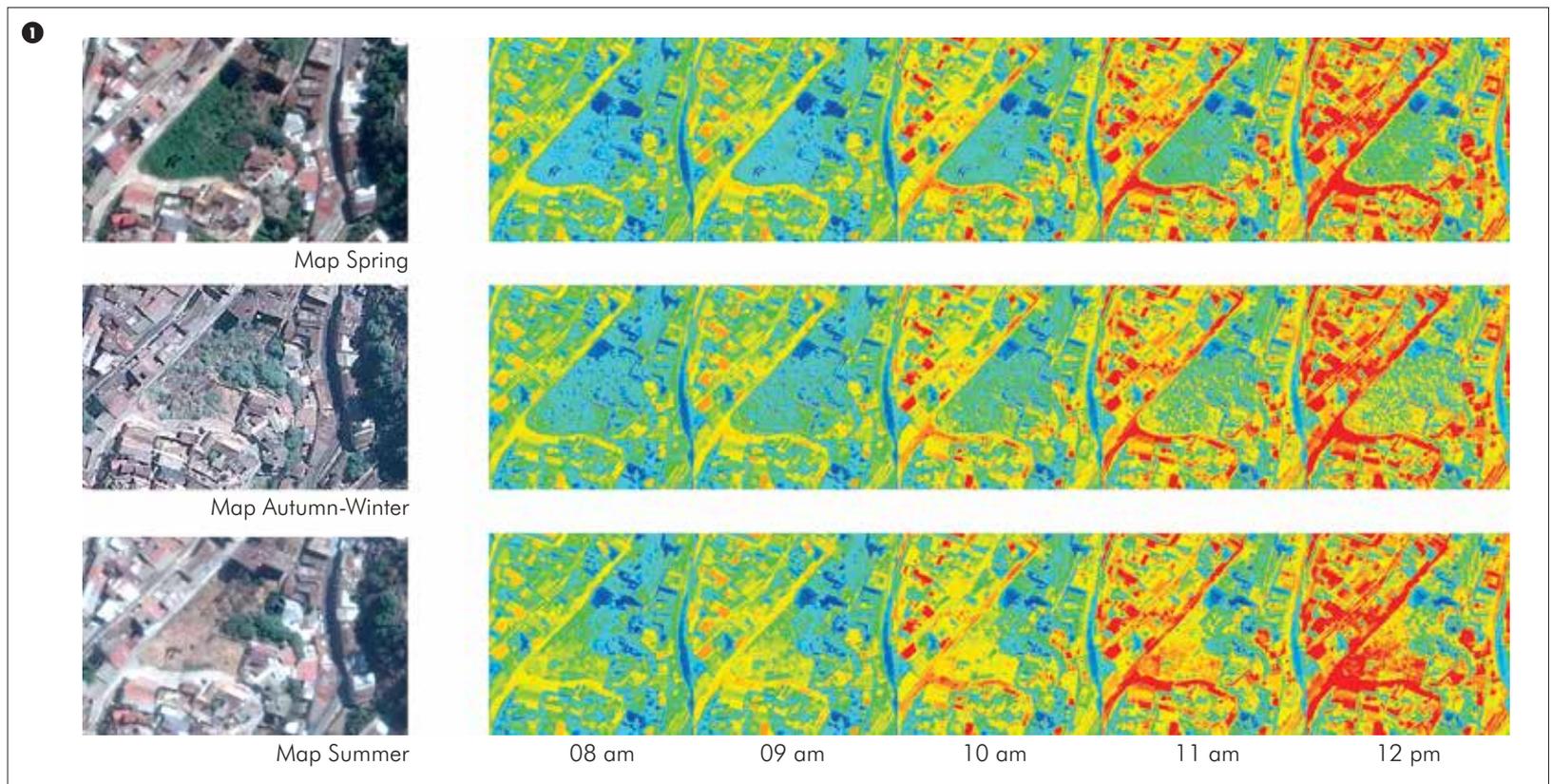
Reconstruyendo el tejido urbano usando su información almacenada como código de construcción para el diseño de proyecto, es posible entender el proyecto como un dispositivo traductor entre la ciudad y el usuario, utilizando la información remanente como almacén de memoria existente en cada lugar (como identidad de datos), desde donde es posible

* Alberto Fernández González, Profesor Asistente Universidad de Chile, Arquitecto Universidad de Chile 2005, Máster en Arquitectura Graduate Architectural Design en University College of London, The Bartlett School of Architecture 2012, Ganador Archiprix International 2007, Ganador Holcim Awards Next Generation 2008, Ganador Premio Promoción Joven 2009 del Colegio de Arquitectos de Chile.

[1] Manuel De Landa, A thousand years of nonlinear history, (Cambridge: MIT press, 1997) pp 11-22.

[2] Alfred D. F. Hamlin, A Text-Book of the History of Architecture, (New York: Longmans, Green, & Co. 1906) pp 1-5.

1. Mapas de Radiación entre cerros de Valparaíso como ejemplo de información oculta, asignando gradientes de color de trazos invisibles al ojo humano para posteriormente ser utilizados como materia base de crecimiento generativo. Autor Alberto Fernández G.



regenerar la coherencia perdida entre el grano fino y la ciudad en base a su dimensión fractal.

Para lograr tal objetivo es necesario recurrir al «mapeado o *mapping*» como estrategia de lectura de contexto, pues tiene integrada la idea de sintetizar el contexto en una versión diagramática de un área, usando para tal propósito códigos simples los cuales pueden traducir la realidad compleja a representación gráfica de relaciones espaciales^[3].

Adicionando capacidades de memoria como parte del proceso de mapeado, es el camino mediante el cual recurv(e)sive como procedimiento puede evolucionar desde un método constitutivo (o reconstructivo) a un sistema de relaciones altamente dinámicas (o

evolutivas). Este concepto viene como «Mapeado como un proceso de valor agregado/ relaciones congestivas», siendo introducido y adoptado en comunicación cartográfica como el camino para cambiar la relación lineal entre sujeto de estudio y el investigador, entendiendo el *feedback* como el método para introducir aprendizaje hacia dentro del sistema. La idea de que «*mapping*» puede usar datos en una perspectiva espacial, puede revelar patrones ocultos y asociaciones desconocidas, generando información visible, legible, comprensible, y accesible para nuevos propósitos. El valor del mapa en un proyecto ha sido vinculado en términos de porcentaje de traslapo o yuxtaposición entre entradas y salidas de información, siendo interactividad entre diferentes mapas (como almacenes de memoria) uno de los objetivos principales a seguir en esta

investigación, debido a que el resultado de esta operación es la creatividad potencial emergente del mapeo como herramienta de diseño, mediante la cual es posible desarrollar modelos vinculados con la realidad como proceso de aprendizaje continuo (aproximación cognitiva)^[4].

El fenómeno de memoria ha sido investigado e interpretado en diferentes campos, expandiendo la interpretación clásica de la aproximación historia hacia este concepto, la cual fue clasificada por Adrian Forty en tres fases históricas: primeramente como un elemento en la manifestación estética de arquitectura vinculada con conmemoración, evocación y asociación de ideas (siglo XVIII); segundo como la «Lampa de la Memoria» de Ruskin, en la cual arquitectura ofrece la memoria del trabajo

[3] Definition for Map and Mapping - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/map> (accessed January 25, 2012).

[4] Ferjan Ormeling, Technical Geography: Core Concepts in the Mapping Sciences, <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C01/E6-14-04.pdf> (accessed April 27, 2012).

2. Secuencia analítica de Crecimiento generativo de un autómatata celular como estudios de movimiento acumulado. Autor Alberto Fernández G.

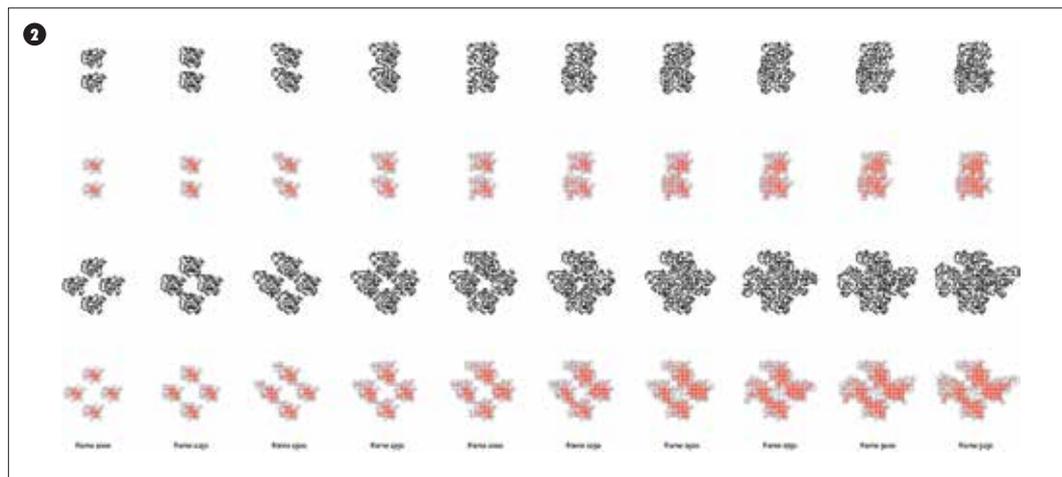
humano, tanto manual como mental (siglo XIX) con un alto espíritu de conservacionista; tercero como un vínculo entre espacio y memoria (siglo XX) siendo esta última la conciencia de la ciudad, en la cual en sí mismo es el lugar de la memoria colectiva (Aldo Rossi) como constructo social evolucionado sobre sí mismo^[5].

Basado en los puntos previos, «Memoria» en arquitectura ha sido la herramienta sobre la cual la sociedad se vincula con su contexto sociocultural construido, siendo el siglo XXI la era de la información o data, redes interconectadas, no linealidad, materia y energía^[6], conceptos que podrían ser las claves para actualizar este concepto de memoria hacia la vista dinámica de factores entre el tejido urbano y el proyecto de diseño arquitectónico.

Campos de datos de arquitectura están ahora viniendo desde territorios vinculados sutilmente con nuestra disciplina (en teoría), como fenómenos de ciencias naturales vinculados con crecimiento y adaptación, así como métodos gráficos y matemáticos de movimiento y captura del espacio. Estos ejemplos pueden alimentar la aproximación del diseño con nuevas entradas de información, proveyendo un nuevo marco de trabajo en donde las estrategias de proyecto pueden ser desarrolladas junto con conceptos de memoria asociados a trazos humanos en el paisaje de datos urbanos.

PASADO, PRESENTE Y FUTURO

Tejido urbano como constructo social puede ser leído como espejo del desarrollo colectivo^[7], en el cual cambios y transformaciones han sido registradas desde dentro de la estructura de la ciudad como información construida, acumulada en capas históricas de registros que crean identidad sobre eventos y experiencias



guardadas en el tiempo (*layering*: como la acción de organizar información en capas^[8]).

Entendiendo memoria como la facultad mediante la cual un sistema almacena y recuerda información desde el pasado para un nuevo propósito^[9], en el campo de la arquitectura, este concepto puede ser traducido como un diseño que puede almacenar información y procesarla, con la posibilidad de evolucionar desde un estado inicial 0 a un nuevo estado: leyendo, aprendiendo y aplicando desde su propia contexto de desarrollo. En ese sentido, memoria puede ser usada como herramienta de diseño, aprendiendo el cómo es posible crear un escenario específico de evolución, compatible con la naturaleza del proyecto. En este contexto es necesario almacenar la información de cada paso evolutivo para que pueda ser utilizado por una nueva generación de crecimiento. Esta metodología permitiría una arquitectura que puede evolucionar como un sistema complejo más compatible con la ciudad compleja.

Memoria como catalizador de desarrollo, brinda la oportunidad a cualquier sistema

natural o artificial de retener información desde eventos pasados, hacia nuevos posibles pasos, optimizando recursos mediante este proceso de retroalimentación. Este proceso trabaja como un manual productivo de probabilidades en vez de un proceso rígido de reglas (determinismo). El proceso de almacenamiento de información es el primer paso a partir del cual cualquier organismo tiene la posibilidad de aprender como un set de mejoras continuas sobre la realidad existente. Este aspecto (modelo predictivo) puede desarrollar posibles estrategias de crecimiento en base a escenarios posibles contextuales presentados desde el estado 0 de desarrollo de estos modelos.

Como efecto de todos los previos pasos generativos, es posible mapear todo los datos acumulados en nuestro contenedor de memoria, obteniendo como resultado, patrones de comportamiento en movimiento, siendo la huella sobre la cual es factible construir nuevas versiones de nuestro diseño (FIGURA 2).

Pasado, presente y futuro son agentes de reseño, trabajando en la naturaleza como asociados,

[5] Adrian Forty, *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture*, (London: Thames & Hudson, 2000), pp 206-19.

[6] Manuel De Landa, *A thousand years of nonlinear history*, (Cambridge: MIT press, 1997) pp 71-99.

[7] Adrian Forty, *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture*, (London: Thames & Hudson, 2000), pp 217.

[8] Definition for layering - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/layering> (accessed January 7, 2012).

[9] Definition for memory - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/memory> (accessed January 7, 2012).

3. Crecimiento simulado de Cristal, cambiando las reglas iniciales de movimiento a modo de DNA y posibles variaciones. Autor Alberto Fernández G.
4. Ordenamiento interior de cristales y demarcación de núcleos de iniciación. Autores Alberto Fernández, Xueying Pang and Rengram Zhang.

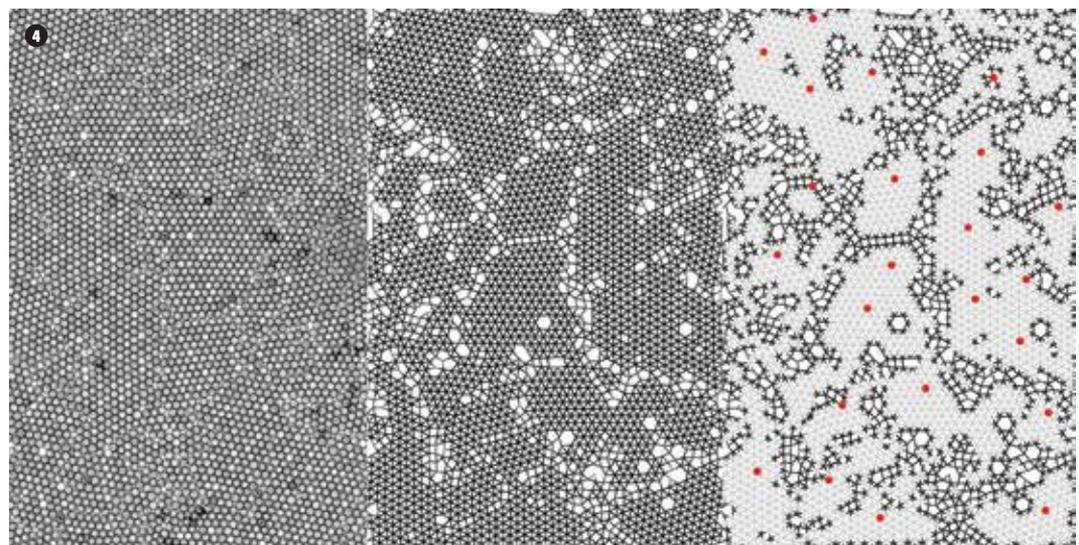
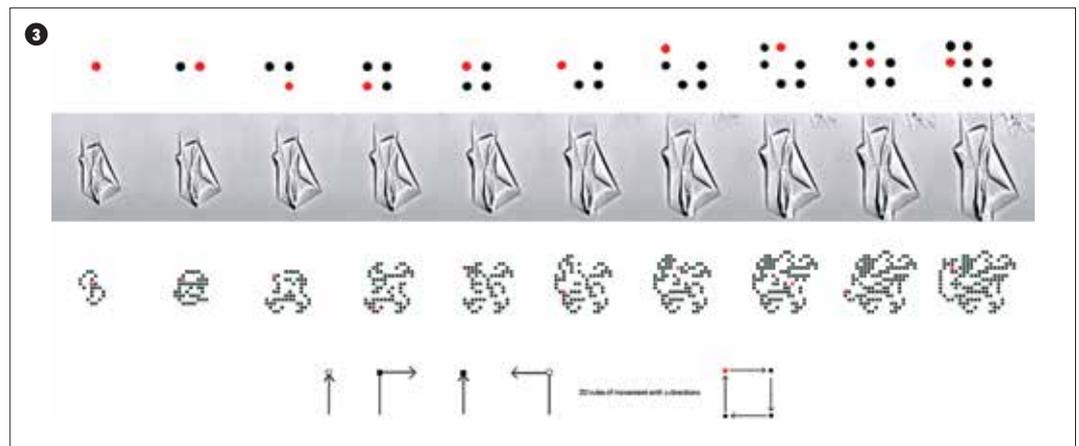
donde el proceso de retroalimentación viene desde el pasado, hacia el futuro como información procesada, reescribiendo las reglas de crecimiento y desarrollo una y otra vez, como un ciclo sin fin de diseño. La forma resultante es la síntesis de memoria en el sistema (FIGURA 3).

MEMORIA DENTRO DE LA NATURALEZA

La realidad construida ha sido principalmente estancia a lo largo de la historia. ¿Cómo podemos modificar esta realidad rígida como un nuevo camino de desarrollo arquitectónico? Dentro del mundo natural, existen sistemas que en apariencia son rígidos (similar al como la arquitectura ha sido concebida durante siglos). Tal es el caso de las formaciones basadas en minerales, las cuales puede generar formas complejas y diversidad estética basadas en simples reglas de crecimiento, con siete simples clasificaciones geométricas (cúbica, tetragonal, monocilíndrica, tricilíndrica, ortómbica, hexagonal y trigonal)^[10].

Los minerales, y en particular los cristales, son simples repeticiones de patrones basados en una unidad celda a modo de bloque de construcción, en donde átomos y moléculas pueden crecer desde estas pequeñas unidades a enormes formas sólidas tridimensionales, mediante desarrollos incrementales basados en sus propias reglas de atracción y repulsión en microescala y en la interacción que estas tienen con su entorno, siendo altamente receptivos a los cambios o nuevas condiciones (FIGURA 4)^[11].

Las reglas de alineación y ordenamiento provenientes desde los minerales pueden simular geometrías complejas de alta resolución, siendo extrapoladas desde este mundo natural a una aproximación de diseño mediante el entendimiento de similitudes entre este mundo y el mundo de la arquitectura. Una primera aproximación a esta



traducción proviene del lenguaje de representación (o código gráfico) que estas geometrías tienen, siendo muy bien comprendidas por M.C. Escher^[12] y las teorías geométricas de William Huff^[13]. En ambos casos los autores pudieron leer complejidad como un set de reglas, reteniendo la información inicial a partir de patrones simples a altamente densos hacia donde teóricamente cualquier forma puede ir (FIGURA 5).

El primer set de reglas desde estas reglas de transición propuestas por los autores antes mencionados, son una de las primeras claves en el entendimiento del crecimiento como diseño evolutivo desde una geometría existente (en este caso un origen A) a una posible densidad (la evolución a una forma B). De acuerdo con D. Hofstadter, las reglas de transformación en una deformación 2D son: *alargamiento*

[10] Crystal classification - Encyclopaedia Britannica Online, <http://m.eb.com/topic/296396> (accessed April 2, 2012).

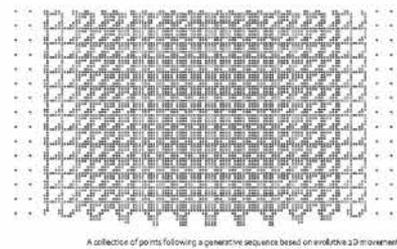
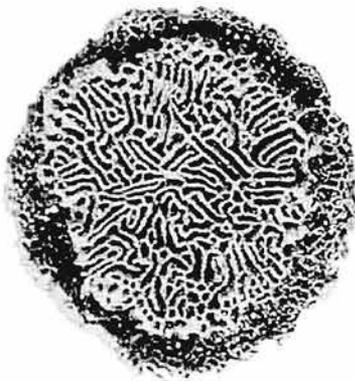
[11] Matt Tweed, «Essential Elements», (Glastonbury: Wooden Books, 2007), pp. 138-39.

[12] Bruno Ernst, The Magic Mirror of M. C. Escher. (New York: Ballantine Books, 1976).

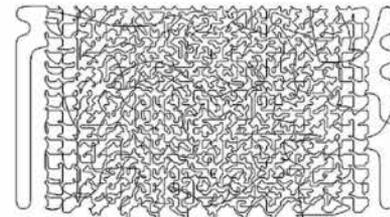
[13] Douglas Hofstadter, Metamagical Themas: Questing For The Essence Of Mind And Pattern. (New York: Basic Books, 1985) pp 191-212.

5. Estudio de patrones de deformación desde una secuencia acumulada y trazo de línea de tiempo como memoria construida del sistema. Autor Alberto Fernández G.

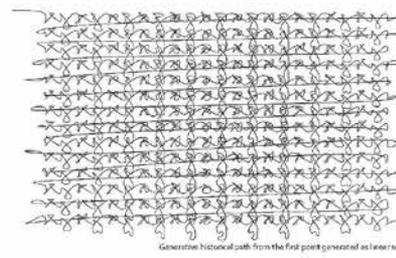
5



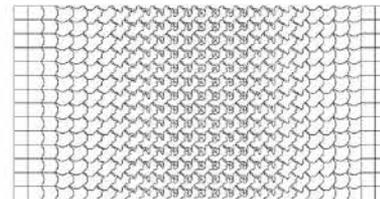
A collection of points following a generative sequence based on evolutive 2D movements



Generative historical path from the first point generated as recursive result



Generative historical path from the first point generated as lines traces



Generative shape from the first point generated as discrete movements

	1	2	3	4	5	6	7
Initial Grid of Points	[Grid]						
BSpine 1	[Grid]						
BSpine 2	[Grid]						
BSpine 3	[Grid]						
BSpine 4	[Grid]						
BSpine 5	[Grid]						
BSpine 6	[Grid]						
BSpine 7	[Grid]						
BSpine 8	[Grid]						
BSpine 9	[Grid]						
BSpine 10	[Grid]						
BSpine 11	[Grid]						

Catalog of relations between curvatures and a generative collection of points

Memory and self intelligence in a natural formation can be appreciated in the termite mound plaster negatives of Dr Scott Turner as a highly complex structure, generated by action of termites (as collective intelligence) working with an implicit basic set of rules linked with specific features of their environment. Stigmergy as the indirect communication taking place among individuals in social insect societies (Pierre-Paul Grasse, 1950), has the labour of the main generator of collective intelligence, as a repetitive work along centuries, generating pheromone traces, which allows the communication by trace, producing specificity in the colony group members, and building the history layer by layer, generation by generation.

The diagrams have the explanation from how a collection of a 2D topological container can generate a complex memory path over a pattern only following the first point generated up to the last one.

o acortamiento de una línea; girar una línea; introducir una «bisagra» en algún lugar dentro de un segmento de línea que puede «doblar»; Introducción de un «golpe» o «grano» o «diente» (una pequeña intrusión o tener una forma simple de la protuberancia) en medio de una línea o en un vértice; desplazamiento, rotación, expandir o contraer un grupo de líneas que forman una subunidad natural; y la variación de estos temas.

Necesitamos entender qué puntos, líneas y contenedores (la célula original) son la mínima unidad geométrica para transformar un sistema parquet con reglas de generación. La forma original es la pieza clave en toda la lógica evolutiva debido a que contiene el set inicial de movimientos, desde donde es posible ir a cualquier posible otro destino o viceversa. Utilizando este método, es factible alcanzar un alto grado de intrincamiento en la progresión

geometría, entendiendo las posibilidades de movimientos (rotaciones y traslaciones) como regla generativa con un grado certero de variaciones o evoluciones, común factor incremental de complejidad. En el año 2002, Kraig S. Kaplan desarrolló una investigación en la cual los códigos dentro del trabajo de Escher trabajan como modelos 2D que pueden leer imágenes preexistentes, siendo «Escherizadas», abriendo la posibilidad de capturar la realidad y traducirla desde el mundo análogo hacia una geometría adaptable y evolutiva^[14], usando el concepto de topología (desde Wolfram Math World: (1) El estudio matemático de propiedades de los objetos que son preservadas mediante deformaciones, torcimientos y estrechamientos. (2) Un sistema junto con una colección de subconjuntos que satisfacen varias propiedades definitorias)^[15], aplicado a dos formas tridimensionales o imágenes contenidas en una

única forma que puede transformarse en otra por coincidencia de puntos de control.

Basado en el concepto anterior, es posible entender lo potente que es esta herramienta como vía para alcanzar una capacidad de memoria en arquitectura, utilizando el enfoque topológico como contenedor de formas preexistentes, colores y texturas, siendo factible adaptar estas geometrías a un nuevo escenario evolutivo. Tras estas lógicas, cualquier forma preexistente puede utilizarse como material inicial, solo si los próximos pasos en el resultado evolutivo son coherentes con el primer *container* topológico, generando una progresión estructural dinámica como estructura principal para todo el sistema.

Estas formas están relacionadas con una función específica en el entorno, evolucionando

[14] Kraig S. Kaplan. Computer Graphics and Geometric Ornamental Design, http://www.cgl.uwaterloo.ca/~csk/phd/kaplan_diss_full_screen.pdf (accessed December 21, 2011).
 [15] Definition for Topology - Wolfram Math world (<http://mathworld.wolfram.com/Topology.html>) (accessed April 11, 2012).

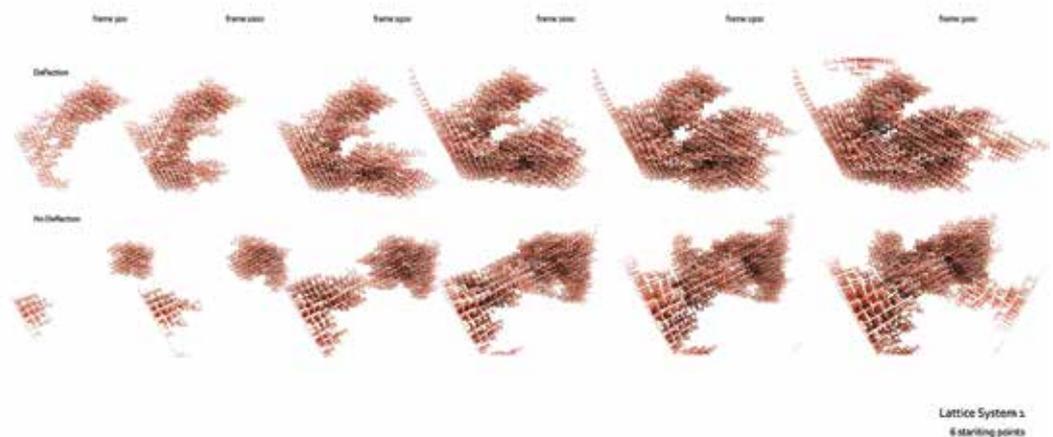
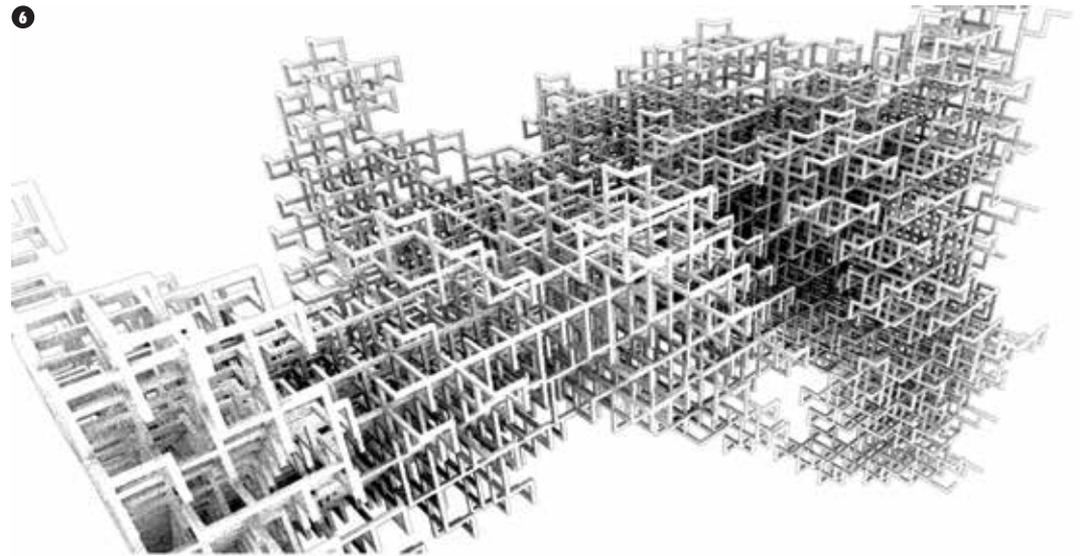
6. Agregaciones de un sistema ortogonal tridimensional basado en 6 reglas de probabilidades generando estructuras continuas en el espacio virtual. Autor Alberto Fernández G.

desde los círculos y las esferas (como la forma más eficiente), triángulos, cuadrados, hexágonos y muchos otros por necesidad solo buscan competencia estructural según problemas específicos. Por lo anterior es posible argumentar que es factible obtener resultados diferentes, cambiando solo algunos factores (en muchos casos vinculados con probabilidades y combinatorias). Un excelente ejemplo es el panel basado en patrones hexagonales, que pueden producir diversas formas según la especie de abeja específicas alrededor del mundo, con todos los diferentes ambientes contenidos en nuestro entorno (FIGURA 6)^[16].

CONCLUSIONES. INTERACCIÓN CON EL ECOSISTEMA

La memoria tiene más que solamente una cara de la cual el diseño arquitectónico puede crecer hacia una nueva dimensión urbana, menos determinista y más receptiva a nuevos escenarios posibles. Como herramienta de diseño de proyectos, Recurv(e)sive utiliza este concepto para dar coherencia a los *links* rotos entre diseño y tejido urbano, en el grano fino del escala de barrio, a modo de estructura geométrica puede aprender desde el «*datafield*» urbano. Esta información útil es la materia prima generativa para el sistema, presentando un diseño coherente con el espacio circundante.

Al aprender de los sistemas naturales, es posible comprender acerca de cómo se ordenan las formas en el medioambiente, adaptándose y escalándose mediante el uso de componentes altamente eficientes, a modo de bloques básicos de crecimiento (formas básicas). Al aplicar las reglas geométricas de estos pasos previos (Minerales y Teselaciones), ha sido posible desarrollar el proyecto de investigación a modo de estructuras pequeñas con la misión de leer, aprender y crear un fuerte apoyo para el proyecto de diseño. Utilizando puntos y líneas como base geométrica, es posible vincular los mundos de la naturaleza y la ciencia con la arquitectura y diseño, lo que obliga a revisar nuestros protocolos, cambiando la clásica concepción disciplinaria a un nuevo modelo de diseño más



negociador que regulador, con menos prejuicios y percepciones (capturar y analizar todas las dimensiones disponibles de la información de nuestro entorno de proyecto) (FIGURA 7).

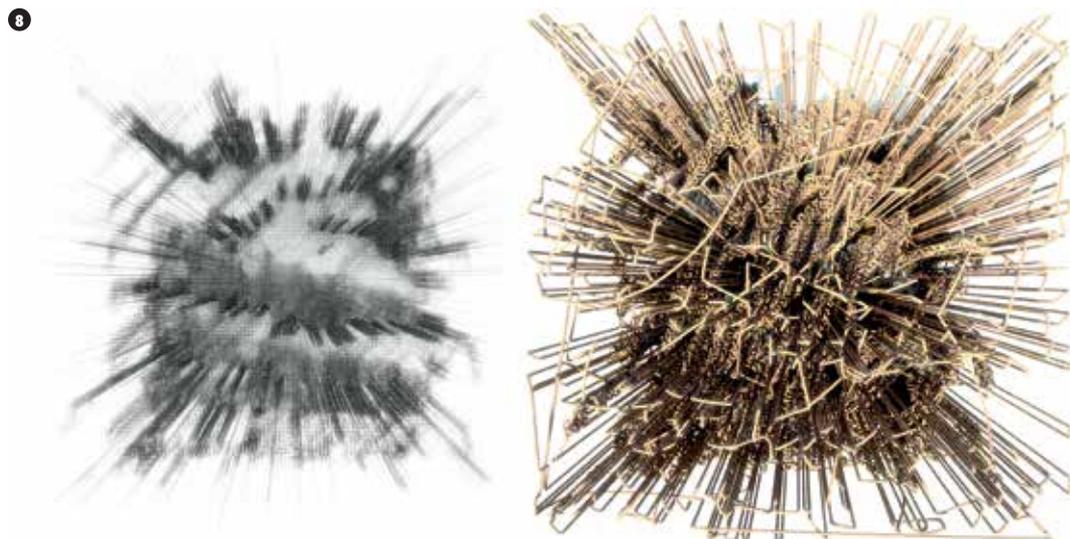
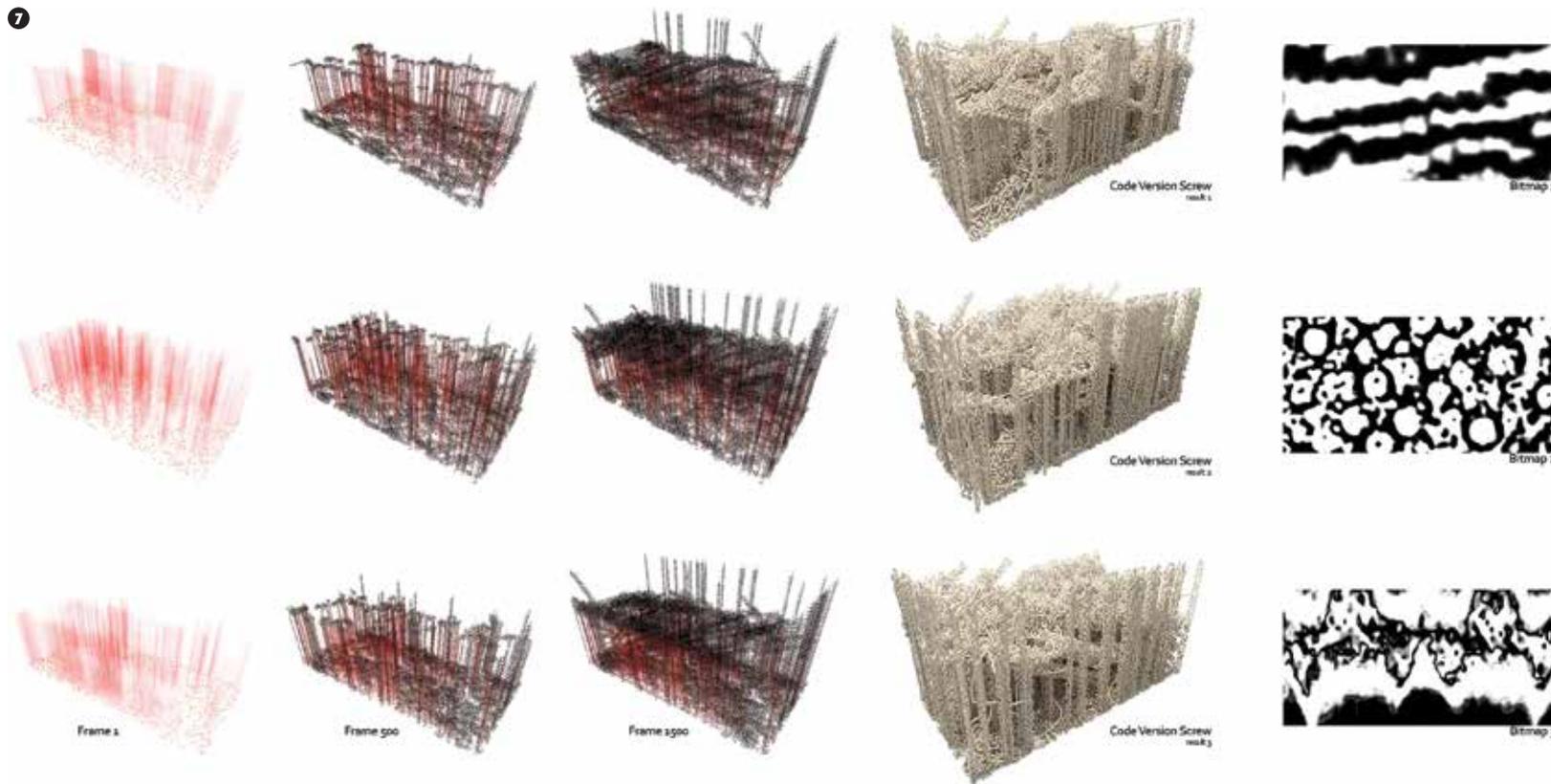
De lo real a lo virtual y virtual a la memoria, generación tras generación, mapas de diseño en crecimiento son las estructuras mediante el cual el campo de datos o «*datafield*» puede encontrar una manifestación física en sitios residuales

subutilizados, como operación de acupuntura urbana, recomponiendo la lógica natural de la ciudad aplicada en pequeña escala. Este cambio entre la relación espacial del diseño y el lugar, puede producir el paso evolutivo necesario para que el barrio ya no solo sea el medio ambiente y se convierta en el ecosistema: una comunidad biológica de organismos interactuantes y su entorno físico o una compleja red / sistema interconectado^[17].

^[16] Phillip Ball, *Shapes*. (New York: Oxford University Press, 2009) pp 205-30.

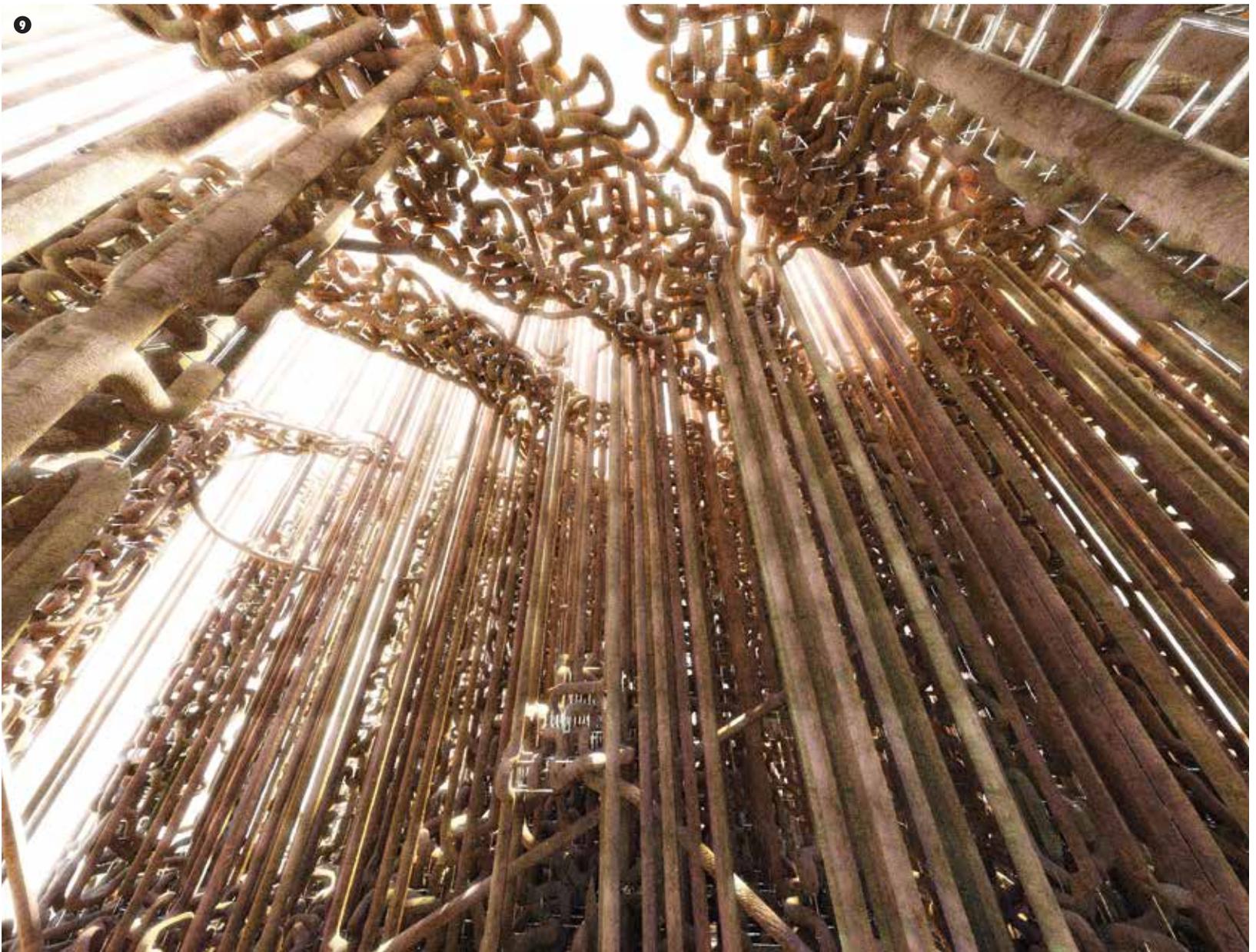
^[17] Definition for ecosystem - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/ecosystem?view=uk> (accessed May 15, 2012).

7. Patrones restringidos mediante el reconocimiento de un contexto basado en imágenes. El resultado es la constante variación del diseño inicial al mismo número incremental de pasos. Autor Alberto Fernández G.
8. El crecimiento generado reconoce la condición de sitio como imagen ráster, generando un trazo evolutivo a modo de mapa estructural. sobre este sistema cada nuevo paso reconfigura la totalidad. Autor Alberto Fernández G.



Con los «*datafields*» como herramientas de diseño, nos estamos aislando la subjetividad inherente en nuestros diseños, comprendiendo la complejidad de nuestra ciudad como constructo cultural, con capas de información acumulada. En ese sentido, el tejido urbano es en términos generales la inteligencia y la memoria proveniente del estilo de vida de los seres humanos. La estrategia del proyecto combina la sabiduría colectiva de los agentes virtuales generativos como traductores de las relaciones ocultas en los sitios residuales, dando sentido y valor al tejido atrofiado.

9. Interior de una Folie generativa (generando un mapa estructural en base a campos de datos acumulados en el tiempo) Autor Alberto Fernández G.

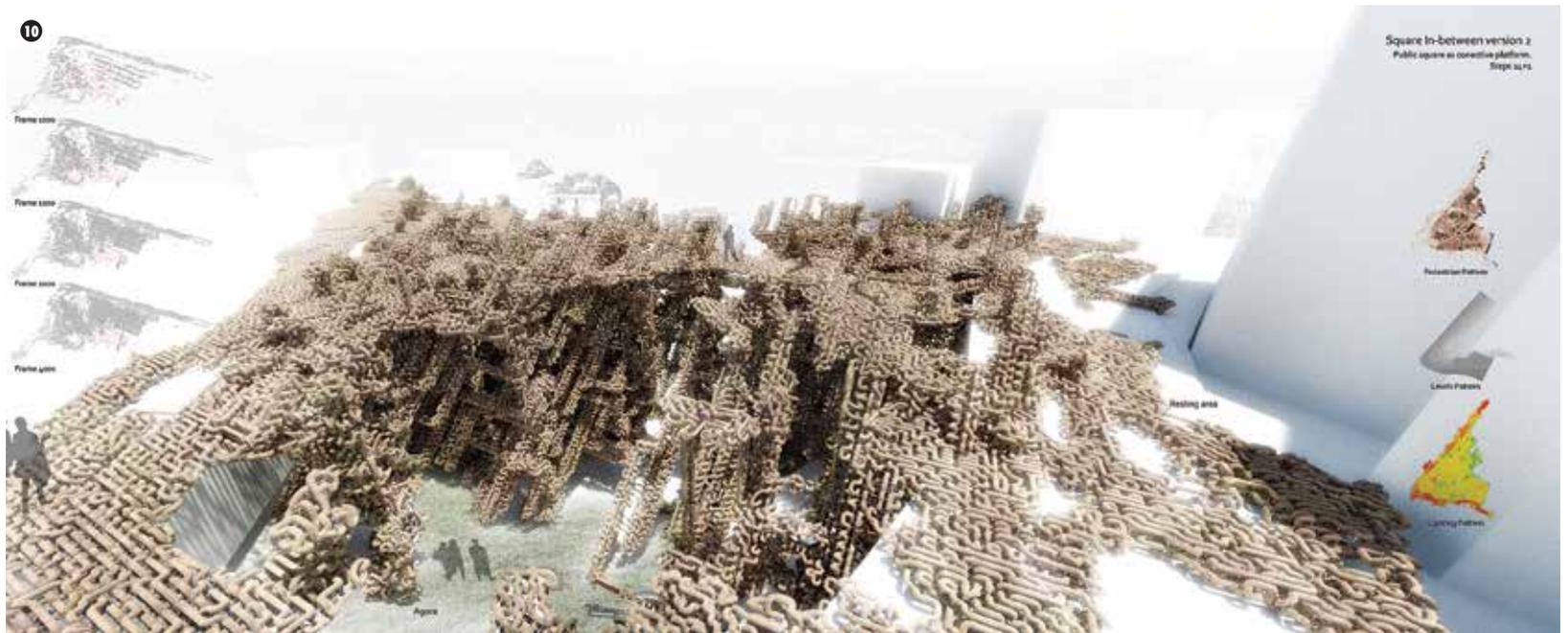


Como una posible nueva red urbana, la interacción entre estos proyectos (como folies generativas en la ciudad) (FIGURAS 8-10) puede cambiar la percepción espacial, debido a que

estas intervenciones están reconociendo las identidades ocultas en sus lugares, y realizar una red colaborativa de diversidad creciente en el paisaje artificial. Como actualización de

esta terminología, esta folies son «landmarks», evocando el significado de la trama urbana determinista y su trama oculta a modo de crítica de los modelos anteriores de desarrollo.

10. Folie Generativa, Valparaíso como caso de estudio aplicado al espacio disponible entre cerros. Autor Alberto Fernández G.



BILIOGRAFÍA

- Manuel De Landa. A thousand years of nonlinear history, (Cambridge: MIT press, 1997) pp 11-22.
- Alfred D. F. Hamlin, A Text-Book of the History of Architecture, (New York: Longmans, Green, & Co. 1906) pp 1-5.
- Definition for Map and Mapping - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/map> (accessed January 25, 2012).
- Ferjan Ormeling, Technical Geography: Core Concepts in the Mapping Sciences, <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C01/E6-14-04.pdf> (accessed April 27, 2012).
- Adrian Forty, Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture (London: Thames & Hudson, 2000), pp 206-19.
- Manuel De Landa. A thousand years of nonlinear history. (Cambridge: MIT press, 1997) pp 71-99.
- Adrian Forty, Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture, (London: Thames & Hudson, 2000), pp 217.
- Definition for layering - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/layering> (accessed January 7, 2012).
- Bill Hillier, Environment and Planning B abstract, <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b34047t> (accessed May 27, 2012).
- Definition for memory - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/memory> (accessed January 7, 2012).
- Definition of Adaptation, University of Tennessee, <https://notes.utk.edu/bio/greenberg.nsf/0/3ee9cccd7c64bffd85256cff0061f4D7?OpenDocument> (accessed February 12, 2012).
- Crystal classification - Encyclopaedia Britannica Online, <http://m.eb.com/topic/296396> (accessed April 2, 2012).
- Matt Tweed, «Essential Elements», (Glastonbury: Wooden Books, 2007), pp. 138-39.
- Definition for biology - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/biology> (accessed January 7, 2012).
- Bruno Ernst, The Magic Mirror of M. C. Escher. (New York: Ballantine Books, 1976)
- Douglas Hofstadter, Metamagical Themas: Questing For The Essence Of Mind And Pattern. (New York: Basic Books, 1985) pp 191-212
- Kraig S. Kaplan. Computer Graphics and Geometric Ornamental Design, http://www.cgl.uwaterloo.ca/~csk/phd/kaplan_diss_full_screen.pdf (accessed December 21, 2011).
- Definition for Topology - Wolfram Math world (<http://mathworld.wolfram.com/Topology.html>) (accessed April 11, 2012).
- Phillip Ball, Shapes. (New York: Oxford University Press, 2009) pp 205-30
- Phillip Ball, Shapes. (New York: Oxford University Press, 2009) pp 205-30
- Kas. Oosterhuis, Hyperbodies: toward an e-motive architecture, (Basel: Birkhäuser, 2003) pp. 63-66.
- Definition for interaction - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/interaction> (accessed February 15, 2012).
- Michael Fox, Miles Kemp, Interactive Architecture (New York: Princeton Architectural Press, 2009) pp 26-37
- Based on definition for intelligence - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/intelligence?view=uk> (accessed April 10, 2012).
- Definition for Artificial intelligence - The Turing archive for the history of computing, http://www.alanturing.net/turing_archive/pages/reference%20articles/what_is_AI/What%20is%20AI09.html, (accessed April 7, 2012)
- Rachel Wood, Paul Baxter and Tony Belpaeme, A review of long-term memory in natural and synthetic systems, (London: Adaptive Behavior, 2011).
- Boids Background and Update by Craig Reynolds, <http://www.red3D.com/cwr/>, (accessed April 14, 2012).
- Definition for Stigmergy - Stigmergic Systems, http://www.stigmergic.com/stig_v1/stigrefs/article1.html, (accessed April 15, 2012).
- Foreign Office Architects, Phylogenesis FOA's Ark, (Barcelona: Actar, 2003) pp 6-17
- Suba Varadarajan, Motion Capture History and Pipeline, <http://www.accad.ohio-state.edu/~varadara> (accessed April 14, 2012).
- Barans, Paul, Distributed Network Concept, (<http://www.ibiblio.org/pioneers/baran.html>) (accessed April 15, 2012).
- K. Michael Hays, Points of Influence and Lines of Development I Stan Allen, Points + Lines. Diagrams and Projects for the City (New York: Princeton Architectural Press, 1999) pp.1-10
- Definition for ecosystem - Oxford Dictionaries Online, <http://oxforddictionaries.com/definition/ecosystem?view=uk> (accessed May 15, 2012).
- The Folly of Ruins, Oxford University, <http://users.ox.ac.uk/~queue0813/Ruins.pdf> (accessed May 30, 2012).